Glasbau Atlas

zweite überarbeitete und erweiterte Auflage

SCHITTICH
STAIB

BALKOW
SCHULER
SOBEK

Edition DETAIL

Glasbau Atlas

zweite überarbeitete und erweiterte Auflage

SCHITTICH
STAIB

BALKOW
SCHULER
SOBEK

Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München

Autoren

Christian Schittich
Dipl.-Ing., Architekt, Chefredakteur der Zeitschrift Detail, München

Gerald Staib
Prof. Dipl.-Ing., Freier Architekt, Stuttgart
Lehrstuhl für Baukonstruktion und Entwerfen, Technische Universität Dresden

Dieter Balkow
Dipl.-Ing., öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Glas im Bauwesen und Tageslichttechnik
Direktor des Schweizerischen Instituts für Glas am Bau, Zürich

Matthias Schuler
Dipl.-Ing., Geschäftsführender Gesellschafter
Transsolar Energietechnik, Stuttgart

Werner Sobek
Prof. Dr.-Ing.,
Leiter des Instituts für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart

Mitarbeiter:
Steffen Feirabend, Dipl.-Ing.; Wolfgang Sundermann, Dr.-Ing.; Stefanie Reuss, Dipl.-Phys.; Monika Lauster Dipl.-Wirtschaftsing.
Mitarbeiter der Ausgabe 1998:
Eckhard Helfrich, Dipl.-Ing.; Mathias Kutterer, Dipl.-Ing.; Anja Witte; Silke Brumm, Dipl.-Ing.; Friedemann Kik, Dipl.-Ing.; Friedrich Sick, Dipl.-Ing.; Peter Voit, Dipl.-Ing.

Redaktion

Redaktion und Lektorat:
Steffi Lenzen, Dipl.-Ing. Architektin (Projektleitung)

Redaktionelle Mitarbeit:
Astrid Donnert, Dipl.-Ing.; Carola Jacob-Ritz, M.A.; Melanie Schmid, Dipl.-Ing.; Manuel Zoller, Dipl.-Ing.; Ursula Wuffka
Redaktionelle Mitarbeit bei der Ausgabe 1998:
Sonja Brandl, Dipl.-Ing.; Susanne Funk, M.A.

Zeichnungen:
Marion Griese, Dipl.-Ing.; Sylvia Hollmann, Dipl.-Ing.; Claudia Hupfloher, Dipl.-Ing.; Nicola Kollmann, Dipl.-Ing.; Andrea Saiko, Dipl.-Ing.
Zeichnungen der Ausgabe 1998:
Sabine Drey, Dipl.-Ing.

Herstellung/DTP:
Roswitha Siegler

Repro:
Martin Härtl OHG, Martinsried

Druck und Bindung:
Kösel GmbH & Co. KG, Altusried-Krugzell

Herausgeber:
Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München

© 1998, erste Auflage
2006, zweite Auflage, überarbeitet und erweitert

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeituhgsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Inhalt

Impressum		4
Vorwort		6
Teil 1	**Glas in der Architektur**	**8**
1	Von den Ursprüngen bis zur Klassischen Moderne Gerald Staib	10
2	Die Glasarchitektur von der Moderne bis zur Gegenwart Christian Schittich	30
Teil 2	**Grundlagen**	**58**
1	Der Baustoff Glas Dieter Balkow	60
2	Konstruieren mit Glas – Festigkeit und Tragverhalten Werner Sobek mit Mathias Kutterer, Steffen Feirabend und Wolfgang Sundermann	90
3	Glas und Energie – Bauphysik Matthias Schuler und Stefanie Reuss	119
Teil 3	**Konstruktionen im Detail**	**160**
1	Lagerungsarten von Glas	163
2	Öffnungen	176
3	Architekturdetails	184
Teil 4	**Gebaute Beispiele im Detail**	**200**
Projektbeispiele 1–42 Christian Schittich und Gerald Staib		202
Anhang		
Verordnungen, Richtlinien, Normen		344
Literatur		346
Sachregister		348
Personenregister		350
Abbildungsnachweis		351

Vorwort

Kaum ein anderer Baustoff erfreut sich im Moment bei Architekten und Ingenieuren einer ähnlich großen Beliebtheit wie Glas.
Glas steht für einen langen Entwicklungsprozess in der Architektur – von der massiven, geschlossenen Wand zur durchsichtigen und lichtdurchlässigen Außenhaut.
Das Material, das die Möglichkeit bietet, transparente, leichte und offene Gebäude zu errichten, hat die Beziehung zwischen innen und außen, das Verhältnis der Menschen zum Raum, zum Licht und zur Natur verändert.
Dementsprechend besitzt Glas innerhalb der Baustoffe in der Architektur einen hohen Stellenwert.
Die Eigenschaft, die Wärmestrahlung der Sonne im Gebäude »einzufangen«, war noch zu Beginn unseres Jahrhunderts, als neue konstruktive Lösungen und der Wunsch entstanden, die Geschlossenheit der Häuser aufzusprengen, ein großes Problem. Heute existieren viele unterschiedliche Möglichkeiten, das Licht und die Wärme intelligent zu steuern und in richtigem Maß dem Gebäude zuzuführen.
Im konstruktiven Bereich wird der Baustoff zunehmend Last abtragend eingesetzt – der Anteil der massiven Tragkonstruktion kann so erheblich verringert werden.
Gerade in der jüngsten Vergangenheit hat das Material Glas einen enormen Innovationsschub erlebt. Heute sind wir in der Lage, mit diesem Material sogar hohe Ansprüche des Brandschutzes oder der Sicherheit zu erfüllen.
Neueste Dünnfilmbeschichtungen ermöglichen leistungsfähige Wärme- und Sonnenschutzgläser bei gleichzeitig optimaler Durchsichtigkeit.
Durch andere Maßnahmen können Glasfassaden wechselweise transluzent oder transparent, oder – durch Beschichtungen mit Hologrammen oder Fließkristallen – zum Informationsträger werden.
Nicht zuletzt wegen der vielen Innovationen gibt es bei den Architekten und Planern einen enormen Informationsbedarf.
Diesem soll das vorliegende Buch dienen.

Der Glasbau Atlas möchte die vielfältigen gestalterischen und konstruktiven Möglichkeiten, die der Baustoff Glas bietet, darstellen.
In der Tradition der Konstruktionsatlanten der Edition Detail wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt: Behandelt werden Grundlagen wie die Materialeigenschaften, das Tragverhalten, die bauphysikalischen Aspekte, die Möglichkeit, durch gezielten Einsatz von Glas Energie zu gewinnen sowie eine systematische Auswahl von Befestigungsdetails und Konstruktionen.
Eine baugeschichtliche Einführung soll die Zusammenhänge bei der Verwendung des Materials Glas von den Ursprüngen bis in die Gegenwart aufzeigen.
Bei den dokumentierten Architekturprojekten im Beispielteil steht das Zusammenwirken von Gestaltung und Konstruktion im Vordergrund. Bewusst werden hier nicht nur großflächige Verglasungen und technische Innovationen gezeigt, sondern auch alltägliche Lösungen, wie beispielsweise die Integration von einfachen Fenstern in eine Holz- oder Sichtziegelwand.
Es bleibt zu wünschen, dass der vorliegende Glasbau Atlas in Praxis und Studium zu einem besseren Verständnis des facettenreichen Materials beiträgt und konzeptionelle Anregungen bei Entwurfs- und Planungsaufgaben bietet.

Die Autoren 1998

Vor acht Jahren erschien die erste Auflage des Glasbau Atlas, der sich schon bald als Standardwerk etablierte und heute in zahlreichen Übersetzungen weltweit verbreitet ist. Dieser Erfolg, der technologische Fortschritt auf dem Gebiet des Materials Glas, aber auch viele neue herausragende Gebäudebeispiele haben uns zu einer kompletten Überarbeitung und weit reichenden Erweiterung des Werks veranlasst.

Bei der tiefer greifenden Auseinandersetzung mit dem Material Glas und insbesondere mit Glaskonstruktionen stellt man schnell fest, wie wichtig es ist, die historischen Zusammenhänge zu berücksichtigen und nachzuvollziehen, wie solche Konstruktionen entstanden sind – ja überhaupt entstehen konnten – und wie rasant sich auf diesem Gebiet die technologischen Entwicklungen bis heute fortsetzen.
Glas steht selten für sich allein, d.h. beim Einsatz dieses vielseitigen Materials gebührt auch immer den Materialien, die das Glas halten, tragen, stützen, dichten etc. wesentliche Beachtung. Selbst Ganzglasgebäude, bei denen Glaselemente sogar tragende Funktionen übernehmen, setzen sich aus mehreren Materialien zusammen, die im Ergebnis immer eine harmonische Einheit bilden müssen.

Darüber hinaus verlangt unser Zeitalter konkrete Antworten auf die zunehmend bedeutender werdenden Fragen nach Energieeinsparung bzw. energieoptimierter Bauweise – auch und gerade in Bezug auf den Baustoff Glas. Gilt dieser doch zum Teil bis heute als problematisch hinsichtlich des Wärmeschutzes bzw. der optimalen klimatischen Verhältnisse. Dass dieser Baustoff weit vielfältiger einsetzbar ist als Nicht-Fachleute im ersten Moment glauben mögen – insbesondere auf dem Gebiet des Wärme- und Sonnenschutzes – soll diese überarbeitete Auflage des Glasbau Atlas aufzeigen.

Gelungene Glasfassaden oder gar komplizierte Tragwerke mit Glas sind immer das Ergebnis guter Kooperationen vieler Fachleute wie beispielsweise Architekten, Ingenieure, Fassadenplaner und Ausführende. Immer wieder entstehen jedoch selbst unter Fachleuten heiße Diskussionen über die korrekte Lösung eines Details – und manchmal gibt es unter Umständen gar kein »richtig« oder »falsch«, sondern vielleicht den »ästhetischen, baubaren, effizienten, bauphysikalisch unproblematischen Prototypen«...
Die Autoren dieses Werks stammen aus unterschiedlichen Fachgebieten – Architekten, Ingenieure, Physiker, Sachverständige, viele sogar Spezialisten in ihrem eigenen Fachgebiet – was eine vielseitige Betrachtungsebene der Beiträge garantiert.

Im Vordergrund dieses Werks steht immer die ganzheitliche Betrachtung der Konstruktionen, d.h. das Zusammenspiel von Entwurf, Technik und Umsetzung.

Der Atlas bietet daher einen Einstieg in die Thematik mit einem »historischen« Teil 1, der einen Überblick über die wesentlichen Entwicklungen der Glasarchitektur von den Ursprüngen bis heute aufzeigt.
Teil 2 beinhaltet die Grundlagen, d.h. (für den Planer) notwendige Kenntnisse zum Baustoff Glas, zum Konstruieren mit Glas (Festigkeit und Tragverhalten) sowie zum Thema Glas und Energie unter bauphysikalischen Gesichtspunkten.
Teil 3 zeigt eine systematische Zusammenstellung der Lagerungsarten von Glas, der Öffnungen sowie eine Reihe von Architekturkonstruktionen im großen Maßstab, die Lösungsansätze für die wesentlichen Details und Anschlusspunkte an Gebäuden abbilden. Diese sind alle prinzipiell zu verstehen und stellen niemals universell anwendbare Lösungen dar.
Im Teil 4 sollen anhand von 42 dokumentierten Gebäudebeispielen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Glas in der Architektur – im Innenraum, an der Fassade und am Dach verdeutlicht werden.
Die Auswahl erfolgte in erster Linie nach gestalterischen und architektonischen Gesichtspunkten, ebenso standen die Vielfalt an möglichen Konstruktionen und das Zusammenwirken von Glas mit unterschiedlichen Materialien – neben Stahl und Aluminium auch Holz, Beton und Mauerwerk – im Vordergrund. Aspekte der Altbausanierung und des sinnvollen Kontrasts von Glas mit historischer Bausubstanz finden ebenso Berücksichtigung wie technische Innovationen und die Verwendung des Materials für energiebewusste Gebäudekonzepte.
Die gezeigten Beispiele befinden sich an unterschiedlichen Standorten mit entsprechend verschiedenen Bedingungen hinsichtlich Klima, Baurecht, technischen Vorschriften und Standards. Aus diesem Grund stellen die dokumentierten Details ähnlich wie im Teil 3 keine allgemein gültigen Lösungen dar, sondern müssen vielmehr den Anforderungen der jeweiligen Situation angepasst werden.
Die dargestellten Konstruktionen sollten nicht als »fertige Rezepte« verstanden werden, vielmehr als Beispiele, die konzeptionelle Anregungen liefern.
Um die Zusammenhänge besser zu erläutern, zeigen die dokumentierten Projekten keine isolierten Details, sondern auch grundlegende Informationen zum Gebäude wie z.B. Lagepläne, Grundrisse und Übersichtsschnitte. Nur in wenigen Fällen konzentriert sich die Auswahl auf eine einzelne Fassaden- oder Dachkonstruktion.
Im Anhang finden sich abschließend neben den üblichen Sach- und Personenregistern weit reichende aktualisierte Informationen zu relevanten Richtlinien, Verordnungen und Normen in Bezug auf den Baustoff Glas sowie Hinweise auf weiterführende oder vertiefende Literatur für die »Profis« und alle, die sich von der Thematik haben begeistern lassen.

Verlag und Redaktion
München, im August 2006

Teil 1 Glas in der Architektur

Von den Ursprüngen bis zur Klassischen Moderne

Gerald Staib

Die wesentlichen Etappen der Herstellung – Ein historischer Abriss 10
Die gotische Kathedrale – »Gott ist Licht« 13
Barock – Der Versuch, den Raum zu öffnen 13
Das traditionelle Haus 14
Das bürgerliche Haus – Die Außenwand wird zu einer durchlässigen Struktur 15
Das traditionelle japanische Haus 16
Das Material Eisen – Das Streben nach Licht 17
Von der Wand zur Haut – Die zunehmende Entbindung der Außenwand von ihrer tragenden Funktion 19
Die »Zerstörung der Kiste« – Der fließende Übergang zwischen innen und außen 22
Mit Glas Visionen schaffen – »Ohne einen Glaspalast ist das Leben eine Last« 24
Licht, Luft, Sonne – »Das Haus ist eine Maschine zum Wohnen« 26

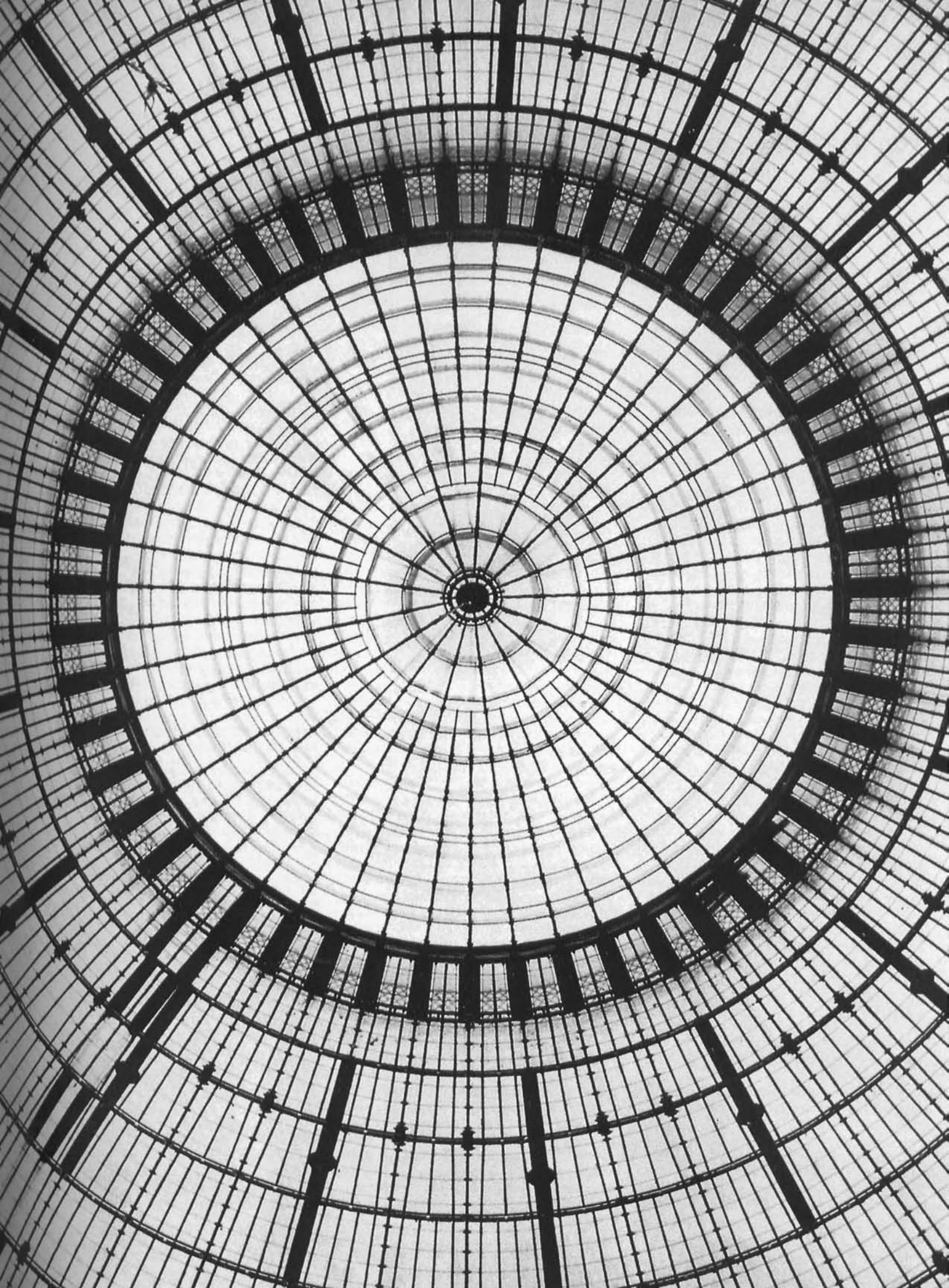
Die Glasarchitektur von der Moderne bis zur Gegenwart

Christian Schittich

Transparenz und Stofflichkeit – Die gläserne Haut wir zum Ereignis
Der Curtain Wall: von der Ästhetisierung zur Monotonie 30
Structural Sealant Glazing und Behälterarchitektur 33
Der Traum vom gläsernen Wohnhaus 34
Die neue Transparenz – Glas als Symbol 36
Große Räume unter Glas 39
Glas und Farbe 40
Transluzenz und Reflexion 42
Die Fassade als Display – Die gläserne Haut als Informationsträger 45
Glas und Energie 46

Die Entwicklung der Glaskonstruktionen
Vorhangfassaden 50
Hängende Verglasung und Punkthalterung 52
Verglaste Netzschalen 55
Verglaste Seilnetzwände 55
Druck- und biegebeanspruchte Glaskonstruktionen – Ganzglaskonstruktionen 56

Abb. 1 Kuppel Bourse de Commerce, Paris 1811, Henri Blondel



Von den Ursprüngen bis zur Klassischen Moderne

Gerald Staib

Die wesentlichen Etappen der Glasherstellung – Ein historischer Abriss

Das Wort Glas hat seine Wurzeln im germanischen »glaza« und ist die Bezeichnung für Bernstein, aber auch für »glänzen«, »schimmern«. Da der von den Römern eingeführte Glasschmuck Bernstein sehr ähnelt, wird auch dieser von den Germanen als »glaza« bezeichnet. Im Lateinischen findet sich für Bernstein wiederum das Wort »glesum« oder »glaesum«. Glas hingegen bezeichnen die Römer mit vitrum. Im Französischen entsteht daraus »vitre« für Fensterscheibe und »verre« für Glas.

Die Anfänge in Mesopotamien und Ägypten

Der Ursprung der Glasherstellung ist bis heute ungeklärt. Eine Schlacke, die zunächst zufällig bei der Verhüttung von Kupfer oder beim Brennen von Tongefäßen entdeckt wurde, verwendet man schon früh als Glasur auf Keramiken. Dies belegen Funde, datiert auf das Ende des 5. Jahrtausends v. Chr. in Mesopotamien und zu Beginn des 4. Jahrtausends v. Chr. in Ägypten. Bei der Öffnung ägyptischer Königsgräber stieß man auf grünliche Glasperlen, die aus der Zeit um 3500 v. Chr. stammen. Von da an kann von einer gezielten Glasproduktion gesprochen werden. Ab der Mitte des 2. Jahrtausends v. Chr. finden sich dann auch Ringe und kleinere Figuren, zu deren Herstellung Schalen als Gussformen dienten. Mit der Sandkerntechnik ist es in dieser Zeit auch möglich, aus der zähen undurchsichtigen Masse kleine Gläser, Vasen etc. herzustellen. Dabei wird ein tonhaltiger Sandkern an einem Stab in die Schmelzmasse getaucht und um die eigene Achse gedreht, so dass ein dicker »Glasfaden« aufgenommen wird. Die Masse rollt man dann auf einer Platte aus, bis die gewünschte Form entsteht und der Kern nach dem Abkühlen wieder entfernt werden kann.
Das älteste überlieferte Glasrezept ist mit der Tontafelbibliothek des assyrischen Königs Assurbanipal (669–627 v. Chr.) in Ninive erhalten. In Keilschrifttexten heißt es: »Nimm 60 Teile Sand, 180 Teile Asche aus Meerespflanzen, 5 Teile Kreide – und du erhältst Glas«. Im Prinzip stimmt dieses Rezept bis heute (siehe »Zusammensetzung«, S. 60).

1.1.1

Die syrische Glasmacherpfeife

Erst mit der Erfindung der Glasmacherpfeife um 200 v. Chr. durch syrische Handwerker in der Gegend von Sidon gelingt es, dünnwandige Hohlgefäße in großer Formenvielfalt herzustellen. Der Glasbläser nimmt mit einem etwa eineinhalb Meter langen Blasrohr einen Klumpen flüssiges Glas aus der Schmelze auf und bläst diesen zu einem dünnwandigen Volumen.

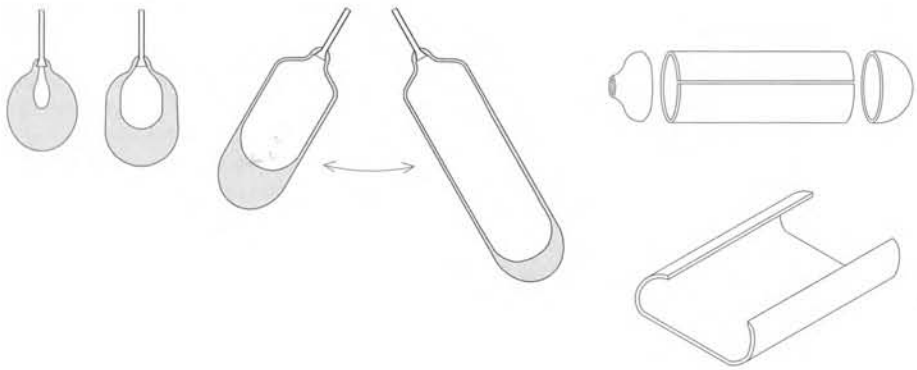
Die römische Zeit

Glas als Raumabschluss ist erstmals durch Funde in den Villen von Pompeji, Herculaneum und in Thermen nachweisbar. Diese Scheiben, entweder rahmenlos eingebaut oder in Bronze- bzw. Holzrahmen eingefasst, sind ca. 30 × 50 cm groß und zwischen 3 und 6 cm dick. Die Herstellung erfolgt, obwohl zu dieser Zeit das Zylinderstreckverfahren schon bekannt ist, nach der Guss- und Strecktechnik: Eine zähflüssige Paste wird auf eine sandbestreute und mit Rändern eingefasste Platte gegossen und mit Eisenhaken auseinandergezogen. Soweit die gefundenen Fragmente aufgrund der Verwitterung eine Beurteilung zulassen, ist dieses römische Fensterglas bläulich grün und nicht sonderlich transparent.

Das Mittelalter

Mit den Römern gelangt die Technik der Glasherstellung auch in die nordalpinen Provinzen. Nach der Völkerwanderungszeit wird die römische Tradition zunächst von der merowingisch-fränkischen Glasproduktion wiederaufgenommen. Erhalten sind aus dem Frühmittelalter Sturzbecher, Trinkhörner sowie Rüsselbecher. Neben diesen Gebrauchsgegenständen, die auch im Hochmittelalter weiterhin produziert werden, steht die Glasproduktion nun zunehmend in Verbindung mit der Bautätigkeit der Kirchen und Klöster. Die größten Waldglashütten liegen in waldreichen Gebieten und an Flussläufen, also überall dort, wo es Holz zur Energieerzeugung und als Zuschlag, aber auch Wasser für die Kühlung und den Transport von Sand gibt. Ist das Holz der Umgebung verbraucht, zieht die Hütte weiter. Die Waldrodungen sind extrem. In veschiedenen Regionen verbietet man daraufhin die Glasherstellung. Doch erst die Verwendung von Kohle statt Holz als Brennstoff im 18. Jahrhundert sollte auch das Ende der Waldhütte bedeuten.

1.1.2



1.1.3

1.1.1 Rüsselbecher aus Glas, Unterfranken 6. Jahrhundert, Mainfränkisches Museum, Würzburg
1.1.2 Glasschmelzofen, Stich aus: Georgius Agricola »De re metallica libri XII« – Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, Basel 1556
1.1.3 Herstellungsablauf von Tafelglas im Zylinderstreckverfahren
1.1.4 Herstellung von Tafelglas im Mondglasverfahren, Stich aus der »Encyclopédie« von Diderot und d'Alembert, 1773

Zylinderstreck- und Mondglasverfahren

Die beiden wichtigsten Produktionstechniken seit dem Mittelalter, das Zylinderstreck- und das Mondglasverfahren, bleiben Grundlage der Glasherstellung bis ins 19. beziehungsweise frühe 20. Jahrhundert.

Während Flachglas durch das Zylinderstreckverfahren mit der Glasmacherpfeife schon im 1. Jahrhundert n. Chr. herstellbar ist, wird das Mondglasverfahren erst im 4. Jahrhundert n. Chr. entdeckt. Wieder sind es syrische Handwerker, die beide Techniken entwickeln. Sowohl beim Zylinderstreck- als auch beim Mondglasverfahren wird ein Klumpen Glasmasse mit der Glasmacherpfeife entnommen, rund geformt und zu einem Hohlkörper geblasen. Damit die Geschmeidigkeit für die Formgebung erhalten bleibt, muss die Form ständig im Ofen »nachgewärmt« werden.

Beim Zylinderstreckverfahren, das vorrangig in Lothringen und am Rhein Anwendung findet, wird die Kugel durch Blasen, Schwenken und Wälzen auf einer Platte zu einem möglichst langen, dünnwandigen Zylinder geformt. Mit einem nassen Eisenstift, später mit einem Diamanten, sprengt man die beiden Kappen ab und den spannungsfrei gekühlten Zylinder der Länge nach auf, erhitzt diesen im »Streckofen« und biegt ihn zu einer flachen Tafel. Die Größe der Zylinder und somit auch der Tafel ist durch die Lungenkraft des Bläsers begrenzt. Die Zylinderlänge liegt bei maximal 2 m, der Durchmesser bei 30 cm.

Beim Mondglasverfahren wird der Hohlkörper auf die Kopfplatte eines Eisenstabes »geklebt« und daraufhin die Pfeife abgesprengt; das Loch vergrößert man zu einem Wulst. Der nun entstandene kelchartige Körper wird wieder erwärmt und dann durch Schleudern zu einer Scheibe geformt. Das entstandene »Mondglas« schneidet der Glasmacher aufgrund der Unebenheiten in kleine Scheiben: je nach Qualität in Rechtecke, Rauten oder Sechsecke. Es bleibt das mittlere dicke Stück, die Butze. Diese und kleinere Scheiben wurden ohne weitere Unterteilung als Butzenscheiben verkauft. Im Gegensatz zum Zylinderstreckverfahren ermöglicht das Mondglasverfahren ebenere, reinere und glänzendere Oberflächen, weil das Glas nicht mit dem rauen, heißen Ofenboden in Berührung kommt. Es wird noch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts insbesondere in der Normandie – deshalb auch der Name »Verre de France« – und in England angewendet.

Venedig

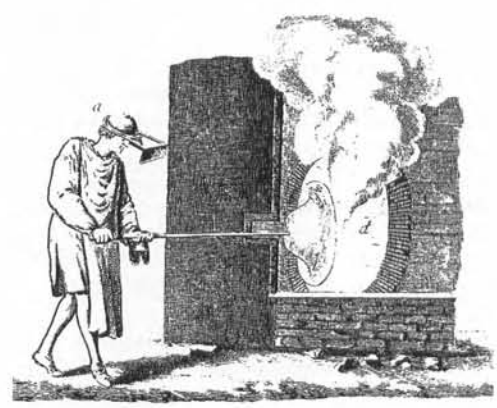
Die Stadt Venedig ist zwischen dem 15. und 17. Jahrhundert führend in der Herstellung von gläsernen Schalen, Trinkgefäßen und Spiegeln (mit Zinn und Quecksilber beschichtete Glastafeln), die vor allem nach Deutschland und Frankreich ausgeführt wurden. Der Erfolg des venezianischen Glases beruht auf seiner außergewöhnlichen Reinheit und Farblosigkeit. Diese sind auf den Zusatz der Asche einer Strandpflanze, von Mangan und Arsenik als Entfärbungsmittel zurückzuführen.

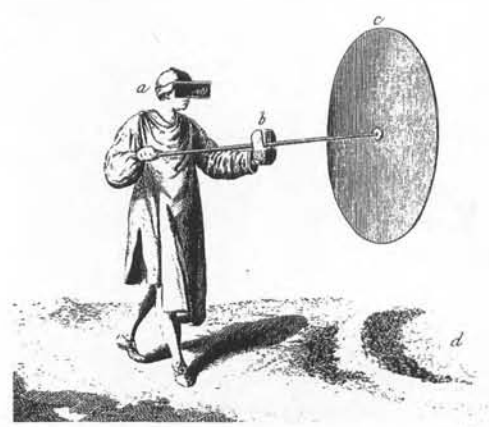
17./18. Jahrhundert

Der große Glasbedarf im 17. Jahrhundert – Glas wurde mittlerweile nicht mehr nur von Kirchen und Klöstern abgenommen, sondern auch von Händlern in den Städten für Verglasungen an Schlössern und Stadthäusern – und die Monopolstellung Venedigs veranlassten die Glashütten, nach neuen Produktionsverfahren zu suchen. Ein entscheidender Schritt gelang dem Franzosen Bernard Perrot 1687 mit der Entwicklung des Gussglasverfahrens. Dabei wird der Inhalt der Schmelzwanne auf eine glatte, vorgewärmte Kupferplatte gegossen und mit einer wassergekühlten Metallwalze zu einer Tafel ausgewalzt. Die Dicke der Glastafel ergibt sich durch die Höhe der seitlichen Einfassschienen. Die im Vergleich zu den vorherigen Verfahren deutlich ebenere Tafel wird anschließend mit Sand und Wasser geschliffen und mit einer Paste aus Eisenoxid poliert.

Die so genannten grandes glaces oder auch Spiegelglasscheiben sind bis zu 1,20 × 2 m groß und können bei besserer Qualität mit weniger Arbeitskräften schneller und damit auch kostengünstiger produziert werden. Der Durchbruch gelingt jedoch erst mit der Erfindung des Gusswalzverfahrens 1919 Max Bicheroux (siehe »Frühes 20. Jahrhundert«, S. 12).

Dennoch bleibt Glas für Fenster – auch durch das doppelseitige Polieren – ein teures Material. Wie wertvoll Glas am Ende des 18. Jahr-





1.1.4

hunderts immer noch ist, zeigt z. B., dass Kutscher am Ende eines Arbeitstages die Scheiben aus den Kutschen nehmen und stattdessen ein Weidengeflecht einsetzen. In England wird Fensterglas bei einem Umzug vom Pächter ausgebaut, es gehört nicht zur Ausstattung eines Hauses.

Die Industrialisierung

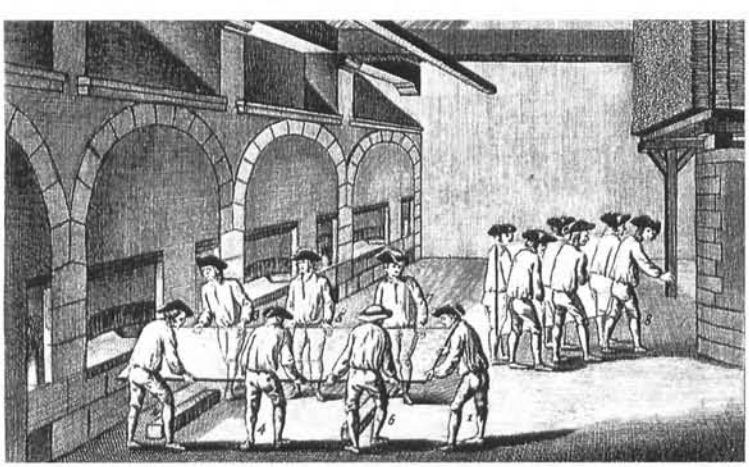
Vor allem im 19. Jahrhundert gibt es auf allen Gebieten der Glaserzeugung Fortschritte zu verzeichnen.
1856 lässt Friedrich Siemens einen verbesserten Schmelzofen patentieren, der einen rationelleren Arbeitsablauf ermöglicht und die bisher benötigte Menge an Brennstoff halbiert. Dies steigerte die Effizienz der Produktion, die Preise sanken. Auch das Zylinderstreckverfahren wirde wesentlich weiter entwickelt: In England gelingt es 1839 den Brüdern Chance, die Arbeitsschritte Aufschneiden, Schleifen und Polieren des geblasenen Zylinders so zu verändern, dass der Glasbruch reduziert und die Oberflächen verbessert wurden. Erst durch diese Optimierung war es 1850/51 möglich, in nur wenigen Monaten die riesige Menge der für den Bau des Kristallpalastes benötigten Glastafeln zu produzieren. Um 1900 entwickelt der Amerikaner John H. Lubbers ein mechanisches Verfahren, das das Blasen und Ziehen kombiniert. Aus der Schmelzwanne wird ein Zylinder an der Spitze an Pressluft angeschlossen und unter ständigem Nachströmen der vorgewärmten Druckluft langsam senkrecht herausgezogen. Damit sind Längen bis zu 12 m und ein Durchmesser bis zu 80 cm erreichbar. Bis zur Glasplatte war jedoch immer noch der Umweg über das Aufschneiden und Umformen des Zylinders notwendig. Schwierigkeiten macht insbesondere das Umlegen des Zylinders in die Horizontale.

Frühes 20. Jahrhundert

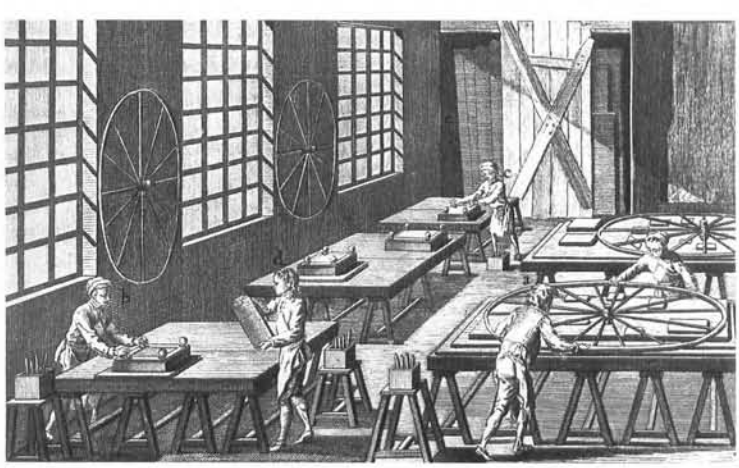
Maschinell gefertigte, brillante Glastafeln können erst ab ca. 1905 produziert werden, als es dem Belgier Emile Fourcault gelingt, diese direkt aus der Glasschmelze zu ziehen. Eine Düse aus gebranntem Ton taucht dabei in geschmolzenes Glas. Dieses quillt durch einen Schlitz, wird von Fangeisen aufgenommen und wie Honig vertikal nach oben gezogen und dabei gekühlt. Problematisch bei diesem Verfahren ist jedoch, dass quer zur Ziehrichtung eine leichte Wellenbewegung entsteht. Fensterglas, ausgenommen sehr schmale Scheiben, wird deshalb so eingesetzt, dass die Wellen horizontal verlaufen.
Der Amerikaner Irving Colburn lässt 1905 ein vergleichbares Ziehverfahren patentieren, das so genannte Libbey-Owens-Verfahren. Hierbei wird Glas nicht senkrecht wie bei Fourcault in die Höhe, sondern ohne Düse über eine Biegewalze in die Waagrechte umgelenkt und in einem 60 m langen Kühlkanal bis auf Handwärme abgekühlt und geschnitten; dabei sind Gussstärken von 0,6 bis 20 mm möglich. Die Breite des Glasbandes beträgt 2,5 m, die Dicke ist durch die Ziehgeschwindigkeit bestimmbar: Je schneller gezogen wird, umso dünner ist die Scheibe. Die für den Kristallpalast benötigte Glasmenge hätte auf diese Weise in zwei Tagen produziert werden können.
In dem seit 1928 angewendeten Verfahren der Pittsburgh Plate Glass Company werden die Vorteile der zuvor genannten vereint, was vor allem eine weitere Steigerung der Produktionsgeschwindigkeit bedeutete.
Durch Verbesserung aller drei Verfahren tritt letztlich auch die Spiegelglasherstellung mit ihren hohen Produktionskosten zunehmend in den Hintergrund.
1919 gelingt Max Bicheroux der entscheidende Schritt bei der Gussglasherstellung. Der bis dahin in mehrere Arbeitsschritte zerlegte Produktionsgang konzentriert sich nun in einem Walzwerk: Die flüssige Glasmasse wird aus dem Hafen kommend portionsweise zwischen gekühlten Walzen zu einem Glasband geformt. Bewegliche Tische transportieren das noch warm in Tafeln zerschnittene Glas in Kühlöfen. Es sind Scheibengrößen bis zu 3 × 6 m möglich.
Seit Beginn dieses Jahrhunderts experimentiert man auch mit fließendem Glas, zunächst jedoch ohne Erfolg. Erst 1959 entwickelt Alastair Pilkington das so genannte Floatverfahren, das bis heute die Grundlage der Glasproduktion bildet (siehe »Floatglas«, S. 61).

Der Glasbaustein oder das transluzente Mauerwerk

Schon seit der Mitte des 19. Jahrhunderts gibt es begehbare Glasplatten. Der Engländer Thaddeus Hyatt verwendet diese in Metallrahmen und legt sie zur Belichtung von Untergeschossen in Gehsteige ein. Es sollte jedoch noch rund 30 Jahre dauern, bis ein Glasprodukt gefunden wird, das lichtdurchlässig ist und als Wandbaustein verwendet werden kann. Die serienreife Glassteinproduktion beginnt mit der Erfindung des Franzosen Gustave Falconnier, der seit 1886 mundgeblasene Glasbausteine in ovaler und sechseckiger Form produziert. Trotz eingeschränkter Belastbarkeit und Problemen mit Schwitzwasser erfreuen sich diese Produkte großer Beliebtheit bei Architekten wie Hector Guimard, Auguste Perret, Le Corbusier u.a.
Um die Belichtung von Räumen zu verbessern, wird seit 1899 »Prismenglas« der Luxfer-Prismen-Gesellschaft verwendet. In schmale Metallrahmen eingesetzt, kann über diese 10 × 10 cm großen, massiven, innenseitig prismatisch geformten Steine Licht in die Tiefe des Raumes gelenkt werden. Ein Prinzip, das bis heute große Aktualität besitzt. Seit 1907 gibt es den »Glaseisenbeton« Friedrich Kepplers. Die seitlichen Rillen im 40 bis 65 mm starken Stein bilden einen Verbund mit den Eisenbetonstegen. Damit war es möglich, große tragfähige, lichtdurchlässige Plattenkonstruktionen zu realisieren. Diese Technik überträgt Bruno Taut im »Glashaus« auf der Werkbundausstellung 1914 in Köln auf Wände und Dach. Einen weiteren Schritt stellt der verbesserte »Nevada-Stein« (20 × 20 × 4 cm) der Glaswerke Saint-Gobain dar. Angeregt durch Bauten von Le Corbusier und Pierre Chareau findet dieser Glasbaustein in aller Welt Verbreitung . Neben diesen in Pressformen hergestellten massiven Steinen gibt es von Luxfer und Siemens den großen Hohlglasstein im Reichsformat (25 × 12,5 × 9,6 cm), der mit der Öffnung nach unten vermauert wird. In den 1930er-Jahren gelingt es der Owens Illinois Glass Corporation erstmals einen aus zwei Hälften unter Hitze und Druck zusammengefügten Stein, wie wir ihn heute kennen, herzustellen.



1.1.5



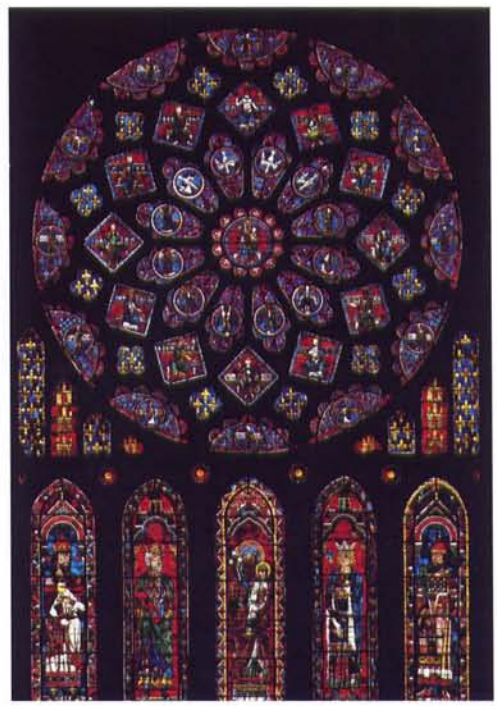
1.1.6

Die gotische Kathedrale – »Gott ist Licht«

Die gotische Kathedrale im Zentrum der mittelalterlichen Stadt ist Sinnbild für die Macht von Bischof und Domkapitel, aber auch des Regenten sowie der aufstrebenden Städte. Geistliche und weltliche Macht, aber vor allem auch die Vermittlung der Glaubensinhalte, die Erklärung der mittelalterlichen Welt offenbaren sich in diesem Bauwerk – die Kirche als »gestaltgewordenes Abbild des Himmels«.
Der kompakte Baukörper der Romanik wird aufgelöst in ein Skelett von linearen Trag- und Stützelementen, die Lasten des Gewölbes werden diagonal in Rippen zusammengefasst und über Dienste, Pfeiler und Strebebogen abgetragen. Die Wand wird aufgebrochen und es entwickelt sich eine mehrschichtige Struktur von Pfeilern und Bögen. Die frei gewordenen Flächen füllen große farbige, durch Maßwerk gegliederte Fenster. Der Raum öffnet sich zum Licht. Das farbige Glas der Fenster heiligt und verschönert das Licht. Das Spiel des Lichtes macht die Steine im Innern zu etwas Besonderem: Es »glänzt in Herrlichkeit, und von neuem Licht durchflutet, erstrahlt das erhabene Werk«.
Das Glasfenster wird zu einem Filter zwischen innen und außen, zwischen Gott und den Menschen. Es verwandelt die Sonnenstrahlen in ein geheimnisvolles Medium.
Die bemalten, mit Bleiruten zu großen farbigen Flächen zusammengesetzten Gläser erzählen von der Heiligen Schrift, von Gott und den Menschen; erzählen von der Geschichte und der Zukunft, aber auch von den Stiftern.
Die Absicht einen hellen, von farbigem Licht erleuchteten Raum zu schaffen, geht auf Abt Suger (1081–1151) von Saint-Denis zurück. Mit dem Chorneubau der Abteikirche (1140–43) gelingt es erstmals, durch den Grundriss und die Fensterdisposition den Säulenkranz des Sanctuariums von einem Lichtband hinterfangen zu lassen. Nach Suger sind alle sichtbaren Dinge »materielle Bilder«, die letztlich das »wahre Licht Gottes« widerspiegeln. Je kostbarer das »materielle Licht«, umso eher kann es das »wahre Licht« vermitteln. »Der blinde Geist gelangt durch das Materielle zur Wahrheit, und wenn er das Licht erblickt, taucht er aus seiner früheren Versenkung auf«, ließ er 1134 am Portal von Saint-Denis einmeißeln.
Baukunst und Licht schaffen einen Raum der Vergeistigung und Entmaterialisierung.

Barock – Der Versuch, den Raum zu öffnen

Der rhythmisch-bewegte, plastisch-körperhafte Raum, zentriert und ins Unendliche ausgreifend, ist ein großes Thema der barocken Architektur. Dabei spielt insbesondere das Licht eine wichtige Rolle. Nicht mehr das diffuse, mystische Licht der gotischen Kathedrale, sondern das helle, durch große Fenster- und Türöffnungen eintretende Sonnenlicht. Licht als raumschaffendes Element, Licht aber auch als Mittel, um die Grenzen des Raumes aufzulösen. Zusammen mit der Malerei und dem Stuck, den hellen Wänden der Kirchen – genannt sei hier die Abteikirche in Neresheim (begonnen 1745) von Balthasar Neumann – und den Spiegeln in den herrschaftlichen Häusern verliert der Raum seine Körperlichkeit, wächst ins Unendliche, die Wände beginnen sich aufzulösen und sich zu entmaterialisieren. Die massive, das Innere vom Äußeren trennende Außenwand wird überspielt. Die Architektur und die Natur, der Innen- und der Außenraum verbinden sich. Diese Errungenschaften, die sich in den Bauten dieser Zeit manifestieren, sollten zukünftig immer größere Bedeutung erlangen. Durch die zunehmende Öffnung der Architektur entstand ein immenser Bedarf an Glas. Die rasch wachsende Glasindustrie im Norden arbeitete immer noch mit den traditionellen Methoden und auch Nachteilen des Mondglas- und Zylinderstreckverfahrens. Erst das 1688 entwickelte Walzglasverfahren ermöglichte es, größere und fast reine Gläser herzustellen und leitet die Epoche der »grandes glaces« ein. Diese werden auf bemerkenswerte Weise mit Spiegeln kombiniert, die schon seit der Antike bekannt sind. Hier handelt es sich jedoch noch um Spiegel aus Bronze und Kupfer mit polierter Fläche und mit einer Silber- oder Platinbeschichtung. Seit dem 13. Jahrhundert stellt man mit Blei oder Bleizinn hinterlegte Konvexspiegel her. Venezianische Spiegel sind seit dem späten 15. Jahrhundert bekannt. Sie sind mit einer Amalgamschicht belegt und werden so noch bis in das 19. Jahrhundert hergestellt. Beispielhaft für die Verwendung von Glas und Spiegel ist die Galerie des Glaces (1678–84) im Schloss von Versailles von Jules Hardouin-Mansart und Charles Lebrun. Die Fassade des langen Querflügels an der Gartenseite besteht aus einer Reihe von Bogenfenstern. Dadurch löst sich die Wand auf, wird fast zum Skelett. Diese Öffnungen wiederholen sich vis-à-vis auf der Innenwand als Spiegel (aus 90 × 60 cm großen Einzelstücken zusammengesetzt), die bis zum Boden reichen. Die Spiegelung der Natur, der Bäume, der Wolken findet in dem weißen und



1.1.7

farbigen Marmor auf den Wandflächen seine Fortsetzung. Damit führt das durch die großen Öffnungen einfallende Licht, die Reflexionen auf den Spiegeln und die changierenden Materialien zu einer nahezu vollständigen Auflösung des Raumes.

1.1.5 Herstellung von Spiegelglas, Stich aus der »Encyclopédie« von Diderot und d'Alembert, 1773
1.1.6 Herstellung von Spiegelglas, Stich aus der »Encyclopédie« von Diderot und d'Alembert, 1773
1.1.7 Kathedrale von Chartres, Fensterrose der Nordquerhausfassade, um 1240
1.1.8 Abteikirche des Benediktinerordens, Neresheim, 1745 begonnen, Balthasar Neumann
1.1.9 Galerie des Glaces, Schloss Versailles 1678–84, Jules Hardouin-Mansart, Charles Lebrun

1.1.8

1.1.9

Das traditionelle Haus

Das traditionelle Wohnhaus hat sich weitgehend frei von den herrschenden Architekturstilen und -regeln entwickelt. Die Besonderheiten des Ortes, der Landschaft und des Klimas, der vorhandenen Materialien, Techniken und Traditionen haben zu individuellen, differenzierten Lösungen geführt. Lösungen von zumeist uralten Problemen, die jedoch gerade heute aufgrund architektonischer und umwelttechnologischer Gründe wieder große Aktualität haben.
Jeder Teil eines solchen Hauses ist Ausdruck einer Notwendigkeit, hat eine ganz bestimmte Aufgabe und somit seinen Platz und Wert; daraus ergibt sich wiederum die Form und Dimension.
Ein Beispiel dafür ist die Außenwand:
Die Fenster sind nicht groß, die Lüftungsflügel sogar sehr klein. In alten, in Blockbauweise errichteten Häusern ergibt sich die Öffnung aus der Höhe des geschichteten Balkens, bei Bruchsteinbauweise aus der begrenzten Tragfähigkeit des verwendeten Gesteins.
Man hatte nicht die Muße und die Zeit, sich am Tage in diesen Räumen aufhalten zu können. Tageslicht war wichtig für die Arbeit, und die geschah in der Regel außerhalb des Hauses.
Man kann sagen, dass die Öffnung in der Außenwand eher eine Schwachstelle ist, für Wind und Wetter und die Gefahren von draußen, für das Aufrechterhalten eines wohnlichen Klimas in den rauen Wintern.
Glas als Verschluss von Öffnungen ist bei diesem Haustypus vor allem aus Kostengründen erst spät üblich. Je nach Region behilft man sich mit den vorhandenen Materialien wie dünn geschabten Tierhäuten, Tierblasen, Leinwand und Ähnlichem. Diese Materialien werden zusätzlich geölt oder gefettet, wodurch der Verschluss wasserabweisend ist und der Winddurchgang erschwert wird. Abhängig von Tradition und Wohlstand werden die Materialien auf Klapp- oder Schieberahmen aufgebracht, so dass das Fenster aus festen und beweglichen Teilen besteht.
Es sind also schwierig zu erfüllende Bedürfnisse, denen an dieser Schwachstelle der Hauswand Rechnung getragen werden muss:
Auf der einen Seite ist es der Wunsch nach Öffnung, um etwas Licht und Luft in die Stuben zu holen, auf der anderen Seite wird Schutz vor Wind, Wetter und anderem gesucht. In vielen Regionen zeigt nun die Bearbeitung des Fensters, dass es eine existenzielle Verbindung zwischen innen und außen darstellt und damit für die Menschen zu einem ganz besonderen Element in der Gestaltung ihres Hauses wird. Dies geschieht, indem es durch seine Farbgebung oder in seiner handwerklichen Bearbeitung in der Fassade betont wird und man mit schön gearbeiteten Rahmen und Verblendungen ein Übergang zwischen Öffnung/Fenster und Wandfläche herstellt. Besonders deutlich kommt bei

1.1.10

1.1.11

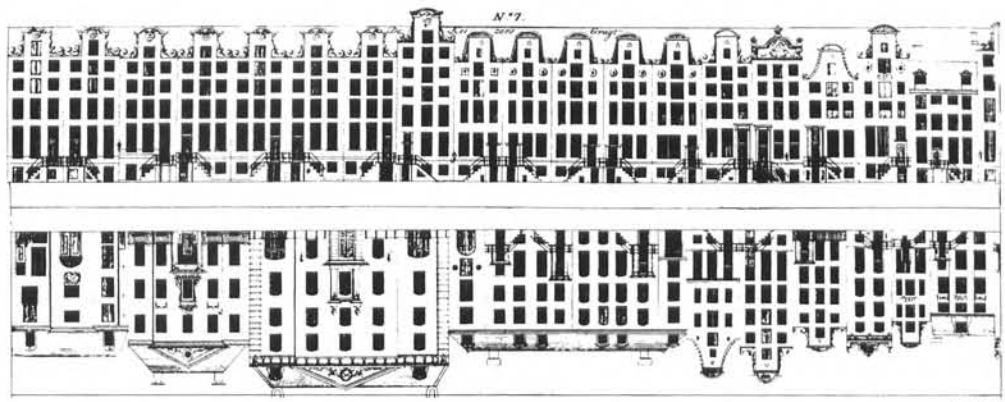
diesen traditionellen Fenstern aber zum Ausdruck, wie sich an der Öffnung, an der Schwelle zwischen innen und außen, eine räumlich gestaffelte Zone des Übergangs entwickelt hat.
Auf der Außenseite: der Blumenkasten vor dem Fenster, ein Schmuckstück, aber oft auch ein Filter für die Aus- und Einsicht; die Klappläden gegen Wind und Wetter, gegen Sonne, Helligkeit und Gefahren von außen, oft derart ausgeführt, dass durch verstellbare Schlitze gefiltertes Licht einfallen kann und Luftaustausch möglich ist.
Auf der Innenseite: die Vorhänge, meist lichtdurchlässig, aber die Blendung der Sonne reduzierend, darüber hinaus wichtig für das Bild des Fensters von außen; von innen nehmen sie dem Fenster die Härte und zieren den Raum. Daneben gibt es oft noch ein Fensterbrett mit Blumen oder anderen Utensilien. Dies alles zeigt den Wert, den das Element Fenster für den Menschen hat. Es zeigt aber auch, wie der Mensch mit einfachen Mitteln – die Besonderheit des Ortes berücksichtigend – einen differenzierten Apparat entwickelt, um die Einflüsse aus der Umwelt über Filter, Sperren und Schalter individuell steuern zu können, so dass sich in den Räumen wohnen lässt.
Das traditionelle Fenster demonstriert, wie jedes Problem und Bedürfnis sein Material, seine Technik und seine Lösung findet.

1.1.12

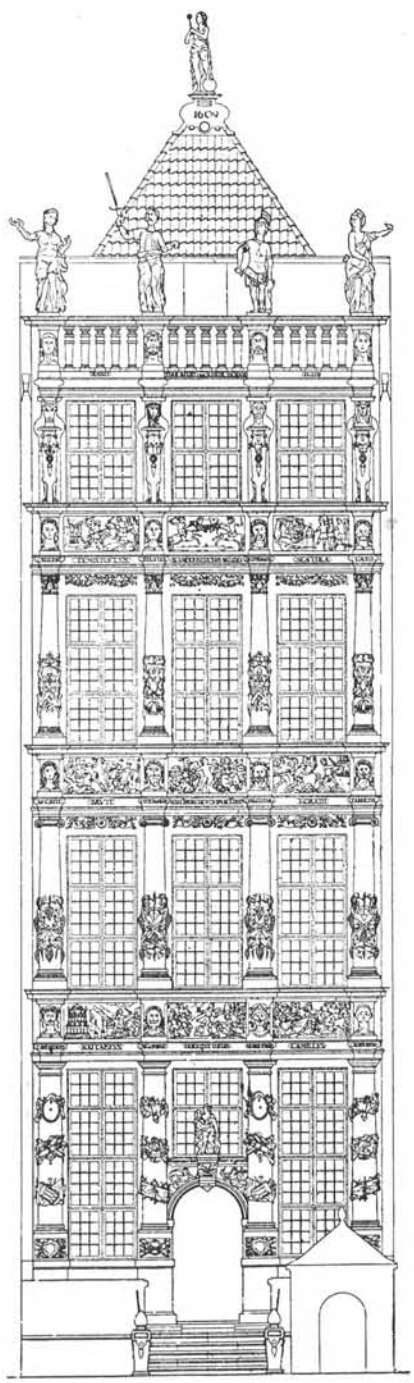
Das bürgerliche Haus – Die Außenwand wird zu einer durchlässigen Struktur

Die Architektur der bürgerlichen Wohnhäuser war in der Regel geprägt von schweren, massiven Umschließungen. Die Öffnungen sind klein, oft winzig und meistens zweigeteilt: ein oberer lichtdurchlässiger Teil, fest verschlossen mit dünn geschabten Tierhäuten und anderen lichtdurchlässigen Materialien, und ein unterer zu öffnender Teil mit Holzläden. Oft ist das ganze Fenster während des Winters mit Läden und im Sommer mit einem Gitterwerk verschlossen. Erst nach und nach kommen Holzrahmen mit runden, in Bleiruten gefassten Gläsern zum Einsatz. Glas ist selten und kostbar und wird außer bei Schlossbauten nahezu ausschließlich in Kirchen und Klöstern verwendet. Erst in der Gotik vergrößern sich nicht nur im Kirchenbau die Öffnungen, indem etwa Spitzbogenfenster in Gruppen zusammengefasst werden. Prinzipiell war es in der massiven Steinarchitektur jedoch schwierig, die Wand mit größeren Öffnungen zu durchbrechen. Die Bedingungen des ausschließlich auf Druck beanspruchbaren Natursteins und Ziegels lassen nur begrenzten Spielraum. Anders verhält es sich dagegen beim hölzernen Fachwerkbau. Die klare Trennung des Baugefüges in tragende und nicht tragende Elemente machte die Flächen zwischen der Konstruktion frei für Öffnungen. Damit ist es möglich, innerhalb des Rasters aus Horizontalen und Vertikalen viele schmale Fenster aneinander zu reihen und getrennt durch die Holzpfosten ein frühes Fensterband zu erzeugen. In den aufblühenden Städten des 16. Jahrhunderts sind diese großzügig aufgelösten und ausgearbeiteten Fassaden der Rat- und Zunft-, später auch der Wohnhäuser, zu einem Charakteristikum geworden. Auch in der Steinarchitektur versuchte man die Wand soweit es ging zu öffnen. Die enge Stellung Haus an Haus etwa in den niederländischen Städten machte es trotz der Bauweise in Mauerwerk möglich, die Außenwand in ein feines Gerippe weniger tragender Teile aufzulösen, ausgefacht mit großen Fenstern. Durch diese großzügige Öffnung der Front wird es möglich, Licht in die tiefen schmalen Räume zu holen. Die Außenwand stellt somit nicht mehr eine harte Trennung zwischen innen und außen dar, sondern ein Element des Übergangs, Privates und Öffentliches verbinden sich. Die Ausformung dieser Zone hat eine lange Tradition, besonders in den Niederlanden. Die Besteuerung von Glas und Fenstern in England seit dem frühen 17. Jahrhundert, in Frankreich von Türen und Fenstern haben zu anderen Formen der Außenwand geführt.

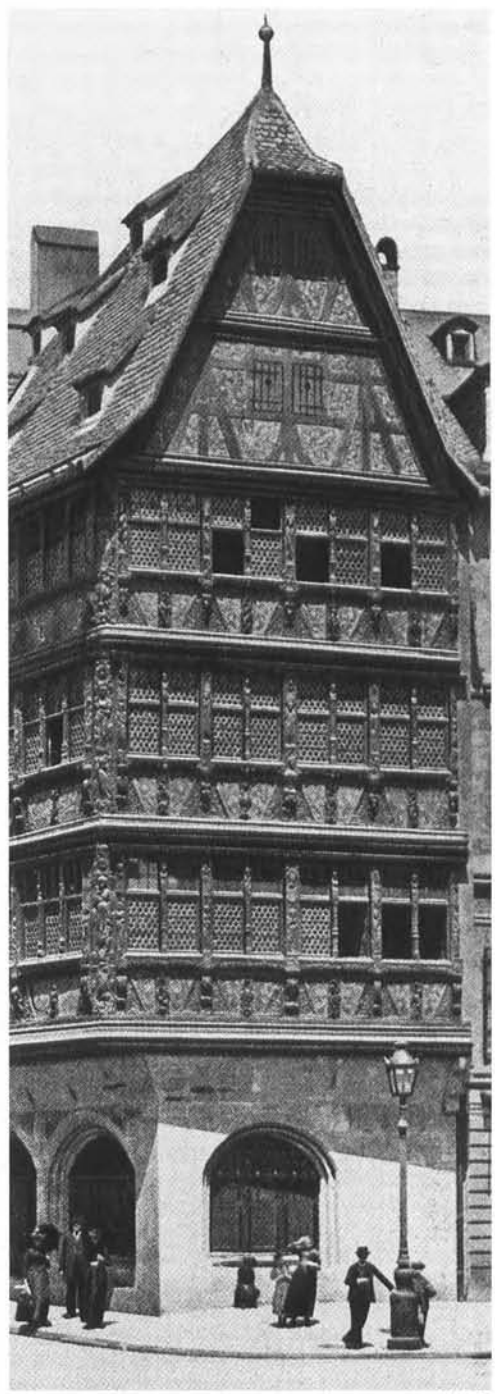
1.1.10 Fenster eines alten Steinhauses im Tessin
1.1.11 Fenster eines Bauernhauses in Westfalen, Westfälisches Freilichtmuseum Detmold
1.1.12 Fenster eines Schweizer Bauernhauses
1.1.13 Fassaden zweier Häuserreihen, Heerengracht in Amsterdam, Stich aus dem 18. Jahrhundert
1.1.14 Bürgerhaus Danzig, Langemarkt 14, 1609–17
1.1.15 Haus Kammerzell, Straßburg 1589



1.1.13



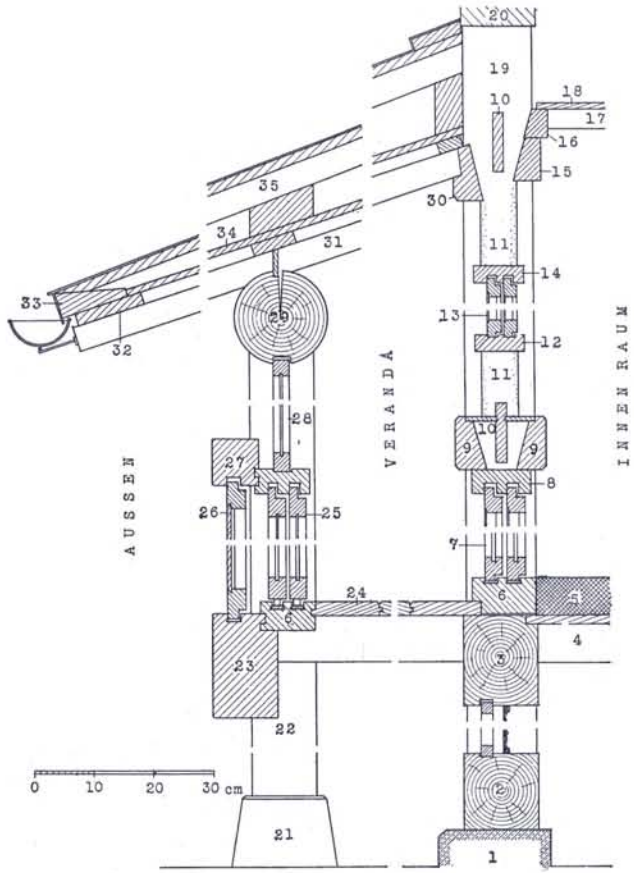
1.1.14



1.1.15

Das traditionelle japanische Haus

Die klimatischen Bedingungen der Inselgruppe, das reichlich vorhandene Material Holz, die Gefährdung durch Erdbeben und die starke Bindung an kulturelle und religiöse Traditionen haben in Japan einen Haustypus entstehen lassen, der jahrhundertelang den gleichen Regeln folgte.
Der offene Grundriss, die Beziehung zum Garten, die leichten, raumhohen und raumbreiten Öffnungselemente üben großen Einfluss auf die Architekten der Moderne wie Frank Lloyd Wright oder Bruno Taut aus.
Das traditionelle japanische Haus ist ein Haus aus Holz, Bambus, oft Lehm für die Wände, Papier zur Füllung von Schiebeelementen und mit Strohboden, ein Skelettbau mit leichten, größtenteils verschiebbaren Wandteilen. Alle Elemente des Hauses, die Holzkonstruktionen, die Wandelemente und Schiebetüren, die Anordnung und Ausmaße der Räume, die Größe der Strohmatten etc., sind in ihren Dimensionen und Maßen exakt geregelt. Alle Teile sind aufeinander bezogen – eine sehr frühe Form der Elementierung und Standardisierung.
Nachdem das Klima in der Regel ein Höchstmaß an Durchlässigkeit erfordert, ist es durch die Skelettkonstruktion möglich, die Wände als Schiebetüren in leichter, lichtdurchlässiger Papierbespannung auszubilden. Konstruktion und Raumabschluss sind deutlich getrennt. Die Öffnungen dieses Hauses sind damit keine Löcher in der Wand – wie beim traditionellen europäischen Massivbau –, sondern Teil der Wand. Zusammen mit dem als Schutz gegen Regen und Sonne weit überstehenden Dach und der umlaufenden Veranda bilden die großen Schiebewände (shoji) auf der Innenseite der Veranda zum Raum hin eine tiefe Zone des Übergangs. Sind diese Schiebewände geöffnet, so verbinden sich Garten- und Innenraum über die Veranda zu einem erweiterten Lebensraum.
Durch die an der Außenseite der Veranda angebrachten Schiebeläden ganz in Holz, später auch mit Glasfüllungen entsteht eine »zweischalige« Außenwand, die dem Haus einen sicheren Abschluss gibt und im Winter einen Klimapuffer zwischen innen und außen bildet. Aufgehängte Tücher und Bambusrollos schützen vor starker Sonneneinstrahlung. Es entsteht eine Außenwand, die an unterschiedliche Situationen angepasst werden kann und auf diese Weise vielfältige Beziehungen zwischen innen und außen ermöglicht.



1.1.16

1.1.17

1.1.16 Teilschnitt eines japanischen Wohnhauses, typische konstruktive Details
1.1.17 Kaiserliche Villa, Katsura, Innenraum des Shokintei-Teehauses
1.1.18 Innenansicht des Gare Saint Lazare, Ankunft eines Zuges, Claude Monet 1877
82 × 101 cm, Fogg Art Museum, Harvard University Art Museums, Cambridge/Massachusetts
1.1.19 Warenhaus La Samaritaine, Paris 1907, Frantz Jourdain

1.1.18

Das Material Eisen – Das Streben nach Licht

Bis zum 18. Jahrhundert bestimmen vor allem natürlich vorkommende Materialien die Architektur. Es gibt Gebäude aus Stein, Lehm und aus Holz. Die architektonische Gestalt wird geprägt von den Eigenschaften dieser Materialien und der begrenzten Möglichkeiten des Menschen.
Steine und Lehm können fast nur auf Druck beansprucht werden. Somit ist diese Architektur bestimmt durch massive Mauern und Gewölbe. Die Holzarchitektur dagegen tritt entweder als Skelett (Fachwerk) oder massiv (Blockbauweise) auf.
Bei der Suche nach neuen Baumaterialien stößt man schon früh auf Eisen. Als eigenständiges konstruktives Material kann es jedoch erst am Ende des 18. Jahrhunderts verwendet werden, als es gelingt, Kohlenkoks zum Verhütten von Eisenerzen einzusetzen und somit Eisen in besserer Qualität und in größeren Mengen herzustellen, gewinnt die industrielle Produktion an Dynamik. Durch die technische Verbesserung der Dampfmaschine, dem mechanischen Webstuhl und durch die Möglichkeit Gusseisen herzustellen vollends in Gang. Mit dem Einsatz von Eisen (erst Guss-, später Schmiedeeisen), das gegenüber den bisher verwendeten traditionellen Materialien weitaus belastbarer und leistungsfähiger ist und das wie kein anderes Material zuvor auf Zug beansprucht werden kann, eröffnen sich sowohl für die Baukonstruktion als auch für die architektonische Erscheinungsform ganz neue Möglichkeiten. Die bisher über massive Steinmauern abgetragenen Kräfte konzentrierten sich nun in einem feingliedrigen Gerippe aus wenigen Stützen und Trägern. Diese Skelettkonstruktionen machen den Raum frei, offen und in vielfältiger Weise nutzbar. Damit hat die Wand ihre Tragfunktion verloren und kann durch eine lichtdurchlässige Haut aus Glas ersetzt werden. Die kaum noch begrenzten Räume werden größer und heller.
Im Zuge der gewaltigen industriellen und damit auch sowohl konstruktiven als auch gesellschaftlichen Entwicklungen sind im Verlauf des 19. Jahrhunderts auch zahlreiche neue Bauaufgaben entstanden, wie etwa Markthallen, Warenhäuser, Bahnhöfe etc.
Die im Folgenden vorgestellten Gebäude stehen stellvertretend für viele andere.

Die große lichtdurchlässige Kuppel

Große Räume konnten bis ins 19. Jahrhundert nur mit hölzernen Bohlen- und Fachwerkkonstruktionen oder vor allem mit gewölbten Konstruktionen aus Stein überdeckt werden.
Der Lichteinfall bei Kuppeln ist zunächst, bedingt durch die Eigengesetzlichkeit dieser Konstruktion, nur im Scheitel (Pantheon) oder über kleinere Öffnungen im Kuppelfuß (Hagia Sophia) möglich. Nach dem Prinzip hölzerner Bohlendächer des 16. Jahrhunderts können Gewölbe nun durch das Material Eisen in feingliedrige, nahezu immaterielle Tragstrukturen aufgelöst und erst mit Blech, später mit Glas eingedeckt werden. Es entstehen große helle, lichtdurchflutete Innenräume.
Eine der frühesten Konstruktionen dieser Art ist die Kuppelkonstruktion über der Halle au Blé in Paris. Von 1763 bis 69 errichtet man hier eine Mehl- und Getreidehalle, die seit 1783 mit einer Holzbohlenkonstruktion überdeckt ist. Diese brennt 1803 ab. Es folgt eine gusseiserne Kuppelkonstruktion des Architekten François Joseph Bélanger und des Ingenieurs François Brunet, die nur im Scheitel verglast ist (1809–11). Beim Umbau zur Bourse de Commerce 1888–89 wird auch diese Kuppel durch eine erstmals vollständig verglaste schmiedeeiserne Konstruktion von Henri Blondel ersetzt (Abb. 1, S. 9).

Das Warenhaus

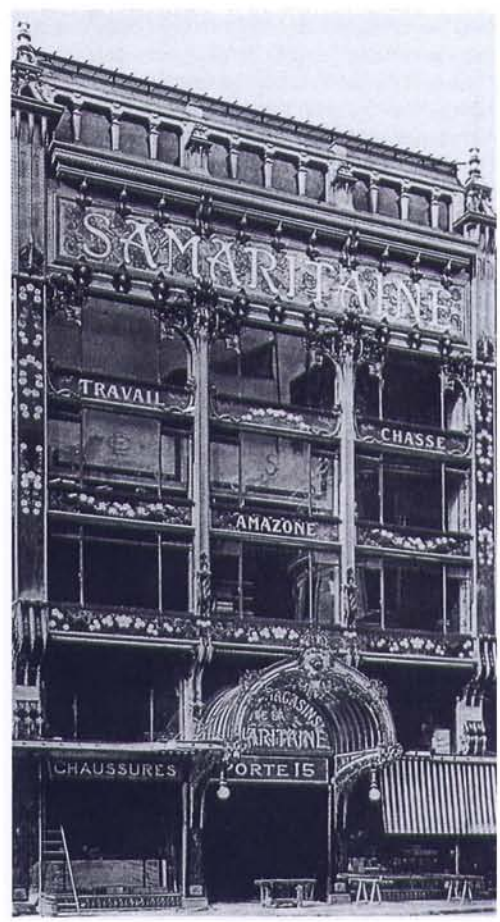
Einhergehend mit einem ständig wachsenden Warenangebot entsteht das Bedürfnis nach großzügigen und gut belichteten Räumen, um die Waren »unter einem Dach« präsentieren und verkaufen zu können. Ein Anspruch, der mithilfe der Eisenskelettkonstruktionen und den damit realisierbaren großen, lichtdurchlässigen Dächern erfüllt werden kann.
Die Kauf- oder Warenhäuser in Amerika und England in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit Fassaden aus vorgefertigten Gusselementen, später die reinen eisernen Skelette der Kaufhäuser in Paris sind wesentliche Marksteine in der Entwicklung des Skelettbaus mit Konstruktionen aus Eisen und Raumabschlüssen aus Glas.
Das erste komplett als Eisenskelett errichtete Warenhaus ist das Magasin Bon Marché (1876) in Paris von Louis-Auguste Boileau und Gustave Eiffel. Obwohl es seit 1870 in Paris erlaubt ist, die Eisenkonstruktion sichtbar zu lassen, verblendet man diesen Bau jedoch außen noch mit Steinen. Eine konsequent auch außen ablesbare eiserne Tragstruktur mit großflächigen Glasausfachungen zeigt sich in dem Bau La Samaritaine (1907) von Frantz Jourdain.

Die Passage

Überdeckte Ladenstraßen haben eine lange Tradition. Die Passage, als ein glasgedeckter, öffentlicher Raum, flankiert von Läden, Werkstätten, Restaurants und den darüber liegenden Wohnungen und Büros, ist ein charakteristischer Bautyp des 19. Jahrhunderts. Seit den 1920er-Jahren wird das durchlaufende Glasdach – in der Regel als Satteldach – üblich.
Die Unterkonstruktion ist auf das Notwendigste reduziert, um den Lichteinfall nicht zu beeinträchtigen. Oft sind die Glasscheiben geschuppt und mit kleinem Abstand verlegt, so dass die warme Luft entweichen kann.
Einfluss auf die Entwicklung der Passage übt nachhaltig die Pariser Galerie d'Orléans (1828–30, 1935 abgerissen) von Pierre François Fontaine aus – die erste Passage, die komplett mit einer Eisen-Glas-Konstruktion überdeckt wurde. Ihre Raumdimension, das verglaste Satteldach und die inneren Fassaden finden vielfach Nachfolge.

Der Bahnhof

Auch die Bauaufgabe »Bahnhof« führt zu vielen konstruktiven Neuerungen. Aus mehrschiffigen Bauten werden nun große Hallen mit weit gespannten Überdachungen. Innerhalb des städtischen Gefüges entstehen damit Gebäude, die durch ihre reduzierten, meist sehr filigranen Konstruktionen mit den durchsichtigen und lichtdurchlässigen Eindeckungen den Eindruck von Offenheit und Leichtigkeit vermitteln.
In England, dem Geburtsland der Eisenbahn, entwickelten sich vorwiegend Hallendächer in



1.1.19

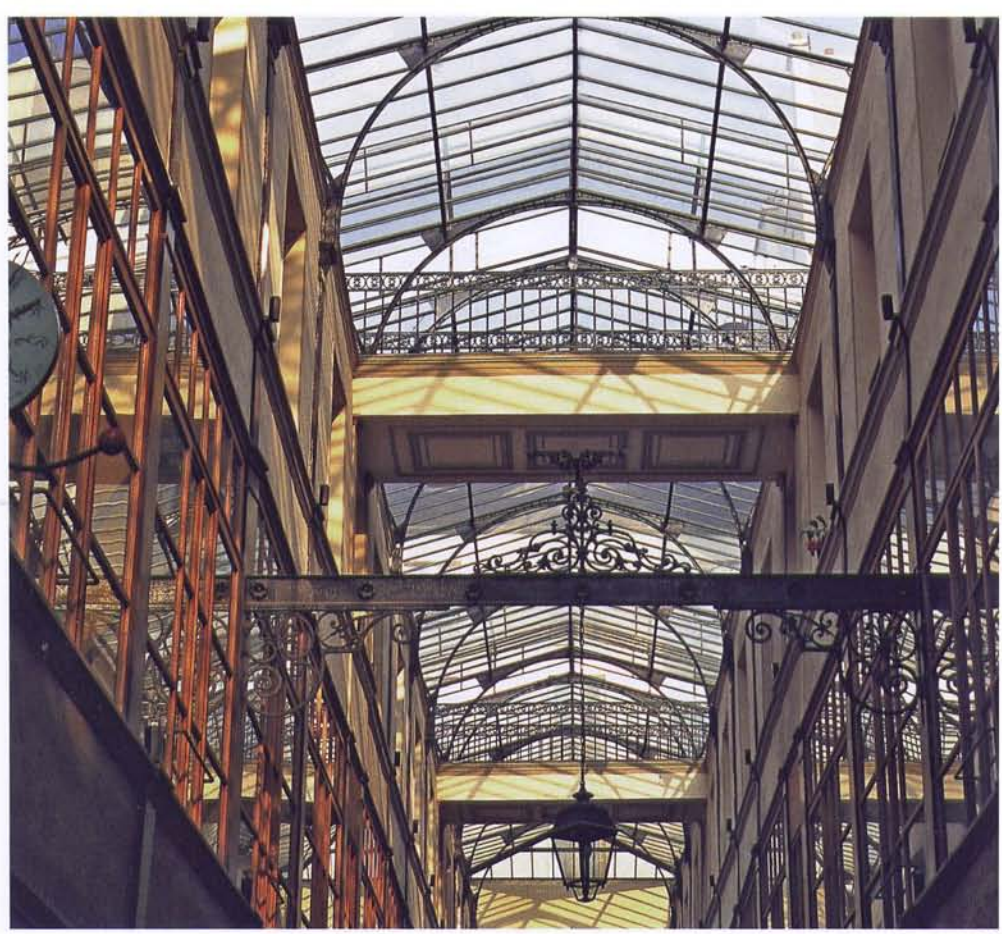
1.1.20

1.1.21

Bogenkonstruktionen. Ein Beispiel dafür ist die Paddington Station in London (1854) von Isamabard Kingdom Brunel und Matthew Digby Wyatt. Es ist eine der ersten schmiedeeisernen Konstruktionen mit gebogenen Rippen.
Die Intention des Entwurfs wird im Jahr der Fertigstellung in »The Builder« wie folgt beschrieben: »... jeder Rückgriff auf bestehende Stile ist zu vermeiden und der Versuch zu unternehmen, alles in Übereinstimmung mit den strukturellen Aufgaben und den Eigenschaften der verwendeten Materialien zu entwerfen.«
In Frankreich herrscht der Fachwerkträger nach dem Wiegmann-Polonceau-System vor. Die Entwicklung dieser aus Blechen und einfachen Profilen zusammengesetzten feingliedrigen Spannwerke, deren Form sich primär aus der Konstruktion ergibt, ist Aufgabe der Ingenieure. Die massive, repräsentative »Stil-Architektur« des Bahnhofs zur Stadt hin wird von den Architekten entwickelt.
Beim Gare d'Austerlitz (1843–47) in Paris wird ein Hallenraum von 51 × 280 m mit feingliedrigen Fachwerkträgern nach dem Wiegmann-Polonceau-System überspannt. Großzügige Verglasungen in den Dachflächen, der Stirnseite und den Seitenwänden unterstützen die Leichtigkeit der Konstruktion. Ein weiter, heller Raum entsteht, fast ohne Begrenzung.
Diese auf wenige Elemente reduzierten Konstruktionen bleiben nicht ohne Kritik. So beklagt man, dass sie »eher aufregend als sicher und zuverlässig erscheinen«.
Die Modernität dieser Ingenieurskonstruktionen im Bereich der ein- und ausfahrenden »dampfenden Ungeheuer« einerseits, und die schlossartige Repräsentationsarchitektur der Kopfbauten als Übergang zum städtischen Kontext andererseits spiegeln die Zwiespältigkeit der damaligen Architektur.

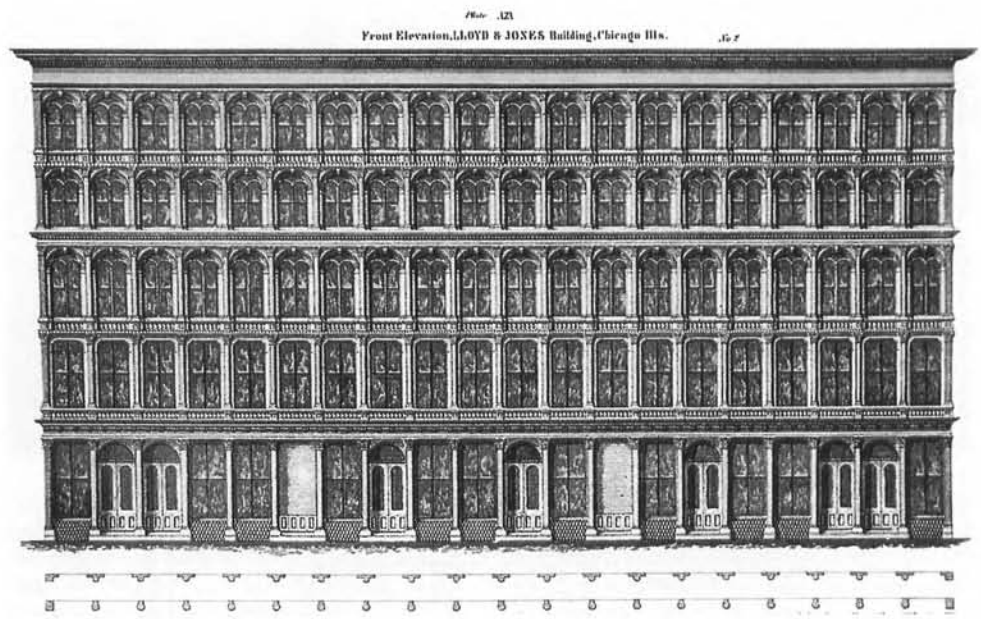
Das Gewächshaus

Bei diesem Bautyp entwickeln sich die Konstruktionsprinzipien der Eisenarchitektur des 19. Jahrhunderts, zuerst mit Guss-, später mit Schmiedeeisen: die Vorfertigung und Elementierung von möglichst vielen gleichen Teilen; die Ausbildung eines möglichst transparenten Raumabschlusses; die Technologie des Glases sowie seine Produktionsweise und Fügung mit den tragenden Teilen. Letztendlich entsteht hier ein neues Erscheinungsbild der Architektur.
In der Zeit der ersten Entdeckungsreisen im 15. Jahrhundert beginnt man für die aus fernen Ländern mitgebrachten Pflanzen eigene Häuser zu bauen. Es handelt sich hierbei zunächst um Holzschuppen, die im Winter um die Pflanze herum errichtet wurden, das so genannte abschlagbare Pommeranzenhaus.
Es folgt die dreiseitig gemauerte Orangerie, bis letztlich der eigenständige Bautyp »Gewächshaus« entsteht: ein Raum, gefasst durch eine Glashülle mit einem – unterstützt durch die neue Dampfheizung – von den Jahreszeiten unabhängigen Klima. Das Gewächshaus wird so zur konsequentesten Verkörperung der Eisen-Glas-Architektur des vorletzten Jahrhunderts.
Die Bedingungen sind einfach und präzise: Um ein Maximum an Wärme und Licht zu erhalten, muss das Materielle auf ein Minimum reduziert werden, frei von stilistischen und architektonischen Vorgaben. Pionierarbeit wird hier insbesondere von den Engländern John Claudius Loudon und Sir Joseph Paxton geleistet. Loudon schaffte eine »intelligente« Ausformung der Außenhaut, die den Lauf der Sonne berücksichtigt (»ridge and furrow«-Dach). Paxton entwickelte neben baukonstruktiven Neuerungen auch raffinierte Heizungs- und Lüftungssysteme, um die durch die großen Glasflächen auftretenden Klimaprobleme in diesen Häusern zu bewältigen.
Das Gewächshaus und der auf denselben Prinzipien gründende Kristallpalast (1851) in London haben die tradierten Raumvorstellungen, charakterisiert durch Masse und Öffnung, infrage gestellt – ein Raum ohne Grenzen ist entstanden. Die klaren reduzierten Eisenkonstruktionen und der offene Raum werden Grundlagen für die moderne Architektur. Jedes Element hat eine eindeutige Aufgabe, daraus bestimmt sich das Material und seine Form. »Nichts ist da, was nicht bis ins kleinste Detail sofort verstanden werden kann.« (Alfred Gotthold Meyer, 1907).



1.1.22

Bei dem Palmenhaus im Königlichen Botanischen Garten Kew im Südwesten Londons (1844–48) von Richard Turner und Decimus Burton wurde neben dem Prinzip der kurvenlinearen Hülle das Konstruktionsprinzip der Schale angewendet. Gläserner Raumabschluss und Konstruktion liegen in einer Ebene. Die Bogensegmente bestehen aus schmiedeeisernen Doppel-T-Profilen (22,8 × 5 cm), die gekrümmten Glasscheiben (24,1 × 97,2 cm) sind schuppenförmig geschichtet und verkittet. Die ungefähr 110 m lange Konstruktion aus Guss- und Schmiedeeisen steigt über einem 1 m hohen Steinsockel auf; hier befinden sich Lüftungsklappen. Eine unterirdische Heizanlage versorgt den Bau mit Wärme: Selbst bei Außentemperaturen, die unter dem Gefrierpunkt liegen, ist eine Innentemperatur von 27 °C möglich.
Die gesamte Dachfläche ist ursprünglich grün verglast gewesen und konnte vergleichsweise preiswert erworben werden, da man 1845 die Besteuerung von Fensterglas in England aufgehoben hatte.



1.1.23

1.1.20 Palmenhaus in den Bicton Gardens, Devon, 1818–38, vermutlich von John Claudius Loudon
1.1.21 Palmenhaus im Königlichen Botanischen Garten Kew in London 1844–48, Richard Turner, Decimus Burton
1.1.22 Passage des Panoramas, Paris 1800
1.1.23 Lloyd and Jones Building, Chicago 1856, Daniel Badger, John M. Van Osdel

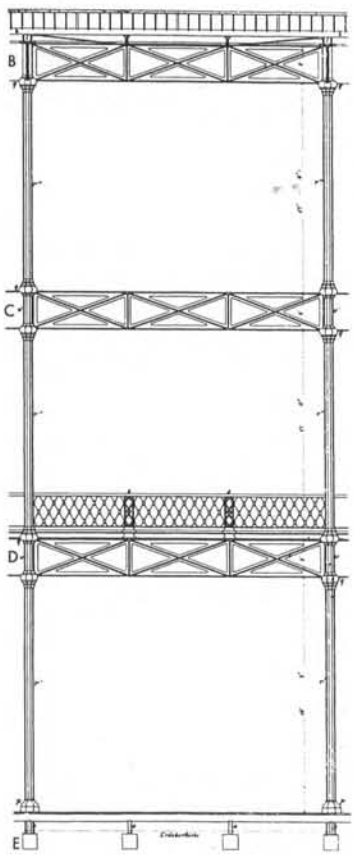
Von der Wand zur Haut –
Die zunehmende Entbindung der Außenwand von ihrer tragenden Funktion

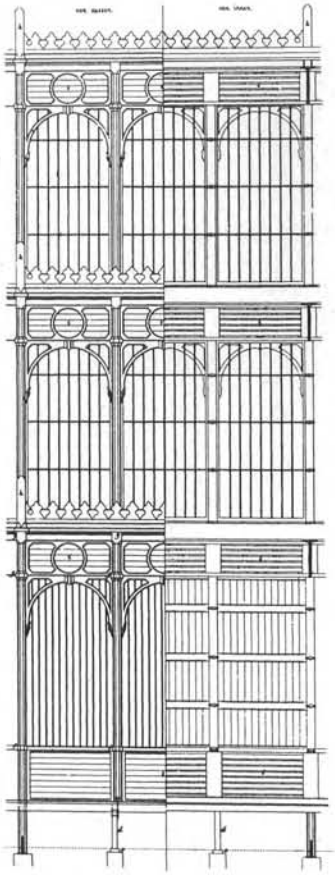
Die Entwicklung des Eisens als konstruktives Material im Zuge der industriellen Revolution und die Erfindung der eisernen Skelettkonstruktion eröffnen für die Behandlung der Außenwand ganz neue Möglichkeiten.
Der Prozess ihrer Auflösung und Entmaterialisierung geht einher mit der fortschreitenden Entbindung der Außenwand von ihrer tragenden Funktion.
Die Möglichkeit des Skeletts, Lasten aus den Decken linear über Träger und Stützen abzuleiten, schafft erst die Grundlagen dafür, die Wand öffnen zu können, bis letztlich nur noch eine gläserne Haut als Grenze zwischen innen und außen vor die Konstruktion gehängt wird. Dieser Entwicklungsprozess vollzieht sich kurz zusammengefassst in folgenden Schritten:

In England, der Keimzelle der industriellen Revolution, fallen gegen Ende des 18. Jahrhunderts zahlreiche Spinnereien Bränden zum Opfer. Dies führt dazu, die über mehrere Etagen errichteten, von massiven Außenmauern mit nur wenigen Öffnungen umschlossenen Holzskelett-Konstruktionen durch gusseiserne zu ersetzten. Dadurch wird es auch möglich, die immer größer und schwerer werdenden Produktionsmaschinen unterzubringen. Während man beim Umbau einer Mühle 1792 noch hölzerne Deckenträger bestehen lässt, errichten wenige Jahre später Benyon, Bage & Marshall für die Baumwollspinnerei bei Shrewsbury (1796–97) eines der ersten gusseisernen Skelette mit Stützen und Trägern im Abstand von 2,65 m. Das Bauwerk ist auch ein frühes Beispiel für den Fortschritt in der Serienproduktion von Bauteilen.

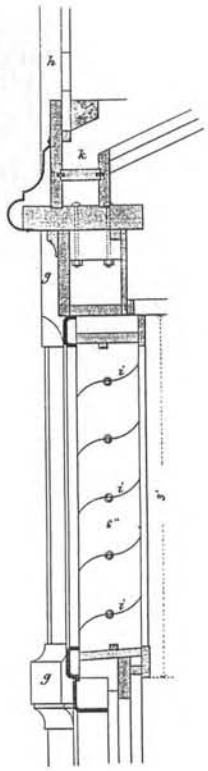
In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wird in den USA das Material Eisen in das Bauwesen eingeführt.
Der Ingenieur James Bogardus ersetzt 1848 in New York die gemauerte Außenwand einer fünfstöckigen Fabrik durch vorgefertigte Stützen und Brüstungspaneele aus Gusseisen. Diese Elementierung ergab neue strukturelle Möglichkeiten für die Gestaltung der Außenhaut eines Baukörpers. Die Fassade ist keine massive Fläche mehr mit eingeschnittenen Öffnungen, sondern ein Skelett mit Füllungen aus Glas.
Dieses System wird nun häufig bei Geschäfts- und Warenhäusern angewendet, denn es ermöglicht neben weit gespannten Lichtöffnungen in den Büroetagen großzügige Schaufenster auch in den ebenerdigen Geschossen, die früher den massiven Steinfundamenten vorbehalten waren.

Mit der Errichtung des Londoner Kristallpalastes für die Weltausstellung 1851 erreicht das vorfabrizierte, elementierte Bauen einen ersten Höhepunkt. Aus dem vorausgegangenen Wettbewerb mit 245 Teilnehmern ging kein zufriedenstellendes Ergebnis hervor. Das Gebäude sollte nach den Vorstellungen des Ausstellungskomitees aus demontierbaren und wiederverwertbaren Einzelteilen bestehen. Der Gärtner Joseph Paxton, der schon zahlreichen Gewächshäuser geplant hatte, reichte unaufgefordert, zusammen mit der Firma Fox, Henderson & Co., einen realisierbaren Entwurf ein und bekam den Auftrag. Das erste Ausstellungsgebäude aus Eisen und Glas entstand. Ein Gehäuse, das durch seinen ökonomischen konstruktiven Aufbau, durch die Organisation der Fertigung, Lieferung und Montage revolutionär ist, vor allem wenn man sich die extrem kurze Bauzeit von nur neun Monaten für den 564 m langen, 40 m hohen und dreigeschossigen Ausstellungspalast vergegenwärtigt. Möglich war dies vor allem durch die Elementierung und Standardisierung der Bauteile. Als einziges Grundmodul für das gesamte Bauwerk wird die Glasscheibengröße von 122 × 25 cm genommen. Daraus entwickelt sich das konstruktive Rastermaß von ca. 7,32 m. Dieses teilt man in der Außenwand in drei Teile, die mit Holzfenstern, Holzpaneelen und Lüftungslamellen gefüllt werden. Die Größenordnung wird äußerst konsequent auch auf das räumliche Maß übertragen. Für die in den beiden Geschossen trotz unterschiedlicher Belastung jeweils gleich hohen Stützen werden lediglich zwei Säulenarten verwendet, die nur in der Dicke der inneren Wandung variieren und so eine einheitliche Montage zulassen. Auch die Parallel-Fachwerkbinder (Träger) behalten trotz verschiedener Stützweiten die gleiche Steghöhe. In einem eigens entwickelten Verglasungswagen werden die im »ridge and furrow principe« (Grat und Kehle) konstruierten, auf hölzernen Rinnträgern und Pfetten liegenden Dachflächen verglast. 270000



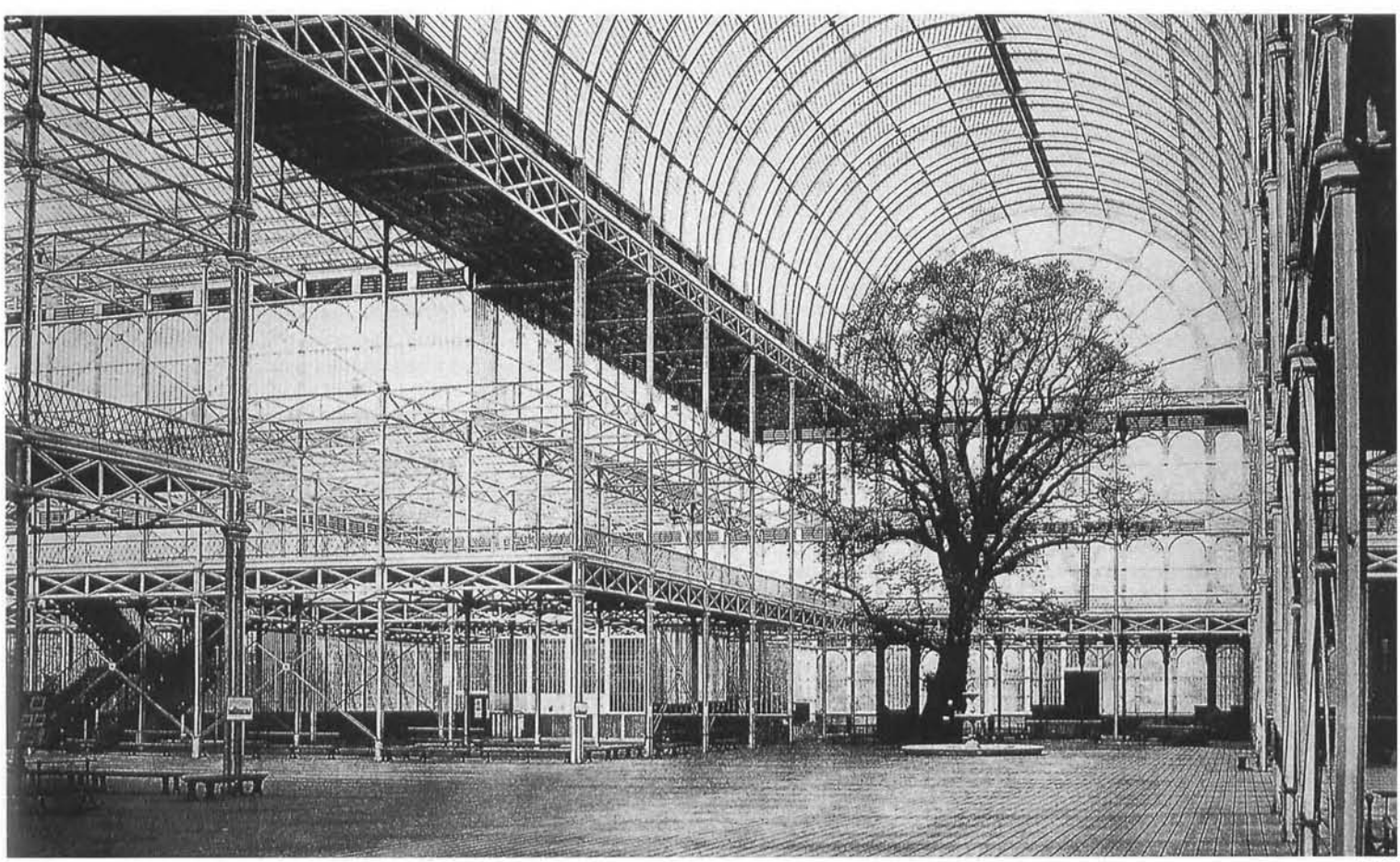


1.1.24



1.1.25

genormte Glasplatten können damit im Akkord verlegt werden.
Die Einzelteile, von den jeweiligen Firmen in ihren Werkstätten vorgefertigt, werden zu der Baustelle transportiert und vor Ort montiert. Da auf eine einfache Lösung für die Fügung der Elemente geachtet worden ist, kann eine schnelle Montage und Demontage erfolgen.
Die frühe Einbindung von Ingenieuren und beteiligten Firmen in den Planungsprozess hat sowohl Art und Ablauf der Produktion beeinflusst als auch zur reibungslosen und schnellen Aufbauzeit dieses gigantischen Glaspalastes beigetragen.
Das Ergebnis ist ein klarer, konstruktiver Aufbau: Alle Teile erklären sich selbst, zeigen, wie sie funktionieren, was sie leisten. Die gläserne Haut des Gebäudes hatte jedoch wegen der Sonneneinstrahlung hohe Raumtemperaturen zur Folge. Deshalb wurden Markisen als provisorischer Sonnenschutz angebracht.
Die größte Wirkung bei diesem Glasgehäuse geht von seinem Raum aus. Es ist ein neuartiger Raum, der nicht mehr gefasst und definiert wird von festen, geschlossenen Wänden, sondern ein großer, offener, lichter, atmosphärischer Raum, der die Grenze zwischen innen und außen verschwimmen lässt.
Alfred Gotthold Meyer beschreibt in seinem Buch über Eisenbauten 1907 sein persönliches Empfinden: »Dieser Riesenraum hatte etwas Befreiendes. Man fühlte sich in ihm geborgen und doch ungehemmt. Man verlor das



1.1.26

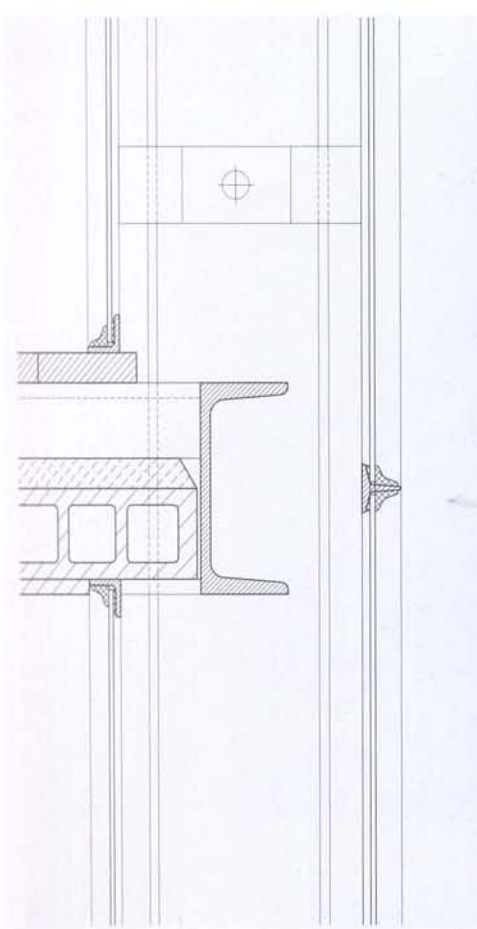
1.1.27

1.1.28

Bewusstsein der Schwere, der eigenen körperlichen Gebundenheit ... Aber das Stück Atmosphäre, in dem wir uns im Kristallpalast befinden, ist doch aus dem Gesamtraum ›herausgeschnitten‹; die ›Schranke‹, die sich zwischen uns und die Landschaft gestellt hat, ist eine fast ›wesenlose‹, aber sie besteht doch.«

1.1.24 Kristallpalast, Hyde Park, London 1851, Joseph Paxton, Fassadendetails
1.1.25 Kristallpalast, London, Detail Lüftungsklappen
1.1.26 Kristallpalast, London
1.1.27 Spielwarenfabrik Steiff, Giengen/Brenz 1903–11
1.1.28 Carson Pirie Scott Department Store, Chicago 1899–1904, Louis Henry Sullivan
1.1.29 Spielwarenfabrik Steiff, Giengen/Brenz 1903–11, Vertikalschnitt Fassade Maßstab 1:5
1.1.30 Le Parisien, Paris 1903–05, Georges Chedanne

Die wachsende Bevölkerungszahl, die Abwanderung vom Land in die Städte und der dadurch immer knapper werdende innerstädtische Baugrund in Ballungszentren wie z. B. New York und Chicago lässt die Anzahl der Stockwerke steigen. Die Großbrände in Chicago von 1871 und 1874, die große Bestände an Holzhäusern vernichten, zeigen allerdings auch die Schwäche der ungeschützten Eisenkonstruktionen. Es folgt ein immenser Bauboom. Aufbauend auf der vorhandenen notwendigen Gebäudetechnologie, der Erfindung des elektrischen Sicherheitsfahrstuhls (Otis 1852) und dem feuergeschützten Stahlskelett entwickeln die Architekten der so genannten Schule von Chicago (Burnham, Holabird & Roche, Jenney, Root, Sullivan) die erste Generation von Hochhäusern. Die Behandlung der Außenwand fällt allerdings von Architekt zu Architekt sehr unterschiedlich aus: Varianten von der tragenden Mauerwerkswand mit Lochfassade (durch die Bedingungen des Massivbaus nimmt die Außenwand bis zum Erdgeschoss an Masse zu, so dass meterdicke Wände entstehen müssen), über die nur noch sich selbsttragende Außenwand, bis hin zur reinen Ausfachung des stählernen Traggerüstes sind hier zu nennen.
Ein charakteristisches Zeugnis der Chicagoer Schule liefert Louis Henry Sullivan mit dem Bau des Carson, Pirie Scott Department Store (1899–1904). Ein straffes Netz horizontaler und vertikaler Linien nimmt die klare Struktur des Tragwerks als Gliederung der Außenwand auf. Die großen, breit gelagerten »chicago windows« der obersten Etagen sind mit einem dünnen Metallrahmen eingefasst, die übrigen Fenster mit einem schmalen Terrakotta-Ornament umrahmt. Damit entspricht dieses Gebäude Sullivans Auffassung, dass das Äußere eines Gebäudes Ausdruck seiner inneren Struktur und seiner Funktion sein muss, also eine Korrespondenz zwischen Inhalt und äußerer Form bestehen soll (»form follows function«). Die beiden unteren, repräsentativen Schaufenstergeschosse sind großzügig mit gusseisernen Jugendstil-Ornamentplatten verkleidet. Dabei gehört für Sullivan der Repräsentationsgehalt eines Hauses zu den wesentlichen Funktionen eines Gebäudes.
Sullivans Department Store bildet zugleich den Endpunkt dieser stilistisch und konstruktiv wichtigen Entwicklungslinie in Chicago. Sie wird von einer eklektizistischen Beaux-Arts-Strömung, die sich nicht für die Beziehungen zwischen Form, Konstruktion und Inhalt interessiert und stattdessen »die reine Form« postuliert, abgelöst.



1.1.29

1.1.30

Das Pariser Verlagsgebäude Le Parisien von Georges Chedanne (1903–05) steht formal in der Tradition der französischen Kaufhäuser und zeigt den damaligen Stand der Stahlskelett-Konstruktionen auf dem Kontinent. Der Entwurf der gesamten Konstruktion lässt sich an der Außenwand ablesen: tragende und füllende Elemente ebenso, wie der mit Gestaltungsmitteln des Art Nouveau dargestellte Verlauf der Kräfte. Der offene Grundriss macht die Aufteilung der inneren Struktur flexibel.

Fassaden fast ausschließlich aus Glas finden sich erstmalig bei Industriebauten. Wissenschaftlichen Untersuchungen über die positive körperliche und seelische Wirkung von Tages-

licht, Luft und Sonne unterstützen diese Entwicklung. Die gewonnenen Erkenntnisse ließen sich auch auf die Produktivität in den Fabriken übertragen.
Ein frühes Beispiel dafür ist die 1903 errichtete Ostseite des Fabrikgebäudes der Margarethe Steiff GmbH in Giengen an der Brenz – ein Bau, für den kein Architekt überliefert ist. Vermutlich war aber Richard Steiff, der Enkel der Firmengründerin maßgeblich am Entwurf beteiligt. Die zweischalige Fassade aus transluzenten Glaspaneelen über drei Geschosse ist so aufgeteilt, dass die innere Schale jeweils geschossweise zwischen Boden und Decke steht, die äußere dagegen durchgängig vor die Tragkonstruktion gehängt ist. In dem Zwischenraum befinden sich die Stützen der Primärkonstruktion. In regelmäßigen Abständen sind kastenförmig Fensteröffnungen eingesetzt. Probleme der Raumaufheizung versuchte man mit innenseitig angebrachten Vorhängen zu mildern.

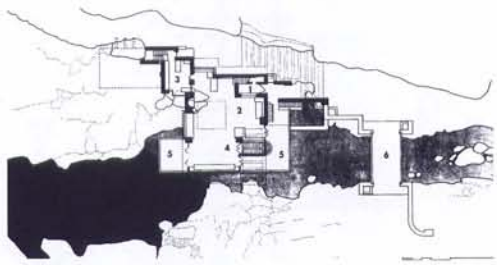
Am Werksgebäude der Schuhleistenfabrik in Alfeld an der Leine (Fagus-Werke 1911), gelingt es schließlich Walter Gropius in Zusammenarbeit mit Adolf Meyer, einer Industriehalle eine gläserne Vorhangfassade (Curtain Wall) als dünne durchsichtige Haut vorzublenden, die keine tragende Funktion mehr zu erfüllen hat und dies auch deutlich zeigt.
Außerdem lässt Gropius die Eckstützen entfallen, so dass die gläsernen Wände über die drei Geschosse an den Ecken jeweils direkt aufeinanderstoßen, wodurch die Fassade noch an Leichtigkeit gewinnt. »Die Rolle der Wand ist es jetzt nur noch, Regen, Kälte und Wärme abzuhalten« (Gropius). Im Brüstungsbereich sind auf Anforderung der Brandschutzbehörde Blechplatten eingesetzt, die mit Ziegeln hintermauert sind. Die Fassade besteht aus einer mit handelsüblichen Profilen zusammengesetzten Stahlkonstruktion. Die Profile sind geschossweise an den Decken aufgehängt. Aus klimatischen Gründen (Aufheizung im Sommer, Auskühlung im Winter) werden gleich in den ersten Betriebsjahren Gardinen, später Lamellen auf der Innenseite angebracht, um das Arbeiten erträglich zu machen.

Die »Zerstörung der Kiste« – Der fließende Übergang zwischen innen und außen

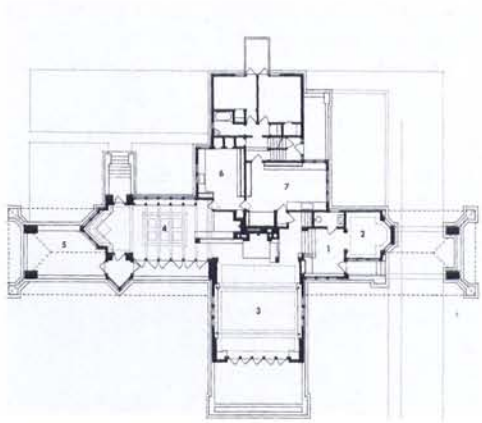
Eine wichtige Entwicklungslinie hin zur modernen Architektur führt über die Eisen-Beton-Glas-Konstruktionen des 19. Jahrhunderts. Eine andere stellt die zunehmende Auflösung des traditionellen massiven Gebäudekubus dar. Frank Lloyd Wright nennt es die »Zerstörung der Kiste«. Die durch tragende Wände definierte, klare Grenze zwischen innen und außen bricht auf. Stützen, Wände, Glasflächen, die großen überstehenden Dächer lösen sich aus dem geschlossenen Verband des Kubus, werden eigenständige Individuen. Aus der Trennung zwischen Innen- und Außenraum wird ein fließender, offener Raum.
Diesen Prozess eingeleitet und konsequent verfolgt zu haben, charakterisiert die Architektur Frank Lloyd Wrights. Beeinflusst wird diese »Auflösung« besonders durch verschiedene Kunstströmungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts: etwa den Expressionismus, den Kubismus, den russischen Konstruktivismus und Suprematismus, den Futurismus u.a. Die traditionellen Regeln und Formen verlieren ihre Gültigkeit. Die Kubisten beispielsweise zerlegen ihre Bildmotive analytisch in einfache geometrische Grundformen. Bei den Konstruktivisten und Suprematisten ist die Bildfläche von jeglichem Inhalt entleert und die Bildelemente auf ein Minimum reduziert: Balken, Felder und wenige Farben bilden eine Komposition. Viele der Bilder weisen erstaunliche Parallelen zu Architekturentwürfen auf (z. B. Theo van Doesburgs Komposition XIII, 1914 und Ludwig Mies van der Rohes Entwurf für ein Landhaus aus Backstein, 1923).
Die Hinwendung zu einer neuen, ungebundenen Auffassung von Raum lässt sich an den Wohnhäusern, die Frank Lloyd Wright in den ersten vier Dekaden des 20. Jahrhunderts entworfen und gebaut hat, nachvollziehen. Charakteristisch ist für alle diese Bauten die Einfügung des Baukörpers in die Landschaft, die Entwicklung eines offenen Grundrisses, die Zerlegung des Hauses in individuelle Elemente, die Öffnung des Hauses zur Natur und die Verzahnung von Innen- und Außenraum. Wright übernimmt Grundelemente des amerikanischen Hauses und entwickelt daraus, auch beeinflusst vom traditionellen japanischen Wohnhaus, eine neue architektonische Sprache. Der große gemauerte Kamin im Zentrum verankert das Haus am Ort. Um ihn sind die Räume in einer freien Anordnung, zur umgebenden Landschaft sich öffnend, organisiert. Die Raumbegrenzungen lösen sich sukzessive auf in horizontale und vertikale Flächen: weit ausladende Dächer, frei stehende Ziegel- und Natursteinwände und -stützen, große Fenster und raumhohe Glastüren. Alle Teile befinden sich in einem ausgewogenen dynamischen Gleichgewicht. Ein frühes Beispiel dafür ist das Ward W. Willits House in Highland Park/Illinois (1902–03).

1.1.31

1.1.31 Fagus-Werke, Alfeld/Leine 1911, Walter Gropius, Adolf Meyer
1.1.32 Wohnhaus Edgar J. Kaufmann »Falling Water«, Bear Run/Pennsylvania 1935/36, Frank Lloyd Whright, Grundriss Eingangsgeschoss
1.1.33 Wohnhaus Ward W. Willits, Highland Park/Illinois 1902–03, Frank Lloyd Whright, Grundriss erstes Obergeschoss
1.1.34 Wohnhaus Edgar J. Kaufmann »Falling Water«, Bear Run/Pennsylvania, 1935/36, Frank Lloyd Whright



1.1.32



1.1.33

Besonderen Wert legt Wright darauf, die Materialien so zu verwenden, wie es ihrem Wesen entspricht: »in the nature of the materials«. Unter den von ihm bevorzugten Materialien, Stein, Holz, Glas und auch Stahlbeton, ist ihm Glas das wertvollste, weil es eine neue Beziehung zwischen Mensch und Natur ermöglicht. »In den Öffnungen meiner Häuser hat das Glas die Stelle inne, die der Edelstein unter den anderen Materialien einnimmt ... dieses Supermaterial Glas, wie wir es jetzt verwenden, ist ein Wunder. Luft in der Luft, um Luft abzusperren oder drinnen zu behalten. Licht selber im Licht, um das Licht zu zerstreuen, zu spiegeln oder abzulenken.«

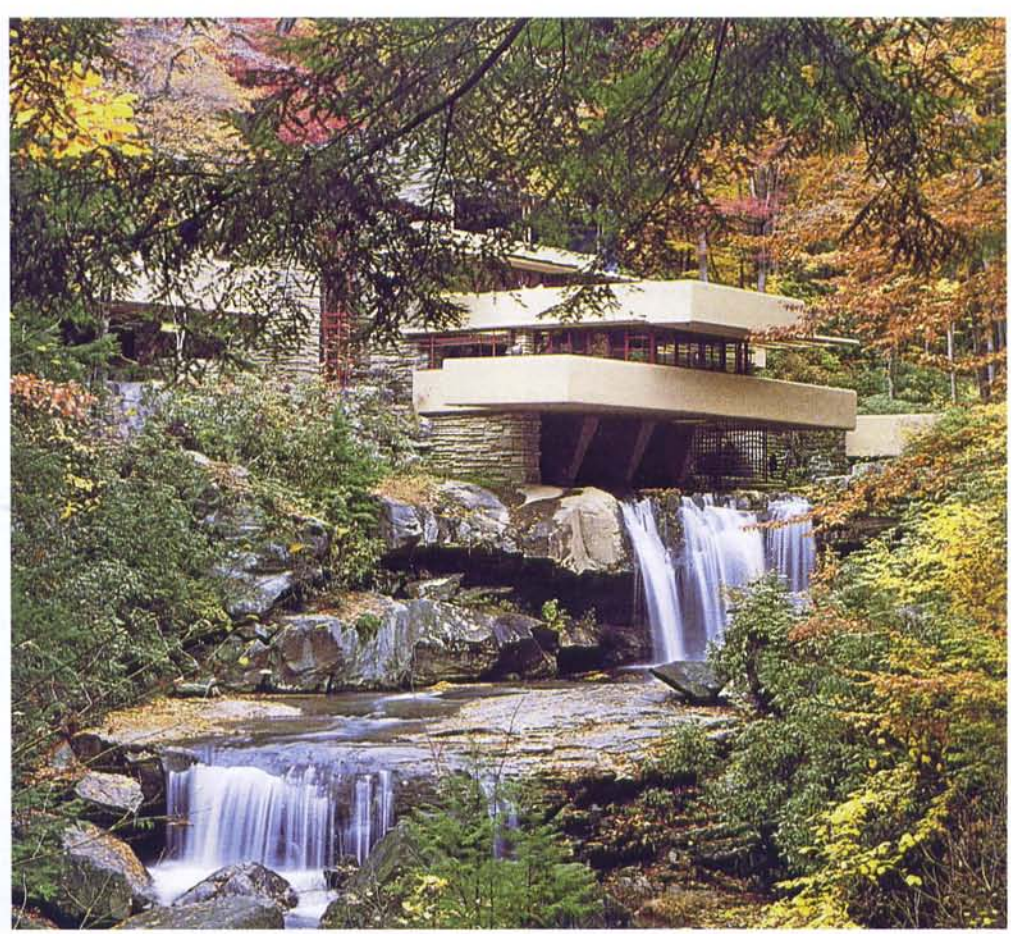
Er setzt Glas nicht sprossenlos ein, unsichtbar wie Mies van der Rohe, sondern anfangs kleinteilig, mit eingearbeiteten farbigen, bleigefassten Gläsern; später großzügiger, aber noch immer mit Sprossen gegliedert, um die Grenze von innen nach außen – vom geschützten Raum zur freien Natur – mit Farben und Strukturen bewusst zu machen.

Ein Schlüsselwerk für die Integration von Natur und Architektur ist das Wohnhaus Kaufmann in Pennsylvania (1935/36).

Breite, weit über den Felsen und dem Wasserfall schwebende Terrassen schaffen offene, fließende Räume. Die Materialien sind ihrem Wesen nach verwendet: Stahlbeton für die Auskragungen, Stahl für die feingliedrigen Sprossen der Eckfenster, die Holzkonstruktionen für die großen Öffnungen zu den Terrassen, Sedimentgestein für die Wände und die Bodenplatten der Wohnebene. Vom Haus als »Box« ist nichts mehr zu spüren.

Das Prinzip der räumlichen Freiheit, wie es Frank Lloyd Wright in die Architektur eingeführt hat, beschäftigt auch die stark vom Kubismus beeinflusste, 1917 gegründete holländische Künstlergruppe De Stijl. Die unter dem Begriff Neoplastizismus zusammengefassten Grundsätze der Flächenteilung definieren die Architektur als ein freies Spiel von Flächen, die sich gegenseitig durchdringen. Eine konsequente Umsetzung dieses Prinzips ist das Haus Schröder in Utrecht (1924) von Gerrit Th. Rietveld. Anders als bei den Häusern von Wright ist nicht die Einbettung in die Umgebung und der Einsatz des Materials von Bedeutung. Dieses Haus wirkt durch Form und Farbe, Linien und Flächen sowie fließende Raumzonen. Alle Elemente sind ineinander verschränkt und bilden eine dynamische Einheit. Das Formale hat sich aus seinen früheren Zusammenhängen gelöst. Die Abkehr von dem Haus als »Schachtel mit den ausgestanzten Löchern« wird auch von Mies van der Rohe konsequent verfolgt. In seinem Entwurf »Landhaus aus Backstein« (1924) gibt es nur noch ein Ensemble frei stehender Wände. Der kubische Raum, die Trennung in Außen- und Innenwand, existiert nicht mehr. Gebauter Raum und Naturraum gehören zusammen. Nach Mies van der Rohe erhält so »die Natur eine tiefere Bedeutung« und wird »Teil eines größeren Ganzen«.

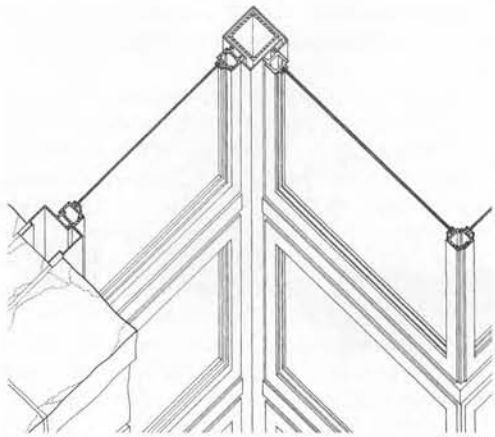
In dem Pavillon auf der Weltausstellung in Barcelona 1929 kann Mies van der Rohe seine Vorstellungen von moderner Architektur in reinster Form umsetzen. Ein Haus gebildet aus Flächen bzw. Scheiben, aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Strukturen. Die Architektur wird entsprechend ihren Aufgaben in einzelne Elemente zerlegt. Die Stützen tragen die Dachscheibe; die Wandscheiben, die keine tragenden Funktionen mehr haben und daher aus Glas oder wertvollem dünnen Naturstein bestehen, unterteilen und definieren den Raum.



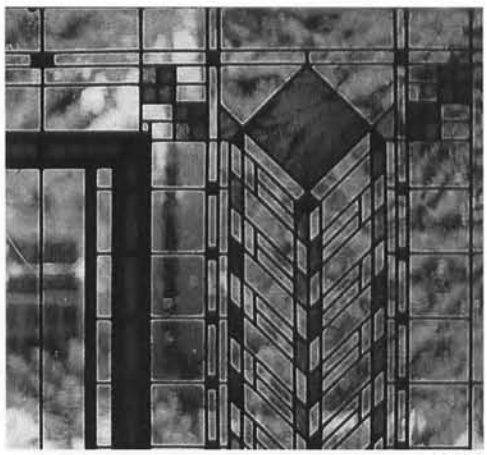
1.1.34

Mit Glas Visionen schaffen – »Ohne einen Glaspalast ist das Leben eine Last«

Während der Deutsche Werkbund nach Formen sucht, die sich aus dem Gebrauch und den von der Industrie angebotenen neuen Möglichkeiten ergeben, so kehren sich die vom Expressionismus beeinflussten Mitglieder der 1919 gegründeten »Gläsernen Kette« von der Industrie ab. Unter der Führung von Bruno Taut suchen die Architekten in der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg, während dessen die Bautätigkeit stagnierte, über die Kunst einen Weg, um fantasievolle Visionen einer neuen Welt, einer besseren Gemeinschaft und deren Symbole zu schaffen.
Glas hat in diesen Visionen eine zentrale Bedeutung. Richtungsweisenden Einfluss auf die Gruppe nimmt die 1914 verfasste Schrift »Glasarchitektur« von dem Dichter Paul Scheerbart, der zu den Wegbereitern des Expressionismus zählt. Er beschreibt darin eine Welt, die nicht mehr bestimmt wird von der Masse und Geschlossenheit des Backsteins, sondern von Offenheit und Helligkeit, von Stahl und Glas.
»Wir leben zumeist in geschlossenen Räumen. Diese bilden das Milieu, aus dem unsere Kultur herauswächst. Unsere Kultur ist gewissermaßen ein Produkt unsrer Architektur. Wollen wir unsere Kultur auf ein höheres Niveau bringen, so sind wir wohl oder übel gezwungen, unsre Architektur umzuwandeln. Und dieses wird uns nur dann möglich sein, wenn wir den Räumen, in denen wir leben, das Geschlossene nehmen. Das aber können wir nur durch Einführung der Glasarchitektur, die das Sonnenlicht und das Licht des Mondes und der Sterne nicht nur durch ein paar Fenster in den Raum lässt – sondern gleich durch möglichst viele Wände, die ganz aus Glas sind – aus farbigen Gläsern. Das neue Milieu, das wir uns dadurch schaffen, muss uns eine neue Kultur bringen.«
In seiner Schrift »Glasarchitektur« liefert Scheerbart auch sehr konkrete Vorschläge für einen ökonomisch sinnvollen Einsatz von Glas. So stellt er etwa angesichts der einfach verglasten Gewächshäuser in Dahlem fest, dass eine Doppelverglasung deutlich weniger Steinkohle »verschlingen« würde. Und als hätte er Jahrzehnte voraussehen können: »Da die Luft einer der schlechtesten Wärmeleiter ist, so ist die doppelte Glaswand Bedingung für die ganze Glasarchitektur. Die Wände können einen Meter voneinander entfernt sein – auch noch einen größeren Zwischenraum haben … Heiz- und Glühkörper zwischen die Wände zu bringen, wird sich in den meisten Fällen nicht empfehlen, da dadurch zu viel Wärme oder Kälte an die Außenluft abgegeben wird.«.
Seiner Ansicht nach sollte es das Fenster nicht mehr geben, sondern nur noch Wände aus Glas. Visionen, die Mies van der Rohe und Le Corbusier einige Jahre später projektieren und auch realisieren.



1.1.35

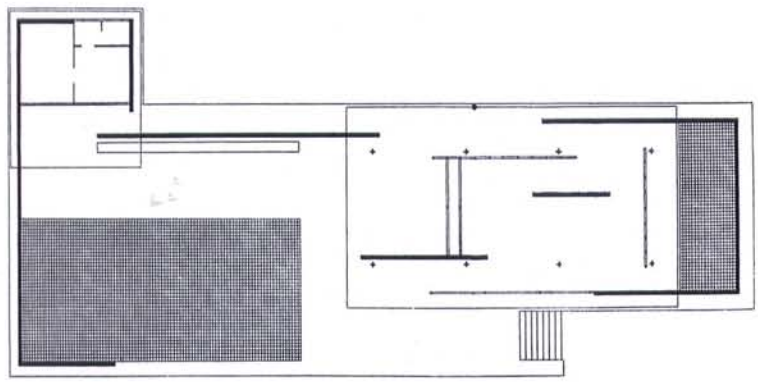


1.1.36

Für die Architekten um Bruno Taut steht weniger das Energieeinsparpotenzial oder die Durchsichtigkeit des Materials Glas im Vordergrund, vielmehr ist es für sie Sinnbild für »das Fließende, Grazile, Kantige, Funkelnde …«. Glas gilt für sie im Sinne der Gotik als höchstes Symbol der Reinheit und des Todes.
Seine Utopien hat Taut in Schriften zusammengefasst: 1917/18 erscheint die als Antikriegsmanifest konzipierte »Alpine Architektur«, 1919 die »Stadtkrone«, worin er einen Ort für eine neue Gesellschaft skizziert. Eine Gartenstadt, deren Zentrum markiert wird von einer gläsernen Stadtkrone, wie die gotische Kathedrale der mittelalterlichen Städte. Eine großartige Architektur und eine neue »beglü-

1.1.37

1.1.35 Wohnhaus Edgar J. Kaufmann »Falling Water«, Bear Run / Pennsylvania 1935/36, Detail einer Eckverglasung
1.1.36 Wohnhaus William R. Heath, Buffalo, New York zwischen 1900–09, Frank Lloyd Whright, Glasfenster
1.1.37 Wohnhaus Edgar J. Kaufmann »Falling Water«, Bear Run / Pennsylvania 1935/36, Wohnraum
1.1.38 Deutscher Pavillon Weltausstellung, Barcelona 1929, Ludwig Mies van der Rohe, Grundriss
1.1.39 Deutscher Pavillon Weltausstellung, Barcelona 1929, Ludwig Mies van der Rohe
1.1.40 Entwurf für ein Landhaus in Backstein, 1923, Ludwig Mies van der Rohe
1.1.41 Haus Schröder, Utrecht 1924, Gerrit Th. Rietveld



1.1.38

1.1.39

1.1.40

1.1.41

ckende« Form der Stadt sollte entstehen. Ein »Vor-Schein« der Stadtkrone ist der Pavillon der Kölner Werkbundausstellung 1914, den Taut für das Luxfer-Prismen-Syndikat realisiert. Taut errichtet – im Geiste der gotischen Kathedrale – ein schillerndes, märchenhaftes Gebäude, das die damaligen Verwendungsmöglichkeiten von Glas demonstriert. Er schreibt: »Im Sinne des Dichters Paul Scheerbart, dem es gewidmet ist, soll es die Auflösung der in der heutigen Architektur allzu gebundenen Raumvorstellungen und die Einführung der im Glas enthaltenen Wirkungen in die Welt der Architektur anregen«, darüber hinaus aber auch zeigen, »was Glas zur Erhöhung unseres Lebensgefühles leisten kann«.
Bei dem Pavillon handelt es sich um einen Rundbau mit 14 Stahlbetonstützen, deren Zwischenfelder mit Luxfer-Glassteinen ausgefüllt sind und der von einer Netzkuppel überspannt wird. Ihr Durchmesser beträgt 8,70 m, die Höhe 7,65 m. Die Ausfachung des von den 12 × 20 cm starken Gewölberippen gebildeten Netzwerks ist dreischalig. Die innere Schicht setzt sich aus Luxfer-Prismen zusammen, die im Kepplerschen Glasbetonverfahren (siehe »Der Glasbaustein oder das transluzente Mauerwerk«, S. 12) mit leichten Stahlbetonrippen verlegt werden. Außen ist die Kuppel einfach verglast, in der Zwischenschicht sind farbige Gläser eingesetzt. Selbst die Decken, Wände und Treppen sind aus Glasstein.

Mies van der Rohe steht zur damaligen Zeit zwar der expressionistischen Architektur nahe, tendiert jedoch in eine andere Richtung. Er will die Möglichkeiten, die Technik, Konstruktion und Materialien bieten, nutzen und über rationale Methoden versuchen, den Bau aus dem Wesen heraus zu entwickeln. Voller Bewunderung für die im Rohbau sehenden Stahlskelette in Chicago bemerkt er zum anschließenden »Verhüllen« dieser Gerüste: »Mit der Ausmauerung der Fronten wird dieser (konstruktive Gedanke) von einem sinnlosen und trivialen Formenwust überwuchert, vollständig zerstört.« In seinen Hochhausprojekten für Berlin 1921 (ein 20-geschossiges Hochhaus mit prismatischem Grundriss) und 1922 (ein 30-geschossiges mit polygonalem Grundriss) versucht er,

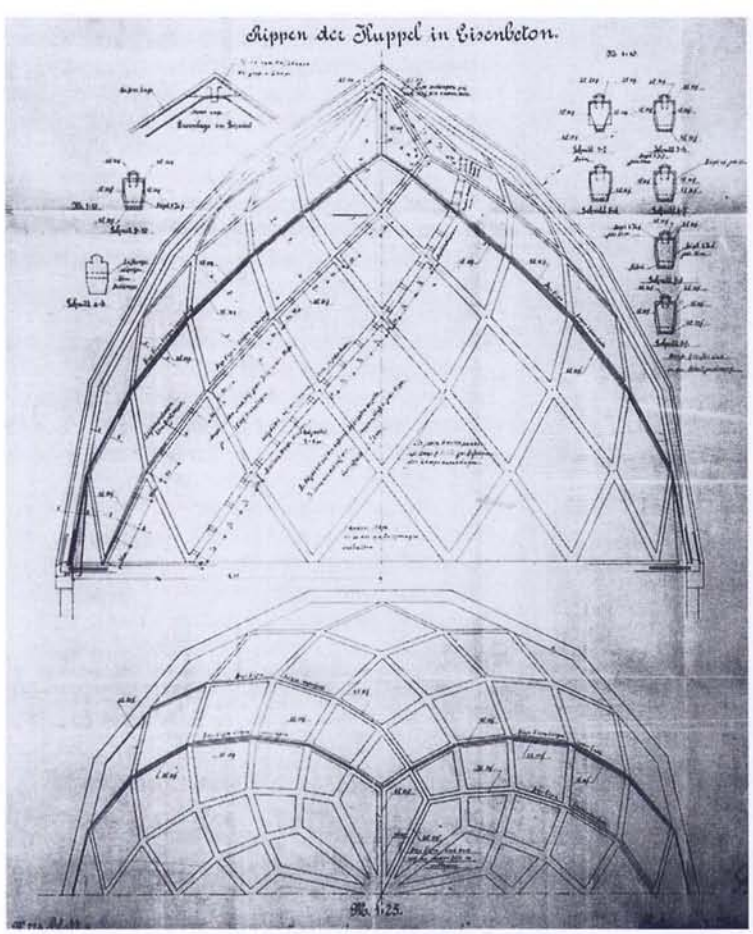
1.1.42

1.1.42 Pavillon Werkbundausstellung, Köln 1914, Bruno Taut, Glastreppe
1.1.43 Pavillon Werkbundausstellung, Köln 1914, Bruno Taut, Konstruktionszeichnung der Kuppel, Eisenbetonnetzwerk
1.1.44 Hans Scharoun, Aquarell 1919, Akademie der Künste, Berlin

diesen Gedanken umzusetzen. Zum ersten Mal wird die Idee verfolgt, die komplette Außenwand eines mehrgeschossigen Bürohauses ausschließlich aus Glas zu erstellen. Zur Ausführung kommt es jedoch nicht. Anders als 20 Jahre zuvor in den Projekten Chicagos zieht sich jetzt das Glas wie eine Haut über die Konstruktion, die nur noch aus Stützen und Deckenscheiben besteht. Mies van der Rohe nennt es »Haut-und-Knochen-Architektur«. Er hat die Gebäudeformen am Modell entwickelt, um das Spiel des Lichtes mit seinen Reflektionen und Spiegelungen in die Entstehung der Gebilde mit einzubeziehen. In der Zeitschrift »Frühlicht«, dem Sprachrohr der »Gläsernen Kette«, fordert Mies van der Rohe, man solle »aus dem Wesen der neuen Aufgabe heraus die Gestaltung ihrer Form versuchen. Das neue konstruktive Prinzip dieser Bauten tritt dann klar hervor, wenn man für die nicht mehr tragenden Außenwände Glas verwendet. Die Verwendung von Glas zwingt allerdings zu neuen Wegen.«

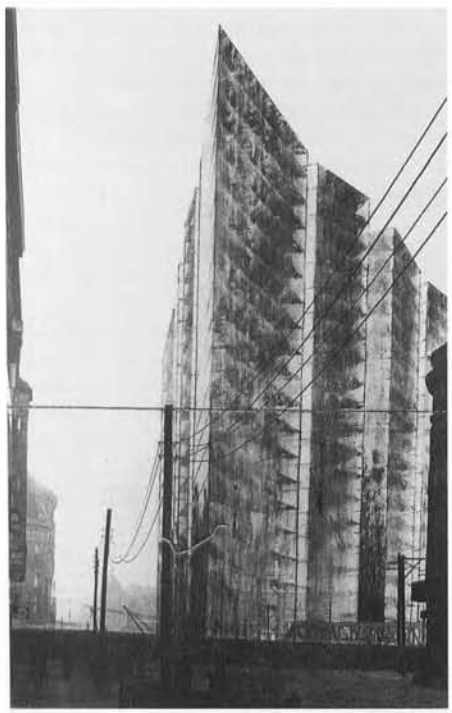
Licht, Luft, Sonne – »Das Haus ist eine Maschine zum Wohnen«

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts versuchen die Architekten auf unterschiedlichen Wegen, aber mit einem gemeinsamen Ziel, eine neue Architektur zu schaffen. Eine Architektur, die ohne die aufgesetzte Ornamentik des 19. Jahrhunderts, frei von den Zwängen der Baugeschichte und mit den neuen Möglichkeiten, die Industrie, Technik und neue Materialien bieten, ihre Form finden soll. Des Weiteren versuchen sie, Wohnungen zu konzipieren, die zwar knapp bemessen, jedoch preiswert sind und die anders als die unmenschlichen Wohngettos der Industriestädte eine große Variabilität und Wohnqualität besitzen. Eine offene Architektur, die den Menschen Licht, Luft und Sonne bietet. Sigfried Giedion beschreibt 1929 in »Befreites Wohnen« diese neue Architektur:
»SCHÖN ist ein Haus, das unserem Lebensgefühl entspricht. Dieses verlangt LICHT, LUFT, BEWEGUNG; ÖFFNUNG.
SCHÖN ist ein Haus, das leicht aufruht und allen Bedingungen des Terrains sich anpassen kann.
SCHÖN ist ein Haus, das gestattet, mit Himmel und Baumkronen zu leben.
SCHÖN ist ein Haus, das an Stelle von Schatten (Fensterpfeiler) Licht hat (Fensterwände).
SCHÖN ist ein Haus, dessen Räume kein Gefühl von EINGESPERRTSEIN aufkommen lassen.
SCHÖN ist ein Haus, dessen Reiz aus dem Zusammenwirken wohlerfüllter Funktionen besteht.«
Le Corbusier trägt wesentlich zur Schaffung dieser neuen Architektur bei. Zum einen als Verfechter einer formalen, ästhetischen Architektur, die »das kunstvolle, korrekte und großzügige Spiel der unter dem Licht versammelten Baukörper« postuliert, einer Architektur als Harmonie, als Poesie. Zum anderen als Architekt,



1.1.43

1.1.44



1.1.45

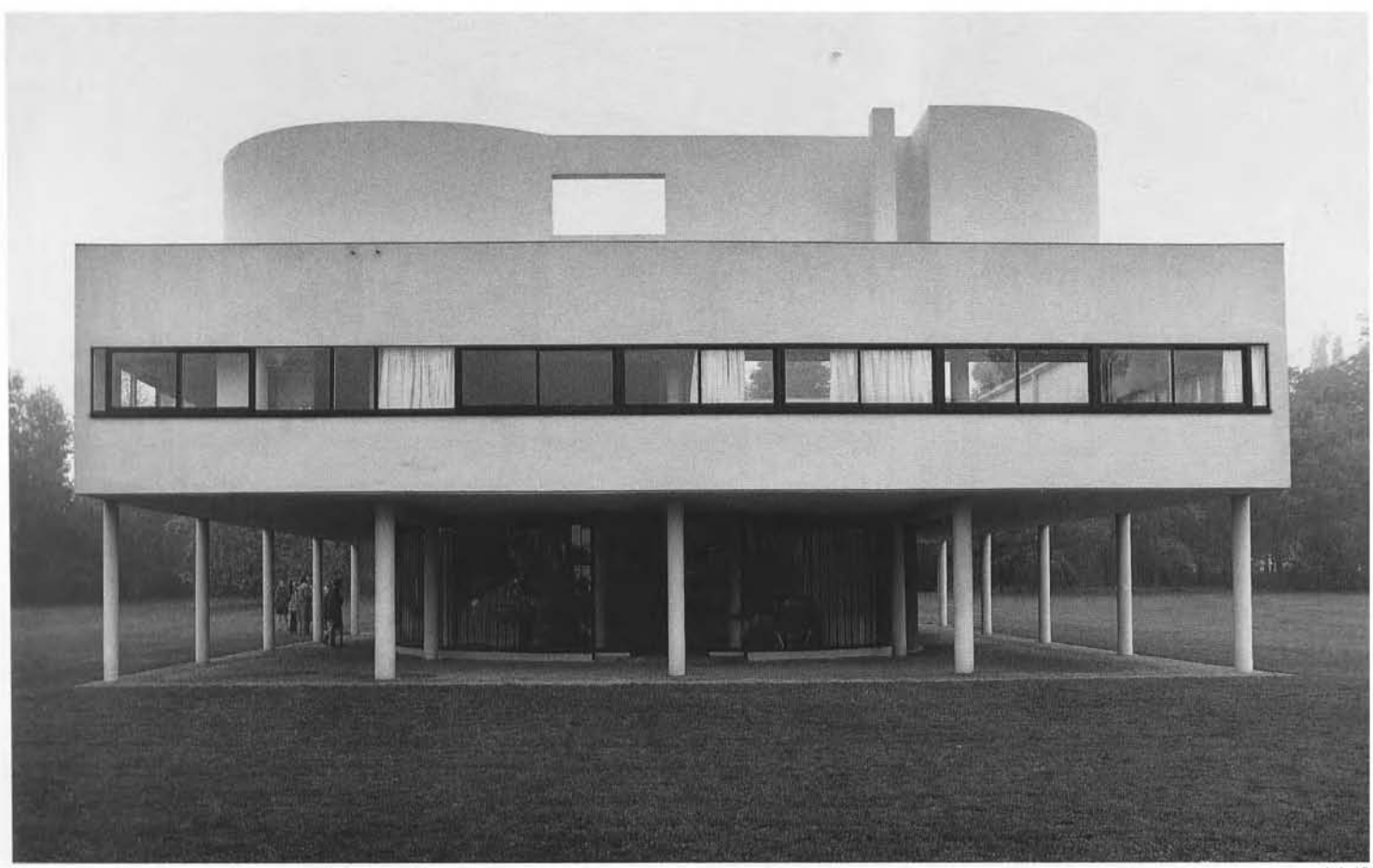
1.1.45 Projekt Glashochhaus, Berlin 1921, Ludwig Mies van der Rohe
1.1.46 Villa Savoye, Paris 1931, Le Corbusier

der sich die Möglichkeiten zunutze macht, die Industrie und Bautechnik anbieten. Programmatisch formuliert er 1926 seine »5 Punkte zu einer neuen Architektur«:

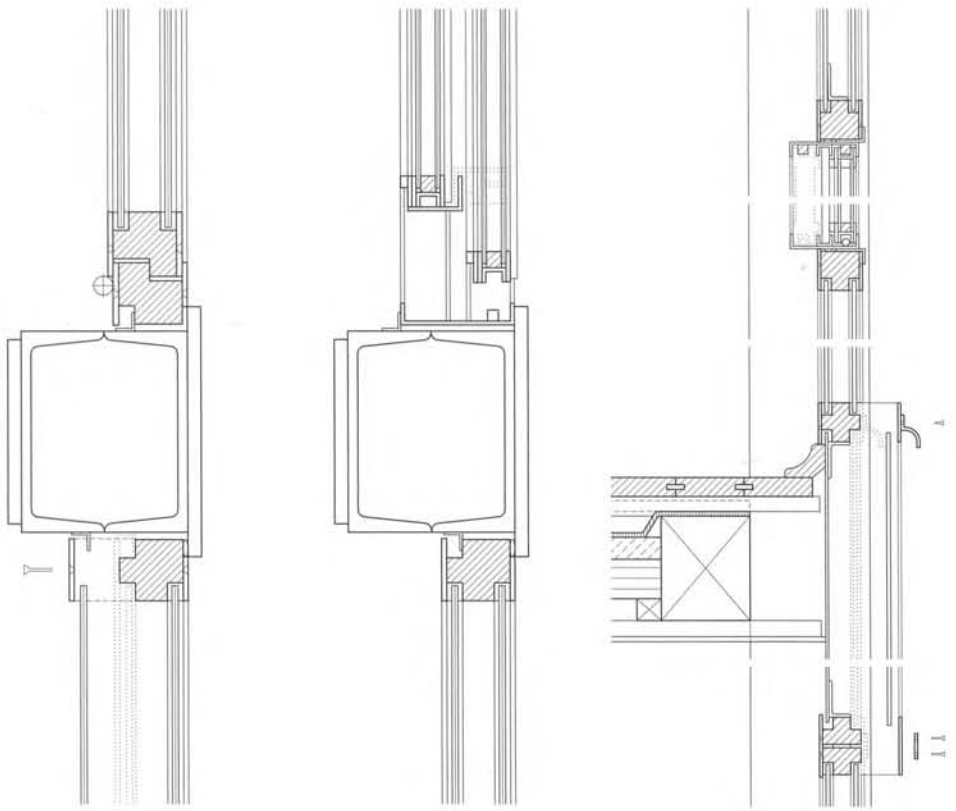
1. Die Pilotis
   Das Erdgeschoss, der Boden wird frei, anderweitig nutzbar.
2. Die Dachgärten
   Der überbaute Grund wird als begrünte Dachterrasse wiedergewonnen.
3. Die freie Grundrissgestaltung
   Bisher war der Grundriss geprägt durch die Bedingungen der massiven Wände, jetzt sind ihre Funktionen aufgeteilt: Stützen auf der einen Seite, Schutz und Unterteilung auf der anderen, somit konnte die Außenwand geöffnet werden.
4. Das Langfenster
   Es ermöglicht die volle Ausnutzung der Wand für die Belichtung
5. Die freie Fassadengestaltung. Sie ist die Konsequenz dieser Prinzipien. Es gibt keine tragende Außenwand mehr – »die Fassade besitzt somit eine freie Gestaltung«.

Mit der Villa Savoye schafft Le Corbusier 1931 einen neuen Haustyp. Alle fünf Punkte finden hier ihre Anwendung. Poetische, fließende Räume entstehen; nicht nur in der Ebene des Grundrisses, sondern räumlich in allen Dimensionen. Wie Mies van der Rohe räumt auch Le Corbusier der Konstruktion eine feste Bedeutung ein, aber eher im Sinne eines Grundgerüstes, das für andere Dinge Spielräume schafft.

Zur Weiterentwicklung der Außenwand trägt Le Corbusier mit dem »fenêtre en longueur« und dem »pan de verre« bei. Das Maß der Öffnung ist, befreit von der Aufgabe tragen zu müssen, frei gestaltbar. Das durch große, nicht verschattete Glasscheiben entstehende Problem der Überhitzung wird dabei von ihm, wie von den meisten seiner Kollegen, unterschätzt. Um 1929 erkennt er, dass von den vielen Aufgaben, die eine massive Wand erfüllt – Wärmedämmung, Wärmespeicherung, Sicht-, Schall- und Sonnenschutz –, die Glaswand kaum etwas übernehmen kann, sie somit um wichtige Außenwandfunktionen ergänzt werden muss. Die ersten Versuche dieses Problem technisch zu lösen, etwa über die Lüftung der Räume – die »réspiration exacte«, oder den »mur neutralisant« –, wobei je nach Jahreszeit warme oder kalte Luft in den Zwischenraum zwischen der Doppelverglasung geblasen werden sollte, scheiterten. Eine wirksame Lösung bieten erst außenseitig angebrachte Markisen (beim Immeuble Clarté, Genf) und der aus der traditionellen arabischen Architektur (mashrabya) ins großmaßstäbliche übertragene »brise-soleil«. Der Versuch, die Glashaut komplett zu schließen, um das Raumklima über die Lüftung zu stabilisieren, führt bei dem Asyl der Heilsarmee (1932/33) dazu, dass das Gebäude erst nach Einbau von Öffnungsflügeln und dann später



1.1.46



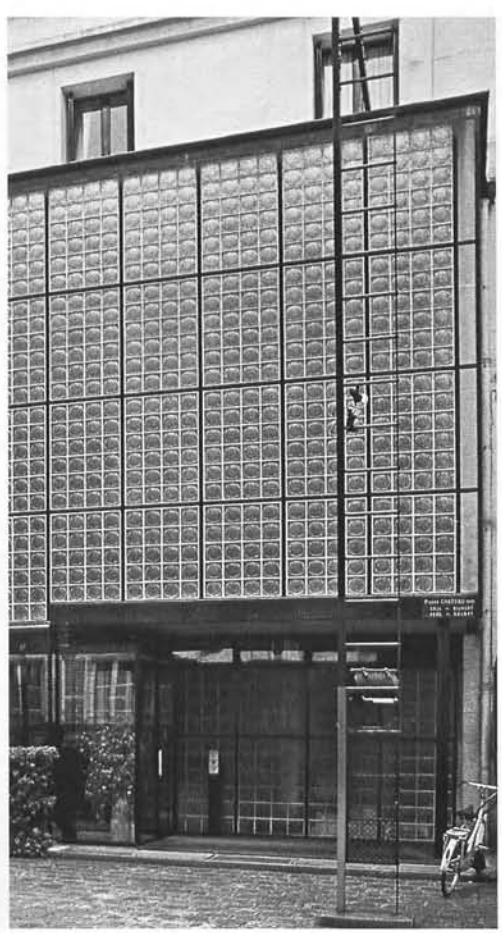
1.1.47

durch den vorgesetzten »brise-soleil« bewohnbar wird. Somit haben sich die Aufgaben der Außenwand, die von der massiven Wand gebündelt übernommen werden, aufgesplittet in einzelne Elemente, die ihre Materialität und Form aus der von ihnen zu leistenden Aufgabe erhalten. Die Außenwand wird zu einer differenzierten Schicht. Egon Eiermann führt das in seinen ab den 1950er-Jahren entstehenden Bauten meisterhaft vor.

Ein weiteres Beispiel Le Corbusiers ist das bereits erwähnte Mehrfamilienhaus Immeuble Clarté in Genf von 1930–32. Der Wohnblock ist als Stahlskelett-Konstruktion errichtet. Zwischen die Fassadenstützen ist die großformatige Glasfassade (»pan de verre«) gestellt. Die Brüstungen sind aus Drahtspiegelglas gefertigt. Die Fassadenkonstruktion besteht aus einem Holzkern, geschützt durch beidseitig aufgeschraubte Eisenbleche. Um eine durchgehende Fassadenebene zu erhalten, sind auch die Deckenstirnseiten von außen durch Glasflächen – fixiert mit Deckleisten – verdeckt. Um Licht ins innen liegende Treppenhaus zu holen, sind die Podeste und Stufen der zweiläufigen Treppe aus Glasbausteinen errichtet.

Zu den bedeutendsten Industriebauten des 20. Jahrhunderts zählt die Tabakfabrik Van Nelle in Rotterdam 1926–30 von den Architekten Johannes Andreas Brinkman, Leendert Cornelius van der Vlugt und Mart Stam. Die großflächige, feingliedrig proportionierte Glaswand besteht aus einem Sprossenwerk in Stahl, das geschossweise in den oberen zwei Dritteln verglast, im unteren Drittel als Brüstung innen und außen mit Eisenblechtafeln verkleidet ist; dazwischen befindet sich eine drei Zentimeter flache Torfoleumschicht. Die Treppenhäuser sind vollständig verglast; die Scheiben sind von außen eingesetzt. Gegen Sonneneinstrahlung sind Lattengewebe wie bei Gewächshäusern angebracht. Es ist ein Bauwerk entstanden, das nach Le Corbusier »absolute Heiterkeit ausstrahlt. Alles ist nach außen geöffnet ... Eine Schöpfung des modernen Zeitalters«. Dieses Fabrikgebäude stellt wohl das überzeugendste Beispiel konstruktivistischer Architektur dar.

1.1.48



1.1.49

Ein Meilenstein der modernen Architektur ist auch die 1930 von Johannes Duiker errichtete Freiluftschule in Amsterdam. Helle, von Licht durchflutete Klassenräume mit einer Freiterrasse sind hier verwirklicht. Die großzügig gegliederte Glashaut scheint zwischen Brüstung und Decke frei vor die Konstruktion gespannt zu sein. Weit auskragende Träger ermöglichen die Öffnung der Gebäudeecken und unterstreichen so die Leichtigkeit des Gebäudes.
Die Maison Dalsace in Paris (1928–32) von Pierre Chareau und Bernard Bijvoet, die bald den Beinamen »Maison de Verre« erhielt, ist ein eindrucksvolles Beispiel für ein Gebäude, das aus den Bedürfnissen der einzelnen Räume heraus konzipiert ist und die daraus resultieren-

1.1.50

1.1.51

de Konstruktion nach außen sichtbar macht. Es zeichnet sich durch große, lichtdurchlässige Wände aus Glasbausteinen und die außergewöhnliche Durchgestaltung aller konstruktiven und Raum bildenden Elemente aus. Alle Teile dieses Hauses, ob handwerklich geschaffen oder industriell vorfabriziert, sind zweckgemäß ausgeführt. Der große Raum wird durch versetzte Ebenen unterschiedlicher Höhe und Raum bildende Elemente wie Schiebetüren und Stützen zoniert, aber nicht zerteilt. Er erhält sein Licht von der Garten- und von der Hofseite durch riesige dreigeschossige, überwiegend aus Glasbausteinen bestehende Wände. Das Problem, das schmale, in den Innenhof zurückgesetze Gebäude zu belichten, führte zu der Stahlkonstruktion mit den großen gläsernen Fassadenflächen. Die sichtbezogenen Verbindungen zwischen innen und außen beschränken sich auf wenige, unterschiedlich große Fenstereinheiten. Mangels Erfahrungen mit derartigen Größenordnungen liefert der Glashersteller Saint-Gobain zwar den Stein, lehnt aber jegliche Verantwortung für die damit erstellten Wände ab. Um die Belastung aus der Schichtung der Steine zu reduzieren, wird eine tragende Stahlstruktur errichtet, die mit Glasbausteinen (je 4 × 6 »Nevada-Steine« à 20 × 20 × 4 cm) und mit einigen Öffnungselementen und Festverglasungen in Klarglas ausgefüllt wird.

Le Corbusier hat 1921 den Begriff »Wohnmaschine« in einem Artikel der Zeitschrift »Esprit Nouveau« eingeführt. Er versteht darunter ein aus vorgefertigten Teilen in Serie herzustellendes Produkt. Das Glashaus von Chareau ist in diesem Sinne geplant und realisiert.

1.1.47 Immeuble Clarté, Genf 1930–32, Le Corbusier, Horizontalschnitte/Vertikalschnitt Festverglasung und Schiebefenster
1.1.48 Immeuble Clarté, Genf
1.1.49 Maison de Verre, Paris 1931–32, Pierre Chareau
1.1.50 Freiluftschule, Amsterdam 1930, Johannes Duiker
1.1.51 Tabakfabrik Van Nelle, Rotterdam 1926–30, Johannes Andreas Brinkman und Leendert Cornelius van der Vlugt mit Mart Stam

Die Glasarchitektur von der Moderne bis zur Gegenwart

Christian Schittich

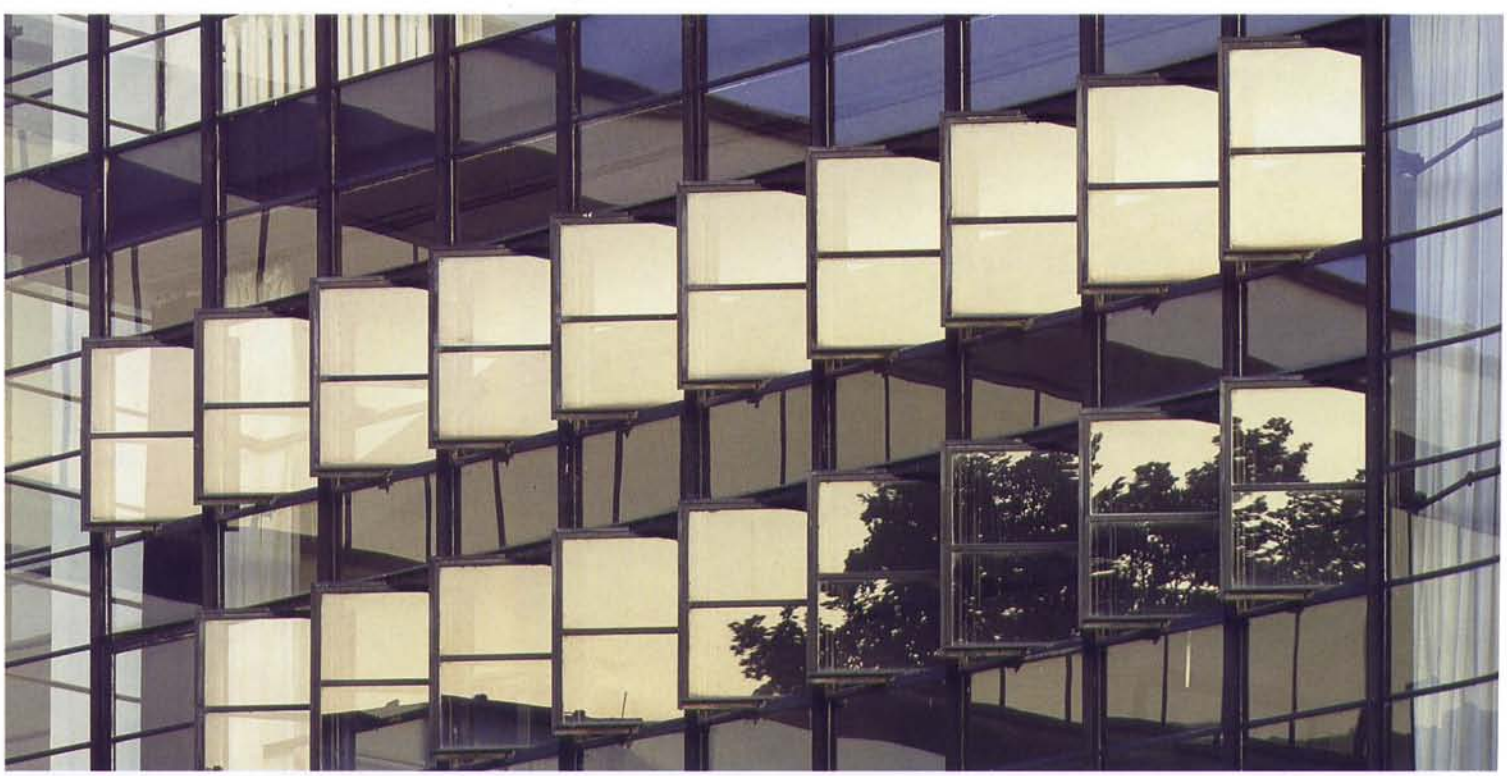
Transparenz und Stofflichkeit – Die gläserne Haut wird zum Ereignis

Ludwig Mies van der Rohes gläserner Wolkenkratzer für die Friedrichstraße in Berlin oder Bruno Tauts Alpine Architektur stehen für die zukunftsweisenden Visionen der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts – Visionen, die den technischen Möglichkeiten ihrer Zeit vorauseilen und damit notgedrungen auf dem Papier bleiben, ohne Chance auf Verwirklichung. Aber auch die realisierten Projekte dieser Epoche – die großartigen Glasfassaden am Bauhaus in Dessau von Walter Gropius oder Pierre Chareaus Maison de Verre (Abb. 1.2.38) – sind gleichsam Prototypen der Avantgarde und damit Solitäre im urbanen Gefüge wie schon zuvor die eindrucksvollen Gewächshäuser, verglasten Bahnhofshallen und lichtdurchfluteten Passagen des 19. Jahrhunderts. Heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, gehört die Glasfassade längst zur weit verbreiteten Selbstverständlichkeit im Bild einer Stadt. Technologisch gesehen hat das Material einen Entwicklungsstand erreicht, der nichts mehr unmöglich erscheinen lässt und Architekten und Planer vor stets neue gestalterische Herausforderungen stellt. In nur wenigen Jahrzehnten gelang es, aus der spröden, zerbrechlichen Substanz einen Hochleistungsbaustoff zu entwickeln, der bei Bedarf Lasten abtragen kann, kühne filigrane Konstruktionen ermöglicht und aufgrund raffinierter, weitgehend unsichtbarer Beschichtungen auch noch Funktionen der Klimakontrolle übernimmt.

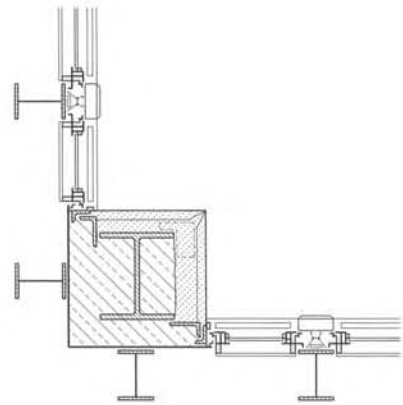
Der nicht immer geradlinige Weg der faszinierenden Geschichte der Glasarchitektur von der Mitte des 20. Jahrhunderts bis zur Gegenwart soll auf den nachfolgenden Seiten aufgezeigt werden. Im ersten Teil dieses Beitrags, Transparenz und Transluzenz – Die gläserne Haut wird zum Ereignis, steht dabei die Architektur und somit die ästhetische Bewältigung im Mittelpunkt, während im zweiten Teil der nicht minder faszinierende technische Prozess, die Entwicklung der Glaskonstruktionen und ihre direkte Anwendung in realisierten Gebäuden, thematisiert wird.

Der Curtain Wall: von der Ästhetisierung zur Monotonie

Das Zusammenwirken ökonomischer, technologischer und stilistischer Faktoren trägt nach dem Zweiten Weltkrieg zur schnellen Verbreitung des Baustoffs Glas bei. Gläserne Bürotürme kommen als Firmenzentrale zu einer Zeit in Mode, als immer mehr multinationale Großkonzerne entstehen und im vom Krieg zerstörten Europa ein enormer Bauboom herrscht. Glasfassaden werden zum Statussymbol selbstbewusster Unternehmen und die Silhouette aus Glastürmen zum Wahrzeichen einer prosperierenden Stadt. Die Erfindung des Floatprozes-



1.2.1



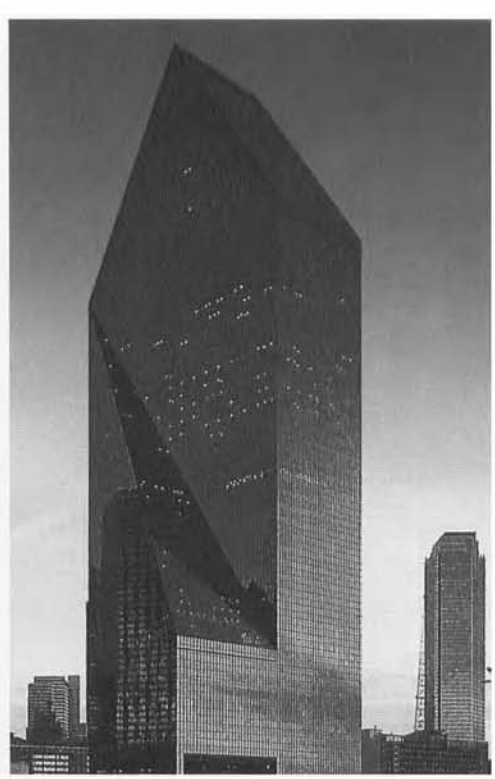
1.2.2

ses, der die Glasherstellung revolutioniert, sowie die Entwicklung neuartiger Dichtstoffe tragen ein Übriges bei. Wesentliche Impulse gehen dabei von Amerika aus, wohin ein großer Teil der europäischen Avantgarde während des Dritten Reiches emigriert, unter ihnen die ehemaligen Bauhaus-Direktoren Walter Gropius und Ludwig Mies van der Rohe.
1938 übernimmt Mies in Chicago die Leitung des Armour (ab 1940 Illinois) Institute of Technology (IIT) und zudem den Auftrag, den neu entstehenden Universitätscampus zu planen. Hier und bei vielen weiteren Bauten, die er in den USA realisiert, hat er die Möglichkeit, einige seiner bereits in Europa entwickelten Ideen umzusetzen. Stahl und Glas sind dabei die alles bestimmenden Materialien.
Während Mies beim Mineral and Metal Research Building von 1942 noch mit dem Tragwerk bündige Fassadenausfachungen entwickelt, setzt er bei den ab 1945 entstehenden drei Gebäuden auf dem Universitätscampus ein Sekundär-Rahmensystem und über mehrere Geschosse durchlaufende Fassadenpfosten aus H-Profilen ein. Damit prägt er den für ihn so typischen, später vielfach nachgeahmten Stil. Den Höhepunkt bildet dabei die 1956 vollendete Crown Hall für die Architekturfakultät mit ihrem von außen liegenden Stahlrahmen abgehängten Dach und der großflächigen Verglasung mit Scheibenformaten von 3 x 3,50 m. Neben transparenten Scheiben greift der Architekt dabei aus formalen Gründen auch auf sandgestrahlte transluzente Gläser zurück.
Bei seinem ersten Hochhaus am Lake Shore Drive in Chicago (1951) verwendet Mies die für das IIT entwickelten Fassadenprofile aus Doppel-T-Stahl, allerdings nur außenseitig vorgeblendet, da die Baubehörden eine Betonummantelung der tragenden Stahlstützen verlangen. Die Profile betonen das »Nach-oben-Streben« – die Vertikalität des Gebäudes. Die gesamte Außenhaut besteht aus Glas, mit bündig zur Fensterebene eingesetzten Brüstungsstreifen und Aluminiumrahmen. Mies interpretiert mit seinen amerikanischen Hochhausfassaden den Curtain Wall neu, dessen Anfänge in die Zeit kurz nach der Jahrhundertwende zurückreichen. Seine Leistung ist die Ästhetisierung dieses Bautyps – den formalen Aspekten ordnet er dabei alle anderen Gesichtspunkte unter.
Der Curtain Wall findet nach dem Zweiten Weltkrieg in Amerika eine rasche Verbreitung. Im

1.2.1 Bauhaus Dessau 1926/1976, Walter Gropius
1.2.2 Lake Shore Drive Apartments, Chicago 1951, Ludwig Mies van der Rohe, Eckdetail
1.2.3 Equitable Life Assurance Building, Portland/Oregon 1944–47, Pietro Belluschi
1.2.4 Seagram Building, New York 1956–59, Ludwig Mies van der Rohe
1.2.5 Allied Bank Tower, Dallas/Texas 1983–86, Ieoh Ming Pei, Fassadendetail

1.2.3

1.2.4



1.2.5

Gegensatz zu Europa haben hier die großen Architekturbüros bereits eine durch und durch industriell geprägte Denkweise entwickelt, und die Schaffung repräsentativer Firmensitze in den Innenstädten wird zu einer bedeutenden Bauaufgabe. Eine der ersten Vorhangfassaden an einem Bürohochhaus realisiert Pietro Belluschi 1947 in Portland/Oregon. Dem Equitable Savings and Loan Building (Abb. 1.2.3) verleiht er eine glatte, beinahe flächenbündige Außenhaut aus grün getöntem Isolierglas, Aluminium und Marmor – eine Außenhaut, die unter ästhetischen Gesichtspunkten betrachtet allerdings eher schwer und kaum differenziert erscheint. Ganz anders dagegen präsentieren sich die Fassaden an dem 1952 fertig gestellten Lever Building in New York (Abb. 1.2.6) von Skidmore, Owings and Merrill (SOM), die für einen frühen, gestalterisch überzeugenden Curtain Wall stehen. Die Hülle des Hochhauses – ein gleichförmiges und filigranes Netz aus polierten Edelstahlrahmenprofilen – ist vollständig vom Tragwerk losgelöst und nur zur Aufnahme der Windkräfte punktförmig mit diesem verbunden. Die in ihrer Dimension minimierten Profile sind mit blaugrün schimmerndem, halbreflektierendem Glas ausgefacht. Da auch die geschlossenen Brüstungsbereiche mit dem gleichen blaugrünen Glas verkleidet sind, treten sie äußerlich kaum in Erscheinung. Freilich konnte eine derartige Leichtigkeit nur mit einer fest stehenden Einfachverglasung erreicht werden. Die Folge ist ein allseitig geschlossenes Gebäude ohne zu öffnende Fenster, das nur mit künstlicher Belüftung und Klimaanlage funktioniert. Doch das Lever Building verdeutlicht, welche gestalterische Wirkung sich mit farbigen Gläsern erreichen lässt, die gleichzeitig die Sonneneinstrahlung reduzieren. Darüber hinaus handelt es sich um eines der ersten Hochhäuser, bei dem zu Reinigungs- und Wartungszwecken der Glasflächen eine fest installierte, von oben abgehängte Fassadenbefahranlage eingesetzt wird.

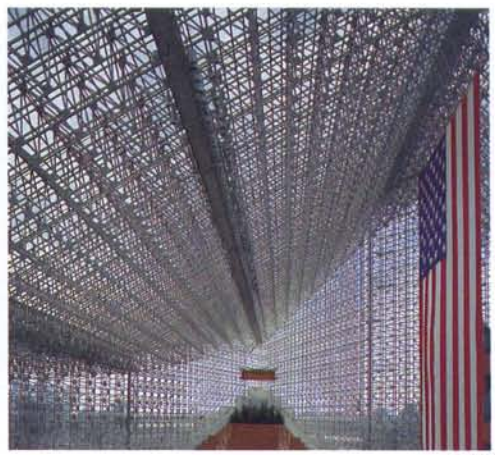
1.2.6

Nur wenige hundert Meter entfernt in der New Yorker Park Avenue, schräg gegenüber dem Lever Building errichtet Mies van der Rohe 1958 das Seagram Building (Abb. 1.2.2 und 1.2.4), und demonstriert eine gestalterisch vollkommen unterschiedliche Auffassung der Vorhangfassade. Während bei dem Gebäude von SOM das Filigrane im Vordergrund steht und die Außenhaut flächig in Erscheinung tritt, strebt Mies eine plastische Wirkung an. Anders als bei seinen vorangegangenen Bauten in Chicago indes sind die gliedernden Profile nicht vor, sondern in die Glasebene gelegt und durch Schattenfugen betont. Auch handelt es sich bei den Profilen nicht mehr um industriell gefertigte Serienprodukte, sondern um teure Sonderanfertigungen aus Bronze. Dadurch wird es dem Architekten möglich, Einfluss auf den Querschnitt zu nehmen: Mies verstärkt die sichtbaren Flansche, um ihnen optisch mehr Gewicht zu verleihen. Die Fenster lässt er ohne Querteilung vom Boden bis zur Decke der Büroetagen durchlaufen und erreicht somit eine entschiedene Vertikalität der Fassaden. Alle Glasscheiben sind durch Beimengung von Eisenoxid und Selen goldbraun gefärbt. Das führt dazu, dass das bedeutendste Hochhaus im Werk Mies van der Rohes nun nicht mehr transparent und leicht, sondern ausgesprochen massiv wirkt. Von seinen kühnen Visionen eines gläsernen Wolkenkratzers, wie er sie in den 1920er-Jahren skizziert, ist kaum mehr etwas zu sehen und aus den einstmals kristallinen oder elegant geschwungenen Formen wird nun ein streng rechteckiger Baukörper – eine schlichter Quader, bei dessen Gestaltung er das Hauptaugenmerk auf die Wahl der geeigneten Materialien und die sorgfältige Ausbildung aller Details legt. Mies scheint besessen von der Perfektionierung bestimmter formaler Aspekte, wobei er mit seiner Ästhetik weder den Bezug zum Ort noch zur Bauaufgabe herstellt. Ein Wohngebäude gestaltet er ähnlich wie einen Verwaltungsbau; Hochhäuser mit derselben Formensprache wie in New York baut er anschließend auch in Chicago oder Toronto. Durch diese Einstellung fördert er die weltweite Nachahmung seiner Bauwerke. Mit der seriellen Vervielfältigung aber geht nicht nur die Originalität, sondern auch die Liebe zum Detail verloren.

Unter dem Einfluss des Internationalen Stils verbreiten sich bis Anfang der 1970er-Jahre die »gläsernen Kisten« weltweit mit einer unge-

1.2.7

1.2.8



1.2.9

heueren Geschwindigkeit. Das Bürogebäude ist zu einer bedeutenden Bauaufgabe geworden und die gerasterte Glasfassade zu ihrem Symbol. Zusätzlich wird das Entstehen gleichförmig glatter Vorhangfassaden durch die zunehmende Verbreitung anonymer Investorenarchitektur begünstigt. Ursprünglich mit Kreativität entwickelte, elegant designte Fassadenschöpfungen degenerieren zur monotonen Fläche. Die Glasarchitektur ist nun international etabliert, doch von den gestalterischen Ideen des Expressionismus und der frühen Moderne – von den Facetten des Lichtspieles wie sie Paul Scheerbart in seiner Lyrik oder Bruno Taut und Mies van der Rohe in ihren Skizzen vorausgedacht hatten – ist wenig geblieben. Eine zunehmende Kritik an der Verarmung der architektonischen Sprache wird laut.

Structural Sealant Glazing und Behälterarchitektur

Die ab Mitte der 1960er-Jahre in den USA entwickelte Technik, Außenverglasungen mittels Verklebung mit tragendem Silikon zu befestigen (Structural Sealant Glazing) ermöglicht es, Dach und Fassaden eines Gebäudes mit einer gleichwertigen glatten Haut zu verkleiden. Alle denkbaren geometrischen Formen können nun einheitlich umhüllt werden – eine verführerische Idee in einer Zeit, als die Kritik an den immer gleichen, rechtwinkeligen Kuben wächst und die Semantik in der Architektur wieder an Bedeutung gewinnt. Ein formaler Eklektizismus ist die Folge, denn zahlreiche Investoren wünschen sich nun unverwechselbare, werbeträchtige Gebäudeikonen. Besonders drastisch zeigt sich diese Haltung am Pacific Design Center in Los Angeles, dessen erster Bauabschnitt 1976 von Cesar Pelli mit Victor Gruen fertig gestellt wird (Abb. 1.2.7). Es ist ein lang gestreckter hoher Bau, der dem Kritiker und Protagonisten der Postmoderne Charles Jencks an eine überdimensionale Zierleiste erinnert, die irgendwo beliebig abgeschnitten ist. Dach und Fassaden, Krümmungen und Schrägen des Gebäudes aus Stahl sind von dem einheitlichen Curtain Wall aus blau schimmerndem Glas überzogen. Von außen betrachtet ist kein Funktionsbereich, weder Treppenhaus noch Ausstellungshalle, ablesbar. Die einheitliche Hülle mit dem stereotypen Raster führt zum Verlust jeglichen Maßstabs. Eine Orientierungshilfe bietet einzig die umliegende kleinteilige Vorstadtbebauung, in welche der Gebäudekomplex ohne Rücksicht auf städtebauliche Bezüge eingefügt ist.

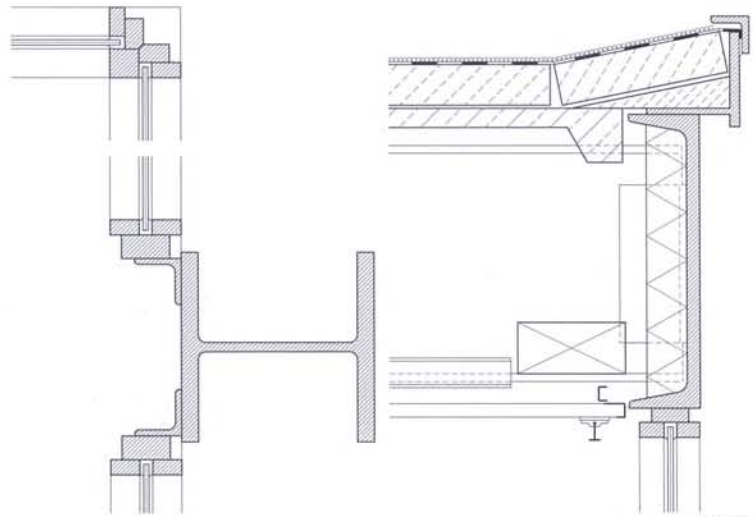
Doch die Anwendung des Structural Sealant Glazing bleibt nicht auf kommerzielle Bauten beschränkt. Philip Johnson und John Burgee verkleiden die 1980 fertig gestellte Community Church in Garden Grove, nahe Los Angeles, vollkommen mit verspiegeltem Glas (Abb. 1.2.8 und 1.2.9). Dem Entwurf der Kirche liegt die Idee eines kristallinen Gebäudes zugrunde, das gleich einem Juwel in der Sonne glitzert. Im heißen Klima und grellen Licht von Südkalifornien ist das verspiegelte Glas tatsächlich angebracht, denn obwohl die silberbedampften Scheiben nur einen Bruchteil der Strahlung passieren lassen, bleibt der natürlich belüftete Innenraum ausreichend hell. Der gewünschte kristalline Effekt indes stellt sich nur bei bestimmten Lichtverhältnissen ein. Die glatte, gleichmäßig gerasterte Fassade lässt die Nutzung als Kirche nur schwer erkennen. Eindrucksvoll aber ist der große, 3000 Personen fassende Innenraum, der geprägt wird von dem filigranen Stahlfachwerk und dem an allen Seiten durchscheinenden Himmel. Die Kirche in Garden Grove ist eines der wenigen Gebäude, bei dem eine Haut aus getönten und verspiegelten Glasscheiben einen einzigen großartigen Raum umhüllt und wo die Technik des Structural Sealant Glazing eine vollkommene Transparenz von innen nach außen ermöglicht.

Besonders beliebt ist die stereotype, alles gleichförmig umschließende Glashaut bald beim Bau amerikanischer Wolkenkratzer, wo Architekten und Bauherren mit ebenso willkürlichen wie einprägsamen Formen versuchen, in der Skyline einer Stadt ein unverwechselbares Zeichen zu setzen. Diese Solitäre, die nur im urbanen Gefüge nach amerikanischem Muster vorstellbar sind, werden mit getönten und verspiegelten Gläsern verhüllt, die tagsüber keinerlei Einblick gewähren. Effekte der Semitransparenz – das gleichzeitige Wahrnehmen der gläsernen Oberfläche und der durchschimmernden inneren Struktur – wie Mies sie in seinen frühen Entwürfen skizzierte oder Gropius an den Fassaden des Bauhauses bereits in den 1920er-Jahren realisierte, stellen sich nicht ein. Gleichzeitig ist der Ausblick von innen meist nur durch Fensterbänder möglich, der überwiegende Anteil der Fassadenfläche wird opak ausgebildet. Aber auch durch die Fenster bleibt die Sicht wegen der verwendeten Sonnenschutzgläser eingeschränkt.

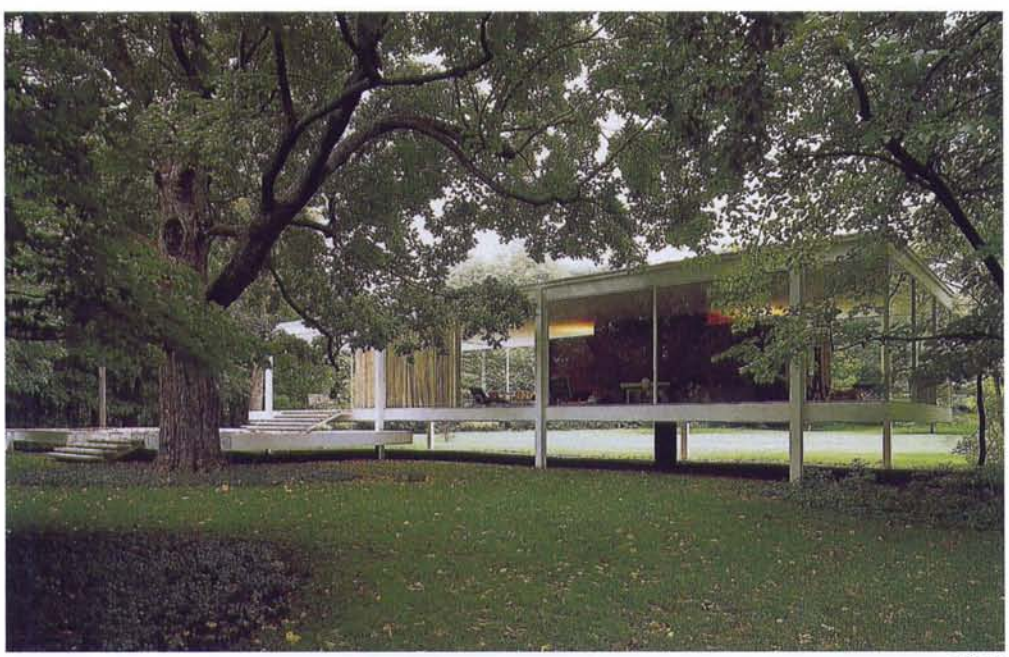
Schnell geraten diese glatten Container – Wahrzeichen einer vorübergehenden Mode – wegen ihrer Maßstabslosigkeit in die Kritik. Antworten darauf geben sowohl konstruktiv orientierte Architekten wie Norman Foster oder Richard Rogers, die das Tragwerk wieder dazu verwenden ihre Baukörper zu strukturieren (Hongkong and Shanghai Bank, Lloyds Building in London), als auch Vertreter der Postmoderne. Gleichzeitig führt ein zunehmendes Energiebewusstsein bald dazu, die Fassaden durch verschattende Vorsprünge oder Sonnenschutzeinrichtungen zu gliedern. Um Strom für die künstliche Beleuchtung zu sparen, geht in Nord- und Mitteleuropa der Trend weg von getönten Gläsern.

1.2.6 Lever Building, New York 1952, Skidmore, Owings & Merrill
1.2.7 Pacific Design Center, Los Angeles 1971–76, Cesar Pelli und Victor Gruen
1.2.8 Community Church, Garden Grove/Kalifornien 1980, Philip Johnson und John Burgee, Fassadenausschnitt
1.2.9 Community Church, Garden Grove/Kalifornien

1.2.10 Farnsworth House, Plano/Illinois 1946–51, Ludwig Mies van der Rohe, Fassadendetails
1.2.11 Farnsworth House, Plano/Illinois
1.2.12 Glass House, New Canaan/ Connecticut 1949, Philip Johnson
1.2.13 Entwurf »50 by 50 House« 1950–52, Ludwig Mies van der Rohe
1.2.14 Eames House, Pacific Palisades, Kalifornien 1949, Charles und Ray Eames



1.2.10



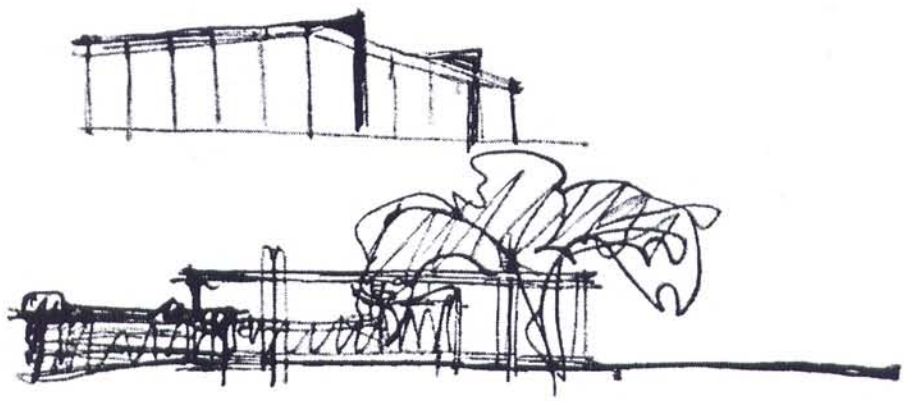
1.2.11

1.2.12

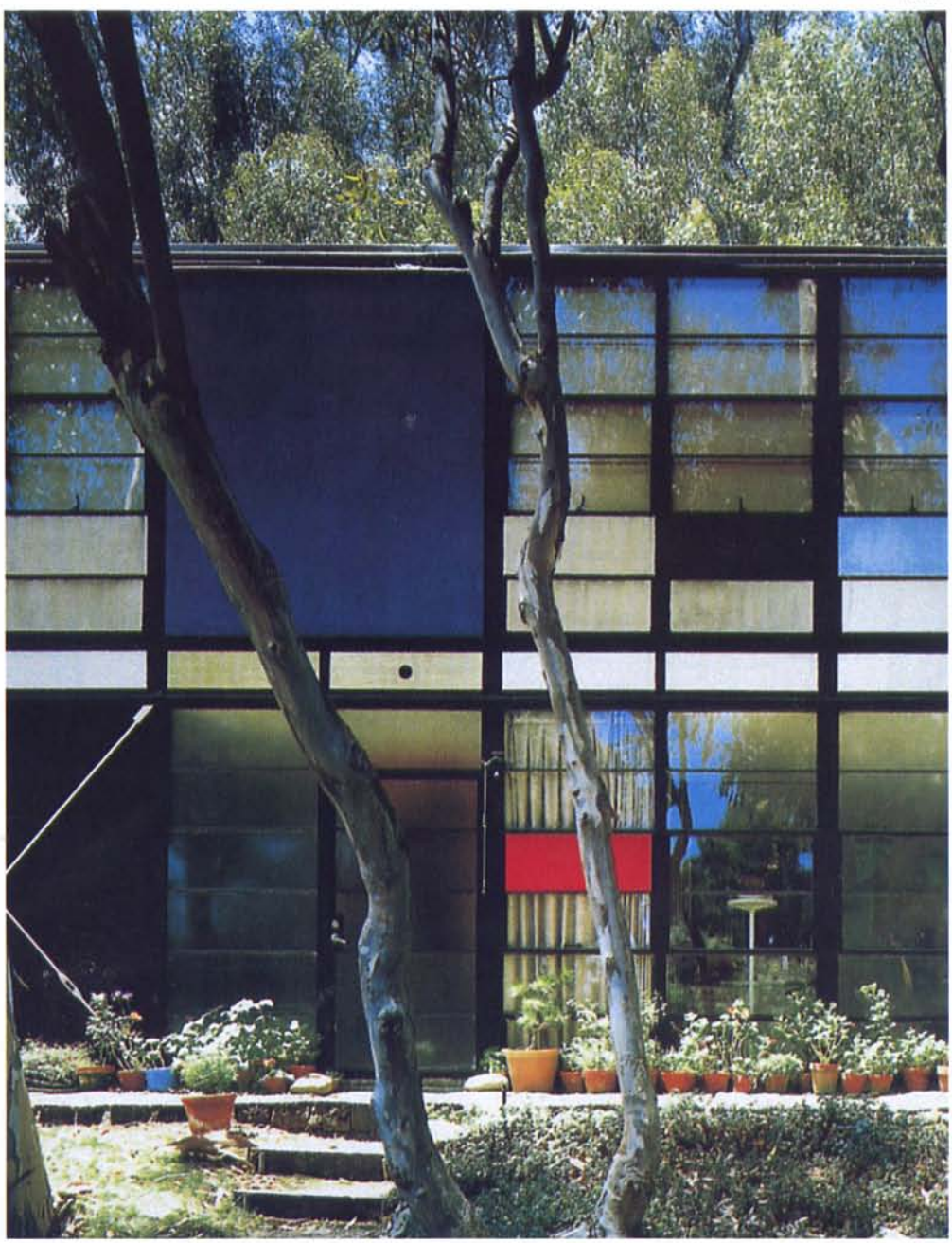
Der Traum vom gläsernen Wohnhaus

Mit seinen gläsernen Hochhäusern verleiht Ludwig Mies van der Rohe dem Curtain Wall ein neues Gesicht und prägt den ihm eigenen, vielfach imitierten Stil. Den radikalsten Einsatz von Glas aber vollzieht der innoative Vordenker an einem kleinen Wohnhaus, dem 1951 vollendeten Farnsworth House in Plano/Illinois (Abb. 1.2.10 und 1.2.11). Wie kaum eine andere Bauaufgabe eignet sich das private Einfamilienhaus wegen seiner überschaubaren Größe zum Experiment – einen verständnisvollen Bauherrn, oftmals der Architekt selbst, vorausgesetzt. Kein Wunder also, dass die Glasarchitektur auch zur Mitte des 20. Jahrhunderts von einer Reihe kleiner Villen neue Impulse erhält. Mit dem Konzept des Farnsworth House, das sich durch fließende Raumübergänge auszeichnet, knüpft Mies an seinen Barcelona-Pavillon an. Durch eine großflächige, von dünnen Stahlwinkeln gehaltene Verglasung ermöglicht er die Kontinuität des Raums von innen nach außen. Die umgebende, beinahe unberührte Landschaft nahe einem kleinen Fluss bildet die inszenierte Kulisse zum Wohnen – Assoziationen zum traditionellen japanischen Haus werden geweckt. Aufgeständert und von acht Stahlstützen getragen, definieren zwei Scheiben für Boden und Dach das Volumen, vier weitere Stützen tragen die Terrassenebene. Das puristische Glashaus mit seinem idealisierten, nur durch horizontale Ebenen definierten Raum und der vollkommenen Reduzierung der Konstruktion wird schnell zur Ikone der modernen Architektur. Gleichzeitig verkörpert es aber das noch wenig ausgeprägte bauphysikalische Verständnis seiner Zeit, denn die minimalistische Detailausbildung führt schon bald nach dem Bezug zu massiven Bauschäden. In einem späteren, zu seiner Zeit visionären Entwurf geht Mies 1951 einen Schritt weiter und verzichtet vollständig auf Fensterrahmen. Nur den Eingang des »50 by 50 House« (Abb. 1.2.13) markiert er durch Metallprofile. Philip Johnson, sein Freund und Schüler, nimmt mit seinem Glass House (1949, Abb. 1.2.12) Bezug auf Farnsworth, demonstriert aber gleichzeitig Eigenständigkeit. Mit dem klaren Kubus ohne Dachüberstand gelingt Johnson ein Extrembeispiel für ein Einraumhaus: Der massive Kern beschränkt sich auf einen eingestellten Zylinder, der die Nasszelle und den Kamin enthält, daneben gibt es nur eine fest installierte kleine Küchenzeile. Jeder weitere Einbau würde stören. Schlaf- und Wohnbereich sind lediglich durch die Zonierung definiert, sämtliche Nutzungsmöglichkeiten den gestalterischen Ambitionen des Architekten untergeordnet. Im Gegensatz zum Farnsworth House wird die »Glaskiste« nicht von wilder Natur, sondern von einem künstlich gestalteten Park umgeben. Die wesentlichen Unterschiede indes liegen in der Detailausbildung. Johnson verwendet an der Fassade Fensterprofile, die von außen betrachtet – abgesehen von den vier Eckstützen – die Tragkonstruktion verdecken. Die Glasfassaden bilden also eine tat-

sächliche Hülle. Beide Villen, die Glashäuser von Mies und Johnson, stehen für die radikale Umsetzung einer prägnanten räumlichen und gestalterischen Architekturidee, der die Bedürfnisse der Bewohner untergeordnet sind. Etwa zur gleichen Zeit entstehen gerade in Amerika zahlreiche großflächig verglaste Villen mit einem weit geringeren dogmatischen Anspruch. Richard Neutras Wohnhäuser in der Wüste beispielsweise, die er ab 1946 in Kalifornien realisiert, versinnbildlichen eine Architektur, die sich an einer hohen Wohn- und Lebensqualität orientiert und die eine gelungene Synthese zwischen vollkommener Öffnung nach außen und Schutz der Privatsphäre im Inneren beinhaltet. Sie verkörpern eine bewohnbare Glasarchitektur, bei der die Transparenz kein Selbstzweck ist.
Auch das Haus, das Charles und Ray Eames 1949 in Pacific Palisades bei Los Angeles für sich errichten (Abb. 1.2.14), bildet einen Kontrast zu den Architekturikonen von Mies und Johnson. Es entsteht im Rahmen des Case Study Programms der Zeitschrift Arts and Architecture, dessen Ziel die Entwicklung moderner Wohnformen mit zeitgemäßen, vorgefertigten Konstruktionen ist. Charles und Ray Eames greifen dabei auf überwiegend kleinformatige, handelsübliche Stahlfenster zurück, die zu eng gerasterten Außenwänden führen. Die Glasflächen der querformatigen Schiebefenster wechseln im Wohnbereich von klar und transparent zu mattierten Scheiben, wobei die transluzenten Felder nicht nur direkte Einblicke von außen verhindern, sondern bei Dunkelheit zu theatralischen Effekten führen, wobei die Gegenstände im erleuchteten Innenraum je nach Abstand zur Fassade mehr oder weniger schemenhaft verschwimmen. Die geschlossenen Paneele zwischen den dunklen Stahlsprossen sind in den leuchtenden Primärfarben Rot, Blau oder Gelb gehalten und wecken die Assoziation zu Gemälden von Mondrian. Die Fassade vor dem Atelier ist großflächig mit Drahtglas gefüllt.
Obwohl sie mit dem Haus die Möglichkeiten industriell gefertigter Baumaterialien demonstrieren wollen, gelingt es den Architekten nicht, ausschließlich darauf zurückzugreifen. Zahlreiche Bauteile müssen als zeitaufwändige Einzelanfertigungen hergestellt werden. Auch die Montage der als Fertigprodukt bezogenen Fenster und deren Anschluss an die Stahlkonstruktion erfordern viel Schweißarbeit von Hand. Ähnlich wie Farnsworth ist auch das Eames House zuallererst ein Architekturmanifest und ein Experiment, das die Bauphysik ignoriert. Schon bald nach Bezug stellen sich erhebliche Bauschäden ein. So berichten Marilyn und John Neuhart in ihrem Buch über das Gebäude von größeren Wassermengen, die bei jedem stärkeren Regenfall durch das Flachdach eindringen und neben nassen Vorhängen zu einem bald unbrauchbaren Fußboden führen. Wie beim Farnsworth House jedoch schmälern diese Schäden nicht die herausragende Bedeutung des Bauwerks für die Architektur des 20. Jahrhunderts.



1.2.13



1.2.14

Die neue Transparenz – Glas als Symbol

Die Mitte der 1970er-Jahre aufkommende Kritik an der Glasarchitektur richtet sich nicht allein gegen die stereotypen Rasterfassaden. Als Konsequenz der beiden Ölkrisen rückt nun der Energieaspekt schlagartig ins Rampenlicht. Galt es bis zu dieser Zeit noch als fortschrittlich, innerhalb eines allseitig versiegelten Gebäudes mit Hilfe energieverschlingender Maschinen jedes gewünschte Klima herzustellen, so zwingen jetzt in zahlreichen hoch entwickelten Ländern einschneidende Vorschriften zu einem maßvollen Umgang mit den Ressourcen. Die Ganzglasfassade wird in Frage gestellt und bereits das Fenster als Energieleck betrachtet. Doch die vorübergehende Abkehr vom Glas zwingt die Industrie zum Handeln. Mit großem Forschungsaufwand werden effektivere Wärme- und Sonnenschutzgläser entwickelt – ein ungeheurer Innovationsschub ist die Folge.
Aufgrund ihrer größeren Tageslichtausbeute, aber auch wegen geänderter ästhetischer Vorstellungen sind nun getönte oder verspiegelte Scheiben weit weniger gefragt als vollkommen durchsichtige. Zusammen mit den verbesserten Wärme- und Sonnenschutzbeschichtungen, die beinahe unsichtbar auf die Gläser aufgebracht werden, führen enorme Fortschritte im konstruktiven Bereich zu grundsätzlich neuen Möglichkeiten in der Glasarchitektur. Die vollkommene Auflösung der Gebäudehülle, ein ewiger Traum der modernen Architektur, steht vor der Verwirklichung. Das Image des Baustoffs Glas wandelt sich erneut, bald ist es wieder derart en vogue, dass es kaum noch ein wirkliches Prestigeprojekt gibt, das nicht mehr oder minder stark von diesem Material geprägt wird. Gerade zahlreiche Renommierbauten werden seit Mitte der 1980er-Jahre dazu genutzt, konstruktives Neuland zu betreten, eine regelrechte Jagd nach Sensationen und Höchstleistungen beginnt. Das gilt ganz besonders auch für die »Grands Projets de l'Etat« des französischen Präsidenten François Mitterand in Paris, wo 1986 mit den hinterspannten Glasfassaden der Gewächshäuser am Museum für Wissenschaft und Technik im Pariser Parc-de-La-Villette neue Dimensionen im konstruktiven Glasbau erreicht werden (Abb. 1.2.67, S. 55). Wie nie zuvor symbolisiert das Material Glas dank seiner neuen Möglichkeiten den technischen Fortschritt, die Wissenschaft, aber auch gesellschaftliche Werte. Günter Behnisch etwa will mit seinem transparenten Bundestag in Bonn demokratische Ideale versinnbildlichen, ein Gedanke, den einige Jahre später Norman Foster bei seiner gläsernen Kuppel über dem Berliner Reichstag aufgreift (Abb. 1.2.19), während in Leipzig die spektakuläre Messehalle von Gerkan, Marg & Partner (gmp) vom kommenden Wohlstand in den neuen Ländern nach der Wiedervereinigung künden soll (Abb. 1.2.18, siehe auch Beispiel 38, S. 325ff.). Der Volkswagen-Konzern und sein Architekt Gunter Henn beabsichtigen

1.2.15

1.2.16

in ihrer gläsernen Manufaktur in Dresden aufwendige Produktionsprozesse offenzulegen um damit für die Qualität der dort produzierten Autos zu werben, gleichzeitig aber auch ökologisch und sozial verträgliche Abläufe zu demonstrieren (Abb. 1.2.20). Und für Toyo Ito ist Glas wie kein anderer Baustoff dazu geeignet, die Komplexität der heutigen Gesellschaft zu repräsentieren. An den Fassaden seiner großartig filigranen Mediathek in Sendai experimentiert der japanische Architekt mit verschiedenen Stufen der Transparenz, die er durch Bedrucken von Glas mit unterschiedlichen Rastern, die Verwendung von Profilglas und durch Interferenz verschiedener Schichten erreicht (Abb. 1.2.21). Die resultierenden vielschichtigen Raumeindrücke, all die Spiegelungen und Reflexe stehen für ihn für die Pluralität der Gemeinschaft, aber auch für die Thema Virtual Reality im Zeitalter von Internet und Computer.

Eines der ersten Bauwerke, das 1988 das Material Glas (wieder) ins Bewusstsein einer breiten Öffentlichkeit bringt, ist die neue Eingangspyramide des Louvre (Abb. 1.2.16), die ebenfalls wie die neue Nationalbibliothek im Rahmen der »Grands Projets de l'Etat« entsteht. Auch Ieoh Ming Pei, ihrem Erbauer, schwebte, wie schon so vielen anderen Architekten vor ihm, der Traum vom gläsernen Kristall vor, als er die prägnante Landmarke im Zuge der Neuorganistation des Museums entwarf. Keiner seiner Vorgänger aber hatte die Möglichkeit, seinen Traum mit einem vergleichbaren Aufwand an Geld und technologischem Know-how zu verwirklichen. Nichts war für das neue Wahrzeichen von Frankreichs bedeutendstem Museum zu teuer. Um störende Reflexe zu vermeiden und somit die größtmögliche Transparenz zu erzielen, forderte der Architekt von den beteiligten Ingenieuren und Firmen absolut ebene Flächen, von der Industrie ließ er zu diesem Zweck eigens ein besonders glattes und weißes Glas entwickeln. Und auch an die Tragkonstruktion aus Stahl – die dem Wesen eines Kristalls entsprechend keine Unterscheidung in Haupt- und Nebenträger zeigt – stellte er höchste Ansprüche hinsichtlich der Präzision.

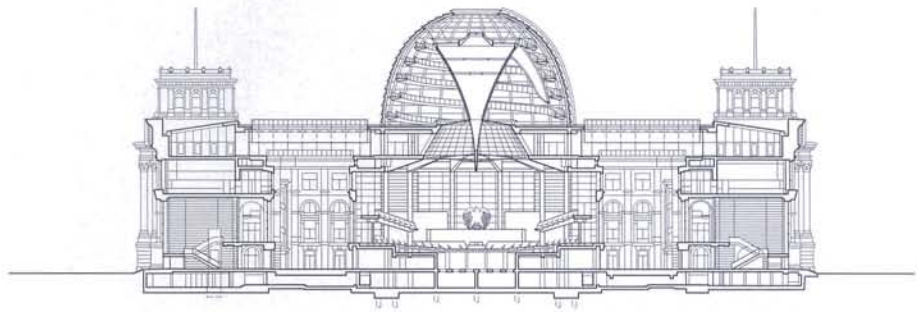
Kein anderes Projekt aber demonstriert so augenfällig die enorme Bedeutung von Glas für ein Prestigebauwerk kurz vor der Jahrtausendwende wie die neue französische Nationalbibliothek in Paris-Tolbiac (Abb. 1.2.15). Trotz der funktionalen Probleme, die die Lagerung der empfindlichen Druckerzeugnisse hinter Glas mit sich bringt, ist es für den Architekten Dominique Perrault (und seinen Mentor

1.2.17

1.2.18

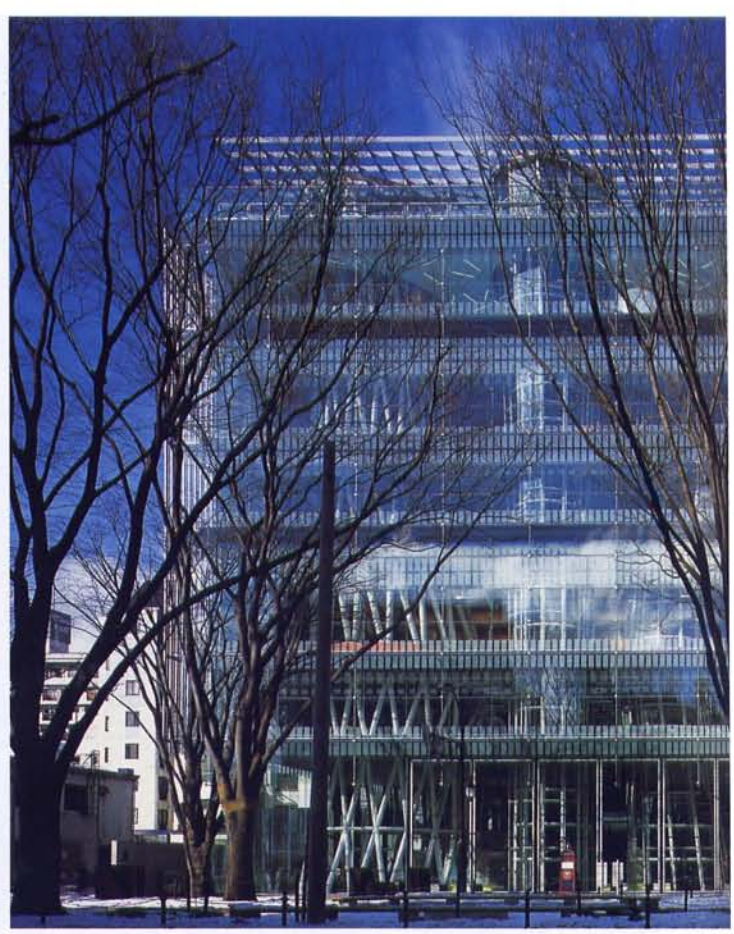
1.2.15 Bibliothèque Nationale François Mitterand, Paris 1997, Dominique Perrault
1.2.16 Louvre Pyramide, Paris 1990, Ieoh Ming Pei
1.2.17 Niederländische Botschaft, Berlin 2003, OMA Rem Koolhaas
1.2.18 zentrale Eingangshalle der Neuen Messe Leipzig 1996, von Gerkan Marg und Partner

François Mitterand) kaum vorstellbar, die vier winkelförmigen Türme, die das Buch als Kulturgut, gleichzeitig aber auch die geistige Größe der »Grande Nation« verherrlichen sollen, mit einem anderen Material zu verkleiden als dem angesagten transparenten Baustoff.
In den Augen von Günter Behnisch wiederum ist Glas der Baustoff, der dem Anspruch der Demokratie am besten gerecht wird. Bei seinen einige Jahre vorher vollendenten Bundestagsbauten in Bonn (1993, siehe Beispiel 22, S. 269ff.) nutzt er die Transparenz im wörtlichen wie im übertragenen Sinn, um ein Parlament zu errichten, das zumindest optisch offen ist für alle Menschen und somit die bildhafte Kontrolle der gewählten Volksvertretung symbolisiert. Gleichermaßen spielt für die Planer aber auch die Öffnung zur Landschaft mit den Rheinauen eine wichtige Rolle. Auf beeindruckende Weise realisieren die Architekten trotz aller Sicherheitsauflagen ein gläsernes Parlament, dem trotz seiner unbestreitbaren Qualitäten die ursprünglich vorgesehene Nutzung nicht lange vergönnt ist. Bereits vor ihrer Fertigstellung war 1989 der Eiserne Vorhang gefallen, die beiden deutschen Staaten vereinigten sich wieder und wählten Berlin zum neuen Regierungssitz. Die britischen Architekten Foster and Partners gewinnen 1992 den Wettbewerb und werden entgegen ihren ursprünglichen Plänen später von konservativen Politikerkreisen gedrängt, die ursprüngliche, symbolträchtige Glaskuppel wiederherzustellen – ein vermeintlicher Zwang, den Norman Foster nutzt, um ein großartiges Wahrzeichen zu schaffen.
Foster entwirft eine wahre High-Tech-Kuppel (Abb. 1.2.19), die über zwei im Gegensinn gewendelte Rampen offen ist für Besucher, die damit sprichwörtlich den Politikern »auf das Dach steigen«, aber auch einen grandiosen Rundblick über Berlin genießen können. Gleichzeitig dient die Kuppel der Tageslichtnutzung und der Luftzufuhr für ein ausgeklügeltes und nachhaltiges Haustechnik- und Energiesystem. Damit wird die Glaskuppel zum Symbol im doppelten Sinn, für die Regierungsbauten ebenso wie für die ökologische und nachhaltige Nutzung von Energie.
Ebenfalls in Berlin, dessen Wiederaufbau unter den unglücklichen Slogan der »Steinernen Stadt« gestellt worden war, setzt Rem Koolhaas mit der transparenten Niederländischen Botschaft (Abb. 1.2.17) ein markantes Zeichen – für politische Offenheit, aber auch für zeitgemäßes Bauen. Mit Fassaden aus Glas und Aluminium erreicht er eine für eine diplomatische Vertretung auch andernorts ungewöhnliche Transparenz – mit Farbfolien zwischen einzelnen Gläsern gar eine gewisse Heiterkeit. Vor allem bei Hinterleuchtung in der Nacht strahlt das Haus eine sublime Sinnlichkeit aus, die sich bei Tag an dem in tiefes Blau gehüllten Sitzungssaal zeigt.



1.2.19

1.2.20



1.2.21

Große Räume unter Glas

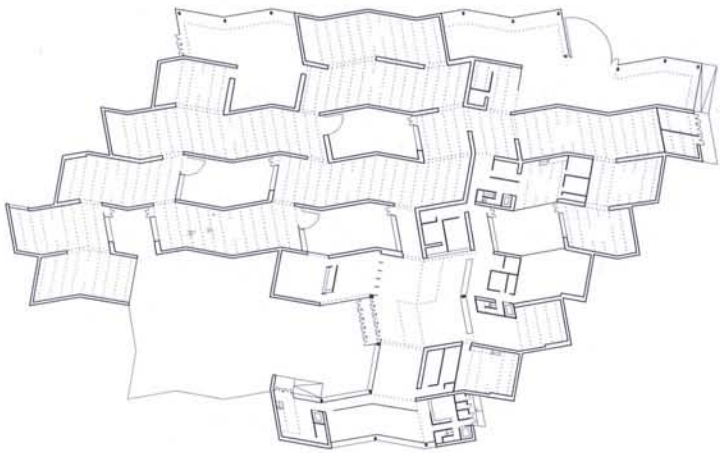
Die technische Entwicklung im konstruktiven Glasbau sowie die kreative Leistung einiger Tragwerksingenieure ermöglichen es, ab den 1980er-Jahren zunehmend auch größere und in der Grundrissform unregelmäßige Räume mit filigranen Glasdächern zu überdecken. Das führt zu neuen Chancen in der Architektur, wie etwa lichtdurchflutete Atrien und überdachte Innenhöfe.
Ein frühes, noch immer faszinierendes Beispiel dafür bildet die filigrane Gitterschale des Museums für Hamburgische Geschichte (1989) von Gerkan Marg und Partner und Jörg Schlaich (siehe Beispiel 42, S. 340ff.). Aber auch im Louvre in Paris konnten im Zusammenhang mit der Neuorganisation, während der auch Ieoh Ming Peis weltbekannte Pyramiden entstanden (Abb. 1.2.16), die monumentalen Innenhöfe Cour Marly und Cour Puget mit filigranen Glasdächern geschlossen und zu attraktiven Ausstellungsräumen werden (1993, Architekt: Michel Macary, Tragwerksplanung RFR).
Norman Foster nutzt den 6700 Quadratmeter großen Innenhof des Britischen Museums in London bei dessen Neukonzeption als großzügige Verteilerzone und überdeckt ihn zusammen mit den Ingenieuren von Buro Happold mit einem spektakulären Glasdach, das den außermittig angeordneten historischen Lesesaal umschließt (Abb. 1.2.23). Aus dem unregelmäßigen Grundriss resultiert eine komplexe Geometrie, welche die Planer mit einer selbsttragenden, steifen Gitterschale aus Dreiecken bewältigen und mit mehr als 3000 Isolierglasscheiben eindecken, von denen keine der anderen gleicht. Nach oben zum Himmel bildet die Netzstruktur des Tragwerks zusammen mit den aus Sonnenschutzgründen weiß bedruckten Gläsern einen ebenso lichtdurchlässigen wie räumlich wirksamen Abschluss, eine Art transluzenten Schleier. Besonders im Zusammenspiel mit historisch wertvoller Bausubstanz garantieren die aufgelösten Glasdächer nicht nur die möglichst große Ausbeute an Licht, sondern auch ein verträgliches Nebeneinander von Alt und Neu.
Wie diesen Eingriffen in den Bestand gelingt es auch einigen komplett neuen Bauwerken, an die Tradition der großen Glasdächer des 19. Jahrhunderts – die Gewächshäuser, Passagen und Bahnhofshallen – anzuknüpfen.
Zu den faszinierendsten darunter zählen zweifellos die transparente Erschließungshalle der Neuen Messe in Leipzig (1996, siehe Beispiel 38, S. 325ff.) und der Waterloo International Terminal in London, der sich gleich einem Reptil durch die enge Bebauung entlang der Gleise schlängelt und mit seinem von außen nach innen wechselnden Tragwerk deutliche Züge der High-Tech-Architektur zeigt (1994, siehe Beispiel 39, S. 328ff.).
Auch Meinhard von Gerkan bezieht sich mit seinem neuen Berliner Hauptbahnhof (Lehrter Bahnhof, Abb. 1.2.22) und dessen gebogener, dem Gleisverlauf folgenden Halle auf die Tradition der gläsernen Bahnhofshallen vergangener

1.2.22

Zeiten. Unter dem Motto Renaissance der Bahnhöfe will er an die Kultur der alten Stationen anknüpfen, gleichzeitig aber die kühnen Konstruktionen von damals weiterentwickeln. Zusammen mit den Ingenieuren Jörg Schlaich und Hans Schober kreieren die Architekten des Hamburger Büros gmp ein Tragwerk, das sechs Gleise in einem Bogen überspannt – eine filigrane Schalenkonstruktion als Weiterentwicklung der Gitternetzschale des erwähnten Museums für Hamburgische Geschichte. Eine Konstruktion, die ebenso besticht, wie sie – aus bestimmten Perspektiven betrachtet, mit all ihren Überlagerungen von tragenden Stahlteilen – die aktuellen Grenzen einer vollkommen aufgelösten Architektur aufzeigt.

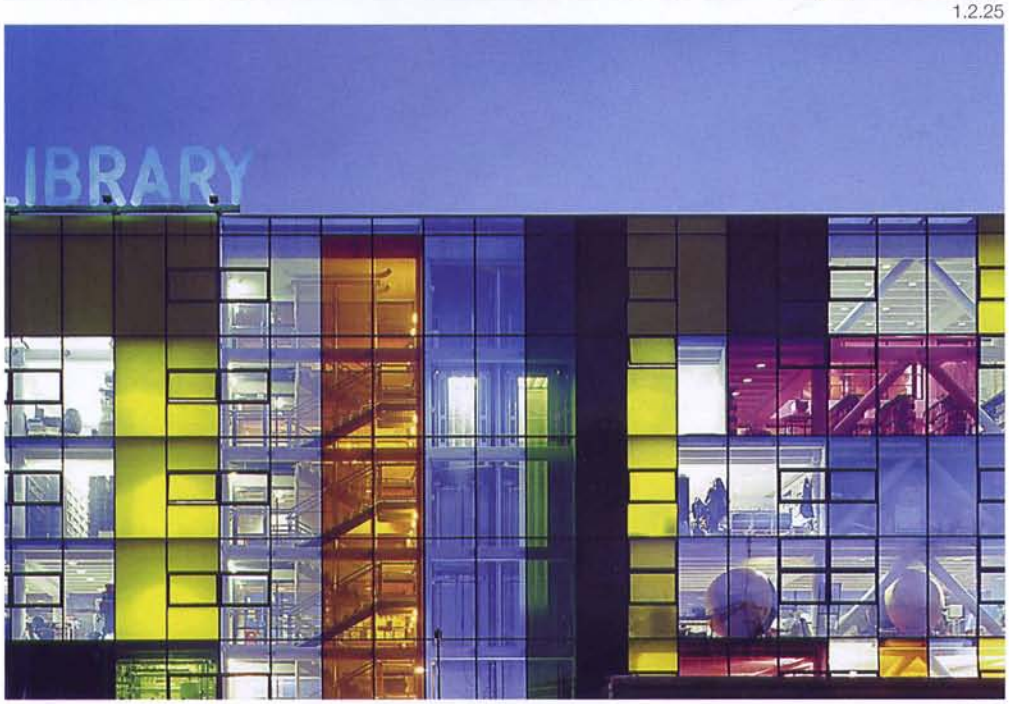
1.2.19 Deutscher Bundestag, Berlin 1994–1999 Foster and Partners, Längsschnitt
1.2.20 Gläserne Manufaktur der Volkswagen AG, Dresden 2001, Henn Architekten
1.2.21 Mediathek in Sendai/Japan 1995–2001, Toyo Ito
1.2.22 Hauptbahnhof Berlin (Lehrter Bahnhof), Berlin 2006, von Gerkan Marg und Partner
1.2.23 Innenhof des British Museum, London 1999–2001, Foster and Partners

1.2.23



1.2.24

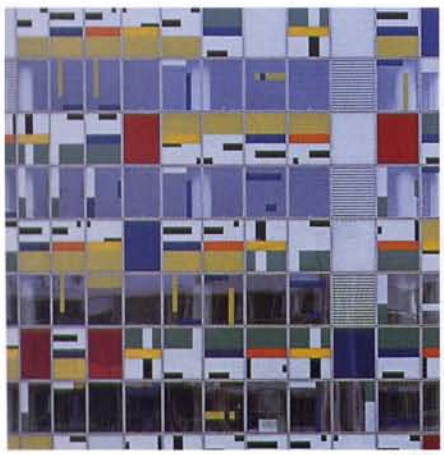
1.2.25



1.2.26

Glas und Farbe

Im Zusammenhang mit einer zunehmenden Betonung der Oberfläche findet auch die Farbe ihren Weg zurück in die Architektur. Und gerade der harte und durchsichtige Baustoff Glas bietet Dank neuer technischer Möglichkeiten faszinierende Optionen, sie an der Fassade zu verwenden: Durch farbige Folien im Verbundglas, durch Einbrennprozesse, vor allem aber durch das Siebdruckverfahren lassen sich die unterschiedlichsten Effekte erzielen.
Für die Berliner Architekten Matthias Sauerbruch und Louisa Hutton ist die Farbe das wesentliche Stilmittel ihrer Architektur. Bei dem Forschungsgebäude für die Firma Boehringer Ingelheim im schwäbischen Biberach verwenden sie rückseitig bedruckte Gläser, um ein irritierendes, im ersten Moment kaum erklärbares Muster zu erzeugen, das an eine abstrahierte, extrem vergrößerte Molekularstruktur aus den Labors des Biochemie-Unternehmens erinnert (Abb. 1.2.28 und 1.2.29). Das Motiv überdeckt die gesamte, vollkommen gleichförmig gerasterte Außenhaut und führt zum Verlust jeglicher tektonischer Bezüge. An der Außenhülle der Polizei- und Feuerwache (2004) im neuen Berliner Regierungsviertel verwenden sie beschichtete Gläser, um ein faszinierendes Farbmuster aus Flächen in unterschiedlichen Rot- und Grüntönen zu erzeugen, die gleichzeitig die beiden Nutzer (Feuerwehr und Polizei) repräsentieren (siehe Beispiel 13, S 239ff.). Einen zusätzlichen Reiz erhält die geschuppte Fassade aus den Spiegeleffekten und Reflexionen auf ihren leicht geneigten Oberflächen.
Auch Will Alsop überzieht seine Fassaden mit einem großflächigen farbigen Dekor. Sein treffend Colorium genanntes Bürogebäude (Abb. 1.2.27) steht nach Aufmerksamkeit heischend an prominenter Stelle im Düsseldorfer Medienhafen inmitten der Musterschau internationaler Architekturgrößen. Die einzelnen Scheiben sind hier jedoch nicht in sich homogen beschichtet, wie bei den Beispielen von Sauerbruch und Hutton, sondern bedruckt mit einem grafischen, an Mondrian erinnernden Motiv. Insgesamt 17 verschiedene Motive sind auf vielfältige Weise derart kombiniert, dass ein



1.2.27

1.2.28

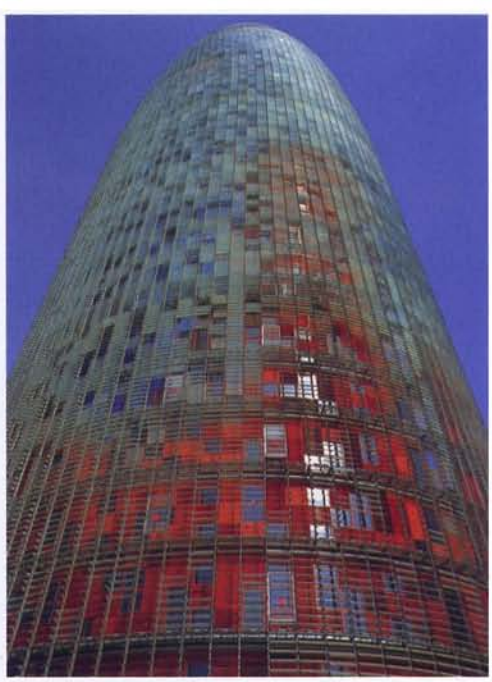
1.2.29

vom konstruktiven Ordnungsraster losgelöstes Muster entsteht – ein Muster als reine Dekoration, ähnlich einer modischen Tapete.
Das Bedrucken der Gläser im Siebdruckverfahren bietet die Möglichkeit, durch Mischen beinahe jeden Farbton erzeugen zu können; gleichzeitig garantiert es ein relativ neutrales Licht im Innenraum, da die einzelnen, aufgedruckten Rasterpunkte weitgehend lichtundurchlässig sind. Anders dagegen bei der Verwendung farbiger Folien zwischen den Gläsern, die ein farbiges Licht erzeugen. Deshalb setzen sie Architekten wie Rem Koolhaas bei seiner Niederländischer Botschaft in Berlin oder Will Alsop bei der Peckham Library in London (Abb. 1.2.26) nur punktuell ein, um Akzente zu setzen. David Adjaye verwendet mit Folien erzeugte farbige Gläser, um seinen Idea Stores (siehe Beispiel 12, S. 236ff.) – Stadtteilbibliotheken in problematischen Migrantenvierteln – eine gewisse Heiterkeit zu verleihen und damit die Hemmschwelle beim Betreten herabzusetzen. Er benutzt die Farbe in einem wechselnden Rhythmus mit klaren Gläsern und erreicht durch die bis zu viermalige Überlagerung von nur vier verschiedenen Folien eine unglaubliche Variationsbreite an Farbmustern.
Auf die Kombination beider Verfahren – Druck und Folie – setzen die spanischen Architekten Mansilla und Tuñón bei ihrem Kunstforum MUSAC im spanischen León (Abb. 1.2.24 und 1.2.25). Neben opaken Verglasungen aus farbig bedruckten Gläsern verwenden sie durchsichtige VSG-Scheiben mit dazwischengelegten Farbfolien, wobei die gewählten Farbtöne den Bezug zum Ort herstellen sollen, indem sie sich auf die Farbmosaike in den Fenstern der Kathedrale von León beziehen.

Ein Muster aus mundgeblasenen und durchgefärbten Gläsern, zwischen Acrylglas-Stegplatten gesteckt, verwenden Staib Architekten und Günter Behnisch, um einen heiteren Kirchenraum in Radebeul bei Dresden zu erzeugen, einen Ort der »Weite atmet und Lichtquell« ist, wie es der Bauherr gefordert hatte (Abb. 1.2.30). Es entsteht ein faszinierendes Spiel aus farbigem Licht auf Boden, Bänken und Altarwand, das sich mit dem Lauf der Sonne ständig verändert.
Auch Jean Nouvel setzt beim Torre Agbar, dem neuen Wahrzeichen Barcelonas, auf changierende Farben (Abb. 1.2.31). Er erreicht sie, indem er die innere Schale seines sich nach oben verjüngenden Turms mit farbigen Trapezblechen verkleidet und außenseitig eine zweite Schicht mit Glaslamellen davor setzt.

1.2.24 MUSAC, Zentrum für Moderne Kunst Castilla y León, León/Spanien 2004, Mansilla + Tuñón
1.2.25 MUSAC, Zentrum für Moderne Kunst Castilla y León, León/Spanien
1.2.26 Peckham Library, London 1999, Alsop + Störmer
1.2.27 Bürogebäude Colorium, Düsseldorf 2001, Alsop Architects
1.2.28 pharmakologisches Forschungszentrum, Biberach 2003, Sauerbruch Hutton
1.2.29 pharmakologisches Forschungszentrum, Sauerbruch Hutton
1.2.30 katholische Kirche, Radebeul 2001, Staib Architekten mit Günter Behnisch
1.2.31 Torre Agbar, Barcelona 2005, Jean Nouvel

1.2.30

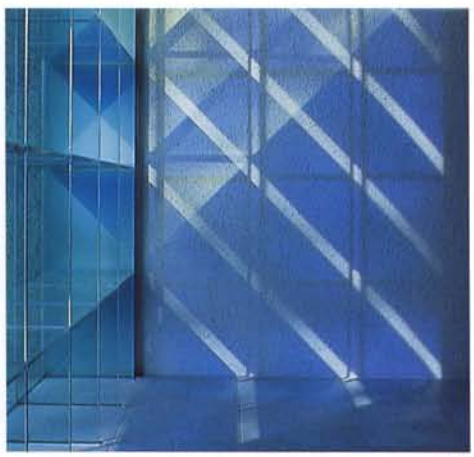


1.2.31

Transluzenz und Reflexion

Die kreative Verwendung von Glas an der Fassade beschränkt sich nicht auf die Auflösung der Außenhaut oder die Betonung durch Verspiegelung. Bereits während der 1920er-Jahre gibt es Bestrebungen, die stofflichen Eigenschaften des Materials durch bewusste Reflexionen erlebbar zu machen, wie es Äußerungen und Skizzen von Bruno Taut und anderen belegen. Pierre Chareau schafft 1931 an der Maison de Verre eine großartige Hülle aus Glassteinen, die in der beengten Innenhofsituation eine optimale Belichtung bei gleichzeitigem Schutz vor Einblicken gewährt (Abb. 1.2.38). Die gestalterischen Möglichkeiten transluzenter Wände, die das Licht durchscheinen lassen, ohne durchsichtig zu sein, die also selbst stofflich in Erscheinung treten, sind hier optimal ausgeschöpft. In bewusstem Kontrast dazu stehen die kleinen Öffnungselemente aus Klarglas. Viele Glasbauten der nachfolgenden Jahrzehnte zeigen von diesen Qualitäten nichts mehr. Ihre getönten oder verspiegelten Fassaden wirken vergleichsweise stumpf.
Seit Mitte der 1980er-Jahre aber gewinnen neben der größtmöglichen Transparenz auch die tranzluzenten Eigenschaften von Glas wieder an Bedeutung und in allerjüngster Zeit, der Ära eines neuen Materialbewusstseins gewissermaßen, wird zunehmend auch das Sichtbarmachen der stofflichen Dichte und Materialität des an sich durchsichtigen Baustoffs Glas zu

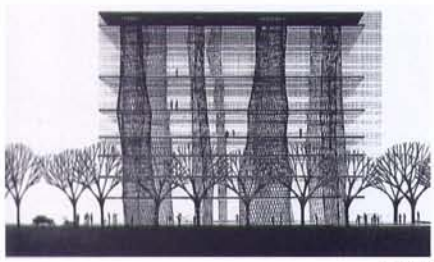
1.2.32



1.2.33

einem zentralen Thema. Eine Vielzahl neuer Produkte und Verfahren schafft dafür die Voraussetzungen.
Die Möglichkeiten des Ätzens und Sandstrahlens, der Serigraphie und anderer Drucktechniken, des Beschichtens mit Hologrammen oder dichroitischen Filmen, verführen zum Experimentieren. Viele Architekten besinnen sich nun wieder darauf, dass mit Glas zu arbeiten auch das Gestalten mit dem Licht heißt, ja, dass das transparente, reflektierende Material erlaubt, feinste Veränderungen des Lichts sichtbar zu machen.
Einige eindrucksvolle Inszenierungen in dieser Richtung verwirklicht der Künstler und Architekt James Carpenter. Mit zwei Fenstern, die er 1985–1987 für eine Kapelle in Indianapolis entwirft (Abb. 1.2.33), nutzt er auf ebenso intelligente wie eindrucksvolle Weise die Möglichkeiten dichroitischer Beschichtungen aus verschiedenen Metalloxiden, die das Licht durch Interferenzvorgänge in die Spektralfarben zerlegen und es je nach Einfallswinkel passieren lassen oder reflektieren. Die daraus resultierenden ständig wechselnden Farbeffekte beleben den ansonsten schlicht gestalteten weißen Innenraum auf dramatische Weise – das Material Glas eröffnet dreidimensionale und kinetische Möglichkeiten.
Andere Architekten verwenden geätzte oder sandgestrahlte Scheiben dazu, ihre Baukörper bei bestimmten Lichtverhältnissen besonders

1.2.34



1.2.35

leicht und leuchtend erscheinen zu lassen. Beim Veranstaltungs- und Kongresszentrum von Rafael Moneo in San Sebastián (Abb.1.2.41), der gebogene und sandgestrahlte Gläser verwendet, aber auch bei einigen Museumsbauten ist dieser Effekt geschickt mit einer raffinierten Belichtung der Innenräume kombiniert. Die Kunstsammlung Goetz in München von Herzog & de Meuron liegt als frei stehender Baukörper in einem parkähnlichen Garten (1994, Abb. 1.2.34). Zwei opake, grüngetönte Glasbänder umziehen das Gebäude, getrennt von einer Verkleidung aus Birkenholzplatten. Je nach Lichtverhältnissen zeigt sich das Haus mal als geschlossenes, flächiges Volumen, dann wieder transparent und schwebend. Die Verglasung im Erdgeschoss ist gleichzeitig der Lichtgaden des Untergeschosses. Die in ihrer Form schlichte quaderförmige Box wirkt nicht steril, sondern sinnlich, leicht und grazil.

Mit seinem Kunsthaus in Bregenz (1997, Abb. 1.2.37) gelingt Peter Zumthor die überzeugende Synthese eines massiven Betonbaukörpers mit einer gläsernen Außenhaut. Durchscheinend, aber nicht transparent, ändert diese je nach Blickwinkel, Tageszeit und Lichtverhältnissen ihr Aussehen. Mal spiegelt oder glänzt sie und reflektiert die Sonnenstrahlen, dann wieder wirkt sie stumpf und opak. Die allseits gleichförmige Fassade aus geätzten Glastafeln, an der sich weder Sockel noch Gesims abzeichnen, ist wie eine schützende Hülle um das Haus gelegt. Der Graubündner Architekt aber nutzt sie auch zur raffinierten Belichtung der Ausstellungsräume, in welche das Tageslicht über Zwischengeschosse und Lichtdecken gelangt. Im Gegenlicht hebt sich der Dachrand als leuchtender Kranz ab. Konturen verschwimmen, der Übergang zum Himmel wird unscharf.
Einen ähnlichen, wenn auch gesteigerten Effekt der Entmaterialisierung und Auflösung der Gebäudekanten hatte Jean Nouvel in seinem Wettbewerbsprojekt für den Tour Sans Fins in Paris La Défense (1989) vorgesehen. Der unten massive und erdverwurzelte Turm sollte sich nach oben hin in einer luftigen Konstruktion zusehends aufzulösen. Nouvel schlug dafür serigraphiertes Glas vor, dessen Bedruckung zur Spitze hin immer dichter wird und somit immer mehr Farbnuancen widerspiegelt. Gleichzeitig sollte dieser sich verflüchtigende Charakter durch die Höhenabstufung mittels verschiedener Glasarten erreicht werden.

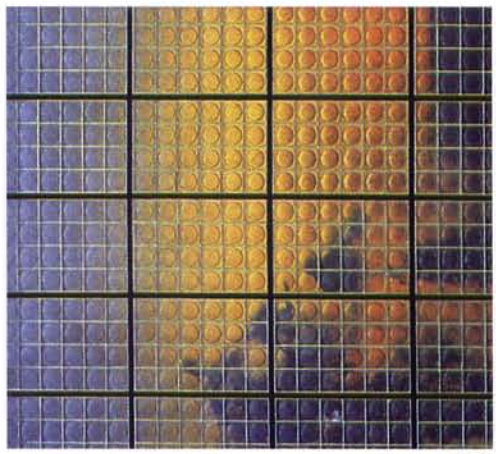
Eine reizvolle Möglichkeit, die Materialeigenschaften von Glas zu thematisieren, lässt sich mit Gussglas erreichen, beispielsweise in Form der im Moment so beliebten und preisgünstigen Profilbaugläser (siehe Beispiel 16, S. 248ff. und Beispiel 19, S. 257ff.). Richard Rogers dagegen erreicht eine transluzente Hülle am Lloyd's Building in London (1986, Abb. 1.2.36) mit einem speziell gefertigten, stark strukturier-

1.2.32 Dichroic Light Field, New York 1994, James Carpenter
1.2.33 Sweeny Chapel, Christian Theological Seminary, Indianapolis / Indiana 1985–87, James Carpenter Architekt: Edward L. Barnes, New York, Modellfoto
1.2.34 Kunstsammlung Goetz, München 1994, Herzog & de Meuron
1.2.35 Mediathek-Projekt in Sendai/Japan, Toyo Ito
1.2.36 Lloyd's Building, London, Richard Rogers 1982–86, Fassadendetail
1.2.37 Kunsthaus Bregenz 1997, Peter Zumthor, Fassade

1.2.36

1.2.37

ten Gussglas. In den gleichen Bereich fallen auch die Effekte, die sich mit Glassteinen erzielen lassen. Herstellungsbedingte Unregelmäßigkeiten der Oberflächen beleben hier das Zusammenspiel von Transparenz, Spiegelung, Textur und changierenden Farben. Ein eindrucksvolles Beispiel dafür gibt Renzo Pianos Hermès-Kaufhaus in Tokios Shoppingviertel Ginza mit seiner über zehn Geschosse reichenden Glasstein-Hülle (Abb. 1.2.39 und 1.2.40). Nachts leuchtet das Haus, das deutliche Bezüge zu Pierre Chareaus Maison de Verre (Abb. 1.2.38) erkennen lässt, wie eine überdimensionale Laterne, während bei Tag die Außenhaut vor allem von innen betrachtet zu einem faszinierenden Farbenspiel führt.
Ebenfalls für ein europäisches Modelabel in Tokio, nämlich an der neuen Fashionmeile Omotesando, entwarfen Herzog & de Meuron einen gläsernen Kristall als Flagshipstore (siehe Beispiel 01, S. 202ff.). Dieser zeigt ein besonders raffiniertes Spiel mit der Transparenz, die aus dem Wechsel von glatten und gebogenen Gläsern und der damit verbundenen permanenten Überlagerung von Durchsicht und Spiegelung sowie optischen Verzerrungen resultiert. Die Architekten ließen dafür eigens speziell verformte Gläser entwickeln. Mehr noch als Pianos Hermès-Fassaden verkörpert der funkelnde Kristall für Prada (ganz bewusst) den reinen Luxus.
Auch die heute wieder aufkommenden und beliebten Ornamente können, auf Glas aufgebracht, zu einem durchscheinenden Schleier führen. Beim finnischen Pavillon für die Expo 2000 führt die Überlagerung der mit Pflanzenmotiven bedruckten Gläser mit den Schatten der wirklichen Bäume zu interessanten Effekten.
Auch Wiel Arets greift für die Hülle der neuen Universitätsbibliothek in Utrecht auf ein pflanzliches Motiv zurück – Weidenzweige, die er in die Scheiben ätzen lässt –, und bindet damit die unterschiedlichen Materialien Glas und Beton zusammen, indem er sie mit dem gleichen Muster überzieht (Abb. 1.2.46). Darüber hinaus spielt der Architekt mit dem abstrahierten Pflanzenmotiv auf den ursprünglich vor den Fenstern geplanten Grünzug an.



1.2.38

1.2.39

1.2.38 Maison de Verre, Paris 1931–32, Pierre Chareau
1.2.39 Kaufhaus Hermès, Tokio 2001, Renzo Piano Building Workshop
1.2.40 Kaufhaus Hermès, Tokio
1.2.41 Veranstaltungs- und Kongresszentrum, San Sebastián/Spanien 1989–1990, Rafael Moneo
1.2.42 Cartier Lagergebäude, Fribourg / Schweiz Jean Nouvel, Fassadenausschnitt
1.2.43 Hochhaus in Shibuya, Tokio
1.2.44 Medienhaus DuMont Schauberg, Köln 1990, Jean Nouvel, Wettbewerbsprojekt
1.2.45 Zentrum für Kunst und Medientechnologie (ZKM), Karlsruhe 1989, Rem Koolhaas, Wettbewerb, erster Preis, nicht ausgeführt
1.2.46 Universitätsbibliothek, Utrecht/Niederlande 2001–2004, Wiel Arets

1.2.40

1.2.41

Die Fassade als Display – Die gläserne Haut als Informationsträger

Die Fassade als Bedeutungs- und Informationsträger, ein uraltes Thema in der Architektur, erhält in der heutigen Mediengesellschaft aufgrund sich ändernder Wertvorstellungen und im Zusammenhang mit einer zunehmenden Betonung der Oberfläche wieder mehr und mehr an Gewicht. Wie kaum ein anderer Baustoff bietet Glas die vielfältigsten Möglichkeiten für die Übermittlung statischer und bewegter Darstellungen: Es lässt sich bedrucken oder ätzen, mit dazwischengelegten Folien laminieren oder mit Fließkristallen und Hologrammen auf Dünnfilmen im Scheibenzwischenraum beschichten.

Bereits seit Ende der 1980er-Jahre gibt es verschiedene viel versprechende Impulse für elektronische Medienfassaden mit bewegten Bildern, etwa Rem Koolhaas Vorschlag für eine »kommunizierende« Gebäudehülle am Zentrum für Kunst- und Medientechnologie (ZKM) in Karlsruhe (Abb. 1.2.45).

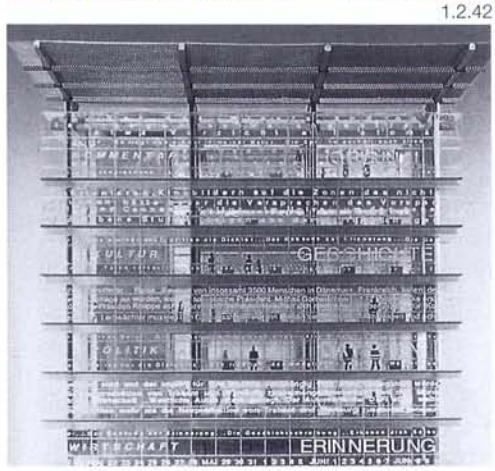
Doch ebenso wie dieser seinerzeit zukunftsweisende Entwurf bleiben auch andere ähnliche Konzepte auf dem Papier – oder werden nur stark verstümmelt realisiert, wie Jean Nouvels Fassade für das Berliner Kaufhaus Lafayette. Die technische Umsetzung derartiger Ideen ist aufwendig und der Mehrpreis scheint sich nur selten zu rechnen – außer freilich zu Zwecken der Werbung, wie es vereinzelt gläserne Hochhäuser zeigen, deren gesamte Schauseite bereits als riesige Bildschirme – der Architektur aufgesetzt und ohne jeglichen Bezug zu ihr – dienen (Abb. 1.2.43).

Häufiger als Fassaden mit bewegten Bildern sind deshalb nach wie vor statische Informationen und Dekorationen, die meist auf der Siebdrucktechnik beruhen. Frühe Anregungen in diesem Bereich gehen von Jean Nouvel aus, der in seinem preisgekrönten Wettbewerbsprojekt für den Verlag DuMont Schauberg (1990) eine Gebäudehülle als Überlagerung transparenter Ebenen vorsieht, die sich durch Tiefenwirkung und Gegenlicht, Reflexe und Spiegelungen manifestiert. Die Glasfassaden materialisieren sich durch aufgedruckte Buchstaben und Zeichen und machen das Gebäude selbst zum Symbol seiner Bestimmung als Medienhaus (Abb. 1.2.44). Bei seinem späteren Lager- und Verwaltungsgebäude für den Uhrenfabrikanten Cartier bei Fribourg nutzt Nouvel das verspiegelte Glas, um werbewirksam in überdimensionalen Lettern Logo und Schriftzug des Bauherrn erstrahlen zu lassen (Abb. 1.2.42).

Dekorative Beschichtungen auf Glas, die meist zugleich dem Sonnen- und Sichtschutz dienen, sind in der Architektur mittlerweile weit verbreitet, dienen aber meist mehr als Ornament, denn als Information, wobei die Grenze fließend ist (Abb. 1.2.46).

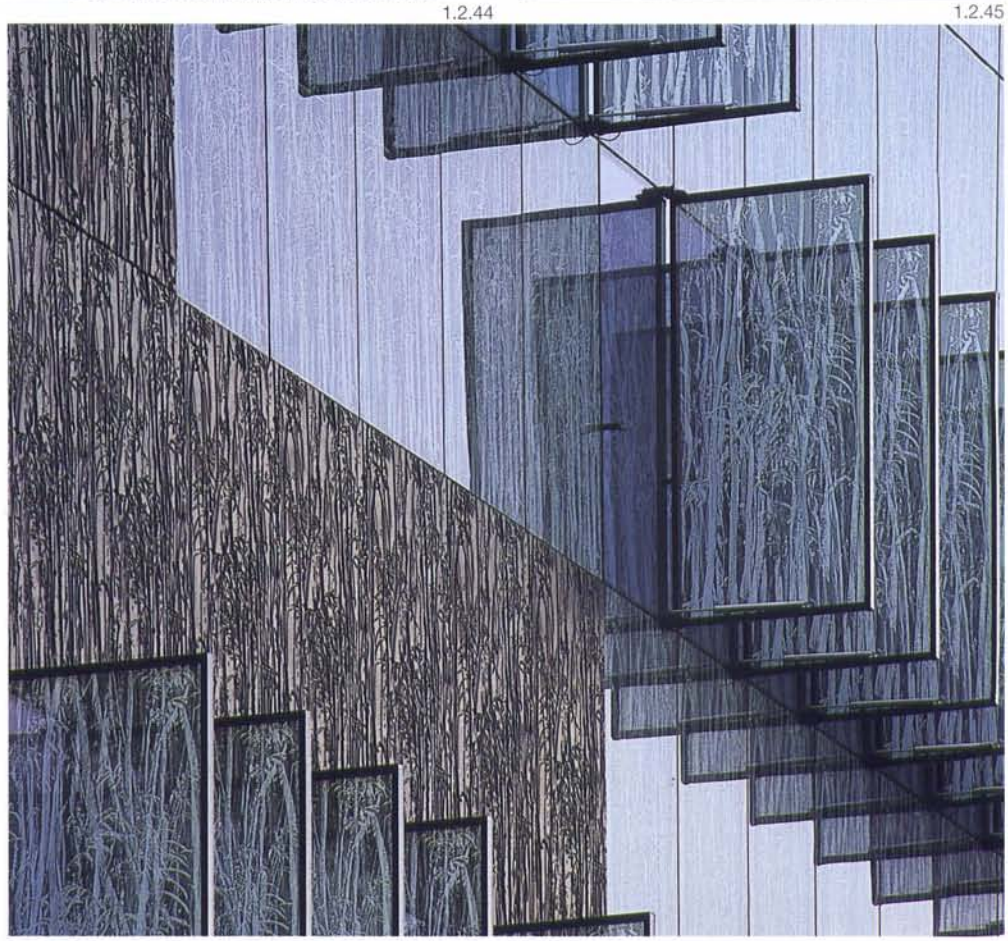
1.2.42

1.2.43



1.2.44

1.2.45



1.2.46

Glas und Energie

Als in den 1970er-Jahren die Energieproblematik als Folge der beiden Ölkrisen erstmals einer breiten Öffentlichkeit bewusst wird, führt dies zu einer vorübergehenden Abkehr von der Verwendung von Glas. Schließlich verursachen die großflächigen Verglasungen der damaligen Zeit enorme Wärmeverluste im Winter und Überhitzungserscheinungen im Sommer. Energieaufwendige Klimaanlagen zur Heizung und Kühlung sind die Folge. Daneben behindern die eingefärbten oder reflektierenden Sonnenschutzgläser den Tageslichteinfall und verursachen somit einen erhöhten Stromverbrauch für Kunstlicht. Da es aber unmöglich ist, auf die positiven Eigenschaften von Glas in der Architektur – allen voran die Transparenz – zu verzichten, wird die Notwendigkeit einer neuen Glasarchitektur evident: Man besinnt sich wieder auf die längst bekannten Möglichkeiten, mit Glas Sonnenenergie einzufangen und somit natürliche Energiequellen umweltschonend zu nutzen. Ebenso wie diese passiven Maßnahmen kommen auch aktive Systeme wie Warmwasserkollektoren oder Photovoltaikanlagen, die das Sonnenlicht direkt in nutzbare Energie umwandeln, nicht ohne den Baustoff Glas aus (Abb. 1.2.52). Schlaglichtartig werden im Folgenden einige Gebäude beispielhaft vorgestellt, um unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten von Glas in solarer Architektur zu demonstrieren. Dabei sind die durch das Glas erzielten Effekte fast immer Teil eines Gesamtkonzepts mit vielfältigen Maßnahmen, auf die in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen werden kann.

In Deutschland entwickelt Thomas Herzog 1979 in Regensburg und 1982 in München eigenwillige Wohnhäuser, die auf thermisch zonierten Grundrissen und einem gestaffelten Übergang von außen nach innen aufbauen und mit großflächigen, nach Süden orientierten Schrägverglasungen für einen möglichst großen Eintrag solarer Energie sorgen (Abb. 1.2.47). Diese passiven Maßnahmen setzt er dabei nicht nur zur Optimierung des Energiehaushalts, sondern gleichzeitig gestaltprägend ein, wie es die keilförmigen Querschnitte verdeutlichen. Ein Solarhaus mit einem ähnlichen Prinzip der Zonierung hatte Frei Otto (zusammen mit Rob Krier) bereits 1969 für sein eigenes Wohnhaus in Warmbronn bei Stuttgart realisiert. Er baute dabei auf seinen eigenen langjährigen Untersuchungen zur Besonnung und Klimakontrolle auf. Auch wenn das frei stehende Einfamilienhaus generell – wegen seiner großen Wärme abstrahlenden Hüllfläche, aber auch wegen des großen Landschaftsverbrauchs und Erschließungsaufwands – keine ökologische Form des Wohnungsbaus darstellt, so werden doch zahlreiche solartechnische Maßnahmen wegen der überschaubaren Größe erstmals an dieser Gebäudeform entwickelt.

Doch auch andere Gebäudetypen eignen sich – die richtigen Bauherrn vorausgesetzt – zum Experiment. Rolf Schoch vom Büro Aarplan aus Bern etwa verwendet 1995 einen nach Süden gerichteten Wärmepuffer an einer ausgesprochen kompakten Reihenhausanlage im schweizerischen Zollikofen, deren Nordseite zusätzlich – um Wärmeverluste zu reduzieren, aber auch aus Schallschutzgründen – in den Hang eingegraben ist.
Einen thermischen Puffer in großem Maßstab nutzen Dietrich Fink und Thomas Jocher (Energiekonzept: Matthias Schuler,Transsolar) bei ihrem 1999 realisierten Entwicklungszentrum in Ingolstadt (Abb. 1.2.49). Eine der gesamten Gebäudelänge vorgelagerte verglaste Halle im Süden dient nicht nur der Erschließung, sondern ist elementarer Bestandteil des energetischen Konzeptes. Die Büros liegen nach Norden ausgerichtet hinter einer hochgedämmten Fassade und profitieren dabei von der blendfreien Belichtung und dem geringen Wärmeeintrag im Sommer. Die aufgeheizte Luft in der Halle wird wie in einem Kamin mittels Zu- und Abluftklappen abtransportiert, im Winter sammelt die gläserne Halle solare Energie und lenkt sie in die Büros.

Als Modellprojekt für ökologisches Bauen ist das 2005 fertig gestellte Umweltbundesamt in Dessau von Matthias Sauerbruch und Louisa Hutton gedacht (Abb. 1.2.48). Neben zahlreichen anderen Maßnahmen setzen die Architekten auf große verglaste Atrien als thermische Übergangszonen. Durch solare Energieeinträge, hochdämmende Außenwände, eine Erdwärmetauschanlage und den Rückgewinn von Abwärme aus der Innenluft erreicht der Verwaltungsbau fast den Energiestandard eines Passivhauses.

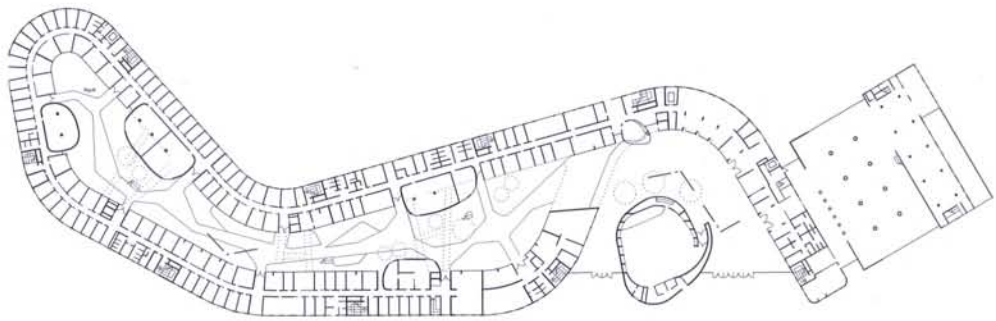
Vor allem im Verwaltungsbau sind im Moment zweischalige Fassadenkonzepte aktuell, wenn auch wegen ihres erhöhten Aufwands nicht ganz unumstritten. In einfacher Version (ohne zusätzliche Technologie) fungieren sie als Wärmepuffer, welche im Winter Wärmeverluste reduzieren und eine passive Nutzung der Sonnenenergie ermöglichen, im Sommer dagegen durch ein gezieltes Abtransportieren der erwärmten Luft dem Schutz vor Überhitzung dienen. Im anderen Extremfall werden sie zum Bestandteil einer dynamisch reagierenden Außenhaut. Grundsätzlich bieten doppelschalige Glasfassaden den Vorteil, einen effektiven Sonnenschutz technisch unproblematisch und windgeschützt integrieren zu können. Der Energieverbrauch für mechanische Lüftung und Kühlung kann durch die natürliche Belüftung des Raums ebenfalls reduziert werden; die Luftströmung bewirkt bei Nacht zusätzlich eine Kühlung der Speichermassen im Gebäude.

Eine der ersten modernen doppelschaligen Fassaden baut das amerikanische Büro Hellmuth Obata and Kassabaum 1980 am Occidental Chemical Center in Niagara Falls. Maß-

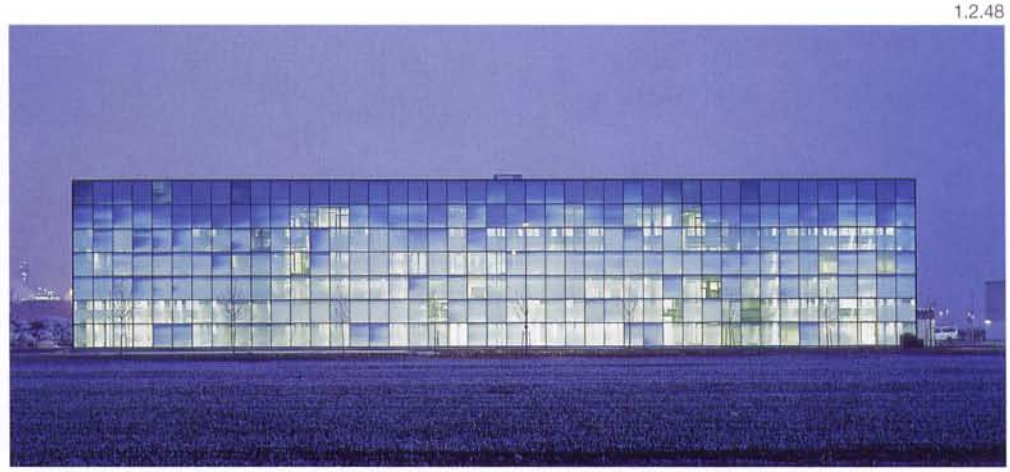
1.2.47

geblich hierfür ist die Idee, ein gleichzeitig transparentes wie energiebewusstes Gebäude zu entwerfen. Die nach ausführlichen Tests gewählte Konstruktion besteht aus einer Zweischeiben-Isolierverglasung an der Außenseite und einer Einfachverglasung innen. Dazwischen befindet sich ein verstellbarer und über Solarzellen automatisch gesteuerter Lamellensonnenschutz; Lüftungsöffungen nach außen gibt es nicht.
Auch das gläserne Verwaltungsgebäude mit quadratischem Grundriss in Würzburg von Webler + Geissler ist mit einer doppelten Glasfassade konzipiert. Hier kann die aufgeheizte Luft über ein verschiebbares Glasdach im Bereich des mittigen Atriums entweichen.
Eine Sonderform der zweischaligen Fassade aus geschosshohen Kastenfenstern entwickeln die Frankfurter Architekten Schneider und Schumacher (in Zusammenarbeit mit Ove Arup, Berlin) im Jahr 2000 für das Verwaltungsgebäude von Braun in Kronberg (Abb. 1.2.50). An warmen Tagen kann die äußere Schicht zur Vermeidung von Überhitzung durch Sonneneinstrahlung im Gebäudeinneren nach außen geöffnet werden, bei kaltem Wetter werden die Wärmeverluste reduziert. Die 12 mm starken Einscheibensicherheitsgläser werden elektronisch gesteuert, während die innere Fassadenschicht zu Lüftungszwecken weiterhin manuell bedient werden kann. Über die technischen Aspekte hinaus hat die Fassade eine besondere Ästhetik: Je nachdem, ob die Flügel geöffnet oder geschlossen sind, und je nach Standpunkt wirkt sie glatt und reflektierend oder geschuppt und transparent. Die zentrale Halle, Pufferzone zwischen Innen- und Außenraum, ist mit automatisch öffenbaren Luftpolsterkissen überdacht, wodurch die wärmeabgebende Außenfläche reduziert wird.

Insbesondere bei Hochhäusern werden doppelschalige Fassaden gern verwendet, weil sie neben den bereits beschriebenen Eigenschaften auch die Möglichkeit bieten, trotz großer Höhe und starkem Wind die Bürofenster individuell öffnen zu können. Beispielhaft dafür stehen die Commerzbank in Frankfurt, die RWE-Zentrale in Essen (siehe Beispiel 27, S. 290ff.) oder die Debis-Hauptverwaltung am Potsdamer Platz in Berlin. Bei dem letzteren 21-geschossigen Büroturm von Renzo Piano ist die Süd- und Westseite mit einer 3400 Quadratmeter umfassenden, energetisch sensiblen Glas-Doppelfassade in Elementbauweise verkleidet. Dabei besteht die innere Schicht aus einer Isolierverglasung, die äußere aus drehbaren Lamellen. Die Doppelfassade unterstützt passiv die Gebäudeversorgung und ist ein wichti-



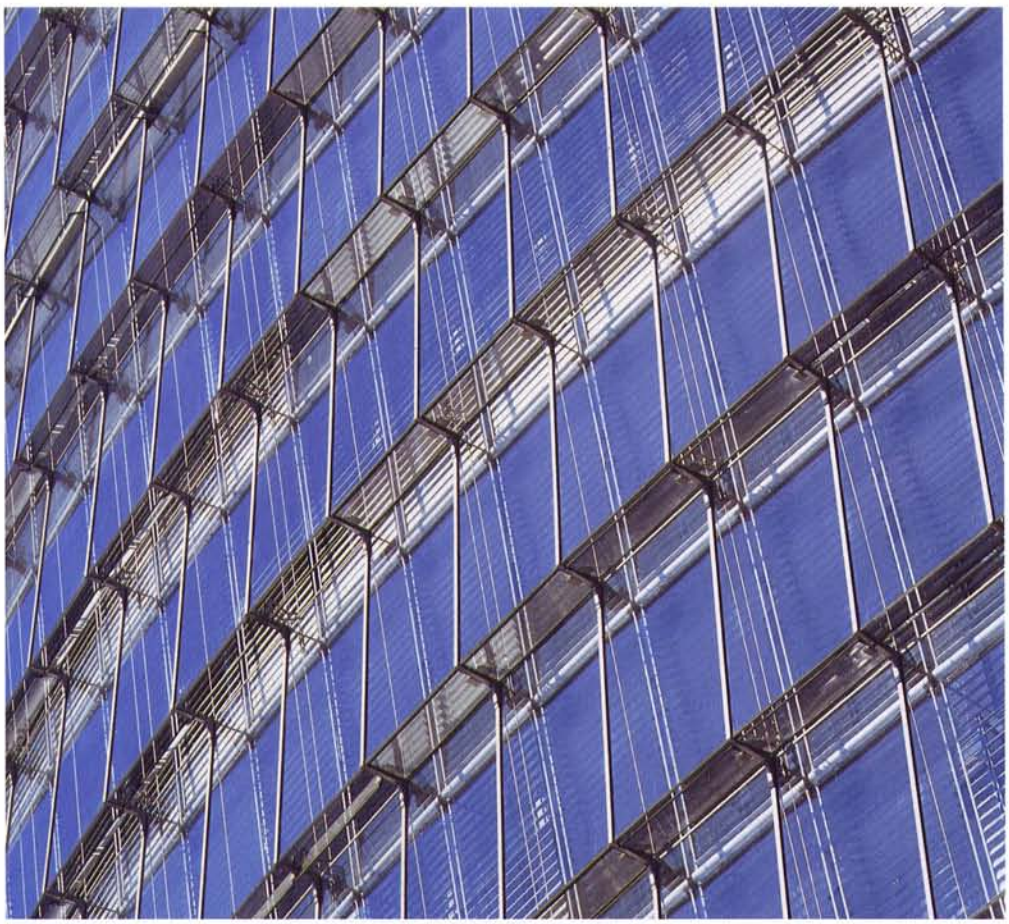
1.2.48



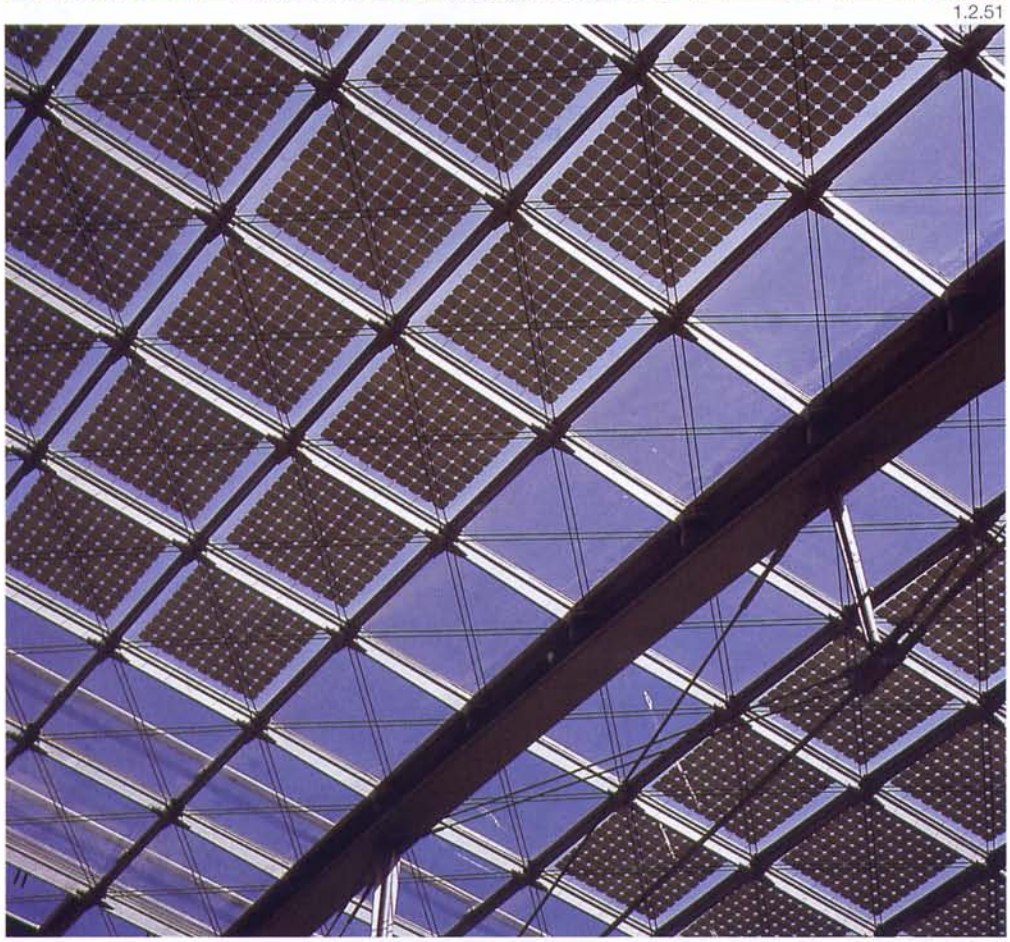
1.2.49

1.2.50

1.2.47 Wohnhaus in Regensburg, 1978–79, Thomas Herzog
1.2.48 Umweltbundesamt, Dessau 2001–2005, Sauerbruch Hutton
1.2.49 Entwicklungszentrum, Ingolstadt 1997–1999, Fink + Jocher
1.2.50 Verwaltungsgebäude, Kronberg 2000, schneider + schumacher



1.2.51



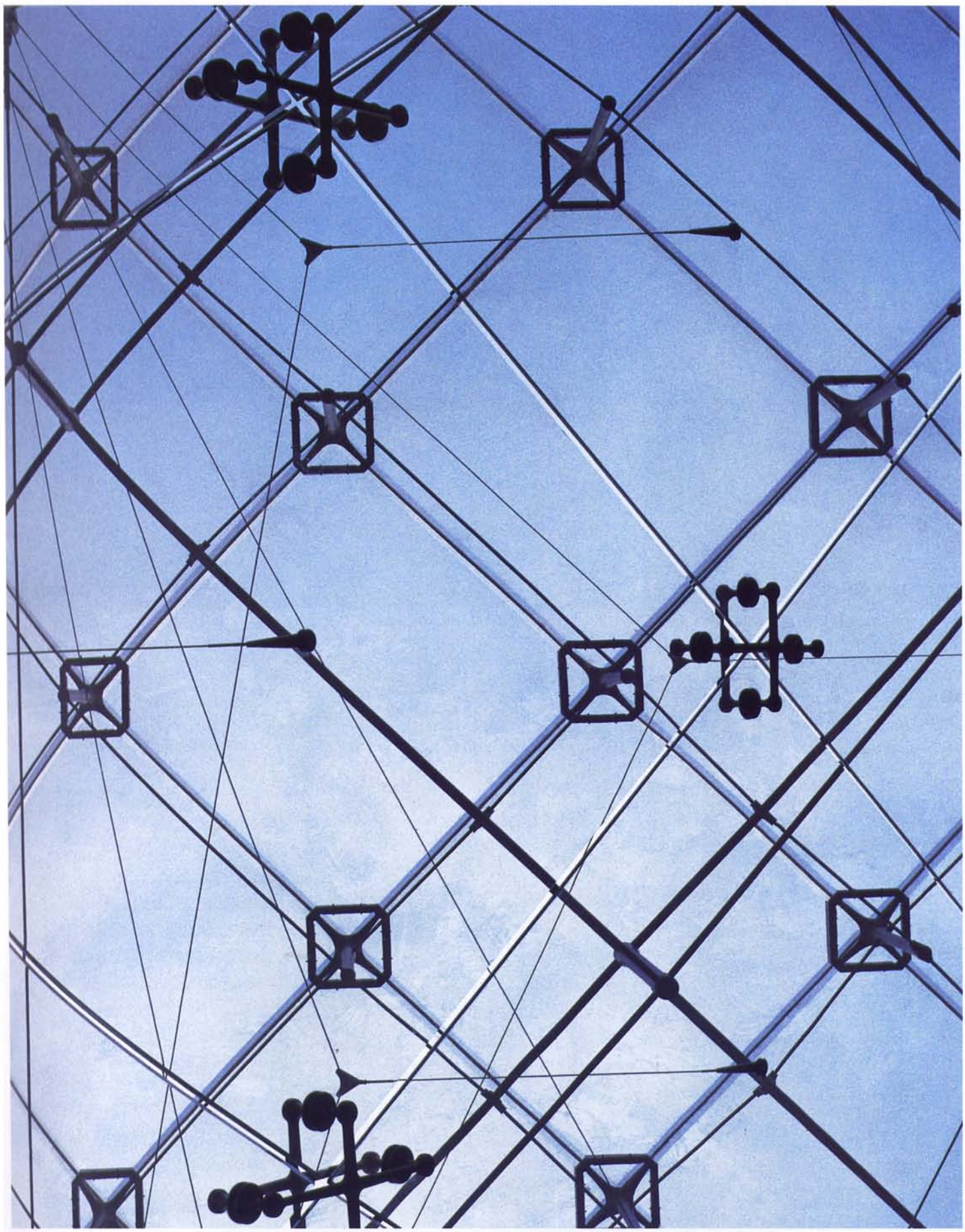
1.2.52

ger Bestandteil des Gesamtenergiekonzeptes. In den kalten Wintermonaten bleiben die Glaslamellen geschlossen, sodass ein Puffer entsteht, dessen Luft sich durch Sonnenstrahlen erwärmt. Bei warmer Witterung sorgt die großflächige Öffnungsmöglichkeit durch die Lamellen für eine ausreichende Durchlüftung und Nachtabkühlung.

Der elliptische Turm der Deutschen Post in Bonn der Architekten Murphy/Jahn (Energiekonzept: Transsolar) gehört zu den wenigen Hochhäusern, die ohne Klimaanlage auskommen (Abb. 1.2.51). Auch hier dient der Fassadenzwischenraum der Doppelfassade im Winter als Wärmepuffer, gleichzeitig fungiert er als Transportschacht für die Zuluft. Beide Fassadenschichten sind mit Lüftungsflügeln ausgestattet, sodass den Räumen Außenluft zugeführt werden kann. Die innen liegenden Atrien, so genannte Sky-Gardens, welche sich über jeweils neun Geschosse erstrecken, bilden den Mittelpunkt des Hauses und nehmen die Abluft auf, die in den umliegenden Räumen entsteht. Im Sommer tragen die 4000 Sonnenschutzlamellen, die zwischen den beiden Fassadenschichten liegen, sowie Bauteilaktivierung und Nachtlüftung zur Regulierung der Temperatur bei.

Auch wenn Hochhäuser nie wirklich ökologisch sind – vor allem wegen des erhöhten inneren Erschließungsaufwands, aber auch aufgrund des Mehrverbrauchs an Material und Rohstoffen für Tragwerk und Fassade – so können sie doch bei der Verdichtung im innerstädtischen Bereich Sinn machen. Gleichzeitig werden sie – in markanter Form – von mächtigen Konzernen als Statussymbole verlangt, denn schon von alters her symbolisieren hohe Türme Einfluss und Macht. Einen besonders markanten Turm in Londons Finanzzentrum, gleichermaßen den Prototyp für ein neues Hochhaus, hat Norman Foster für die Swiss Re als Konzernzentrale entworfen. Die signifikante Form unterstützt dabei das Energiekonzept. Druckunterschiede, die durch die verschiedenen Querschnitte entstehen, unterstützen den natürlichen Luftstrom. Die sechs mehrgeschossigen Lichthöfe sind als Segmente aus dem kreisförmigen Grundriss ausgeschnitten und winden sich, um fünf Grad pro Geschoss verdreht, spiralförmig den Turm entlang. Sie lassen Lichteinfall ins Gebäudeinnere zu und versorgen die Büros durch zentral gesteuerte Klappflügel mit Luft – auf mechanische Ventilation kann somit während eines Großteil des Jahres verzichtet werden.

1.2.51 Post Tower, Bonn 2003, Murphy/Jahn
1.2.52 ins Glas integrierte Photovoltaikmodule am Hauptbahnhof Berlin (Lehrter Bahnhof), 2006, von Gerkan Marg und Partner
1.2.53 hängende Pyramide im Louvre, Paris 1993, Ieoh Ming Pei Cobb Freed and Partners



1.2.53

Die Entwicklung der Glaskonstruktionen

Kaum ein anderer Baustoff erlebte in den vergangenen Jahrzehnten einen ähnlichen Innovationsschub wie das Glas. Aus der spröden und zerbrechlichen Substanz entwickelte sich ein wahrer Hochleistungsbaustoff, der bei Bedarf Lasten trägt, kühne filigrane Konstruktionen ermöglicht und darüber hinaus aufgrund raffinierter, weitgehend unsichtbarer Beschichtungen auch Funktionen der Klimakontrolle übernimmt.
Triebkraft für eine Vielzahl von Neuerungen war dabei stets das Streben nach maximaler Transparenz – eine Eigenschaft, die seit der Klassischen Moderne beinahe einen Wert an sich darstellt. Doch auch die technische Herausforderung spielt gewiss eine Rolle. So glich die Entwicklung der Glasarchitektur eine Zeit lang fast schon einer Jagd nach Rekorden.
Zu den wesentlichen Voraussetzungen für die heutigen Glaskonstruktionen gehören die Möglichkeit Glas vorzuspannen, die seit 1929 von der französischen Firma Saint-Gobain erprobt wird, und die Herstellung von Verbundglas, die im Jahr 1909 mit dem Patent von Edouard Benedictus beginnt – beides Technologien, die ursprünglich für den Fahrzeugbau entwickelt wurden. Ein weiterer grundlegender Schritt ist die Erfindung des Floatprozesses durch Alastair Pilkington im Jahr 1955 (siehe S. 12), der die Herstellung von Glas gehobener Qualität und großer Formate revolutionierte. Auch die stetige Verbesserung der Klebetechniken, der Einsatz immer leistungsfähigerer Computer und neuer Berechnungsverfahren führen zur fortschreitenden Optimierung von Glaskonstruktionen.

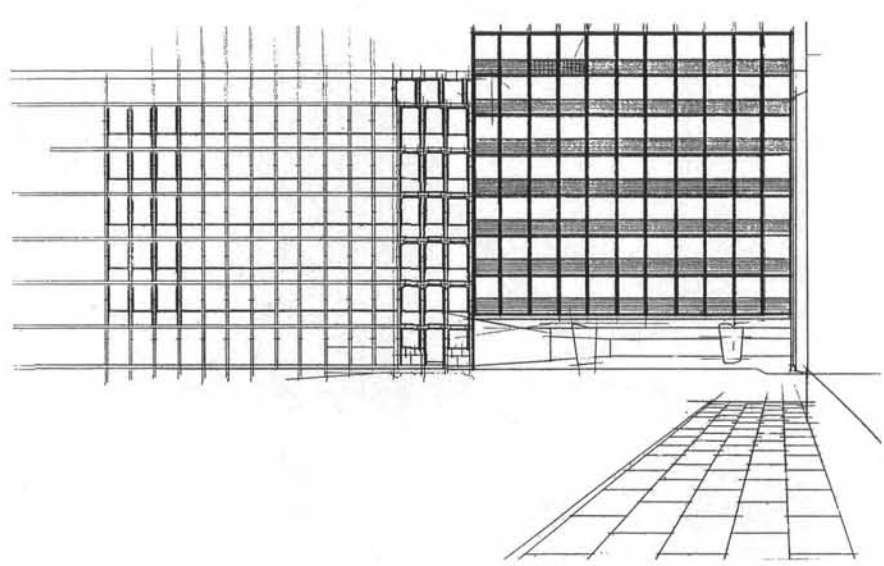
Vorhangfassaden

Die moderne Vorhangfassade entsteht zur Mitte des 20. Jahrhunderts in Amerika. Ausschlaggebend für ihre Entstehung sind neben gestalterischen Absichten vor allem ökonomische Faktoren. Im Vergleich zu Europa sind Arbeitskräfte zur damaligen Zeit in den USA teuer und die Tendenz am Bau geht zunehmend in Richtung Vorfertigung.
Die Mehrzahl der damals üblichen Curtain Walls baut auf einer Unterkonstruktion aus Pfosten und Riegeln auf, die am Primärtragwerk angebracht ist. Darauf werden die Verglasung bzw. geschlossene Paneele befestigt. Echte Elementfassaden wie am Alcoa Building in Pittsburgh (1955, Architekten: Harrison und Abramovitz) sind indes noch selten.
Eine der einflussreichsten Vorhangfassaden der damaligen Zeit realisieren die Architekten von Skidmore, Owings and Merrill (SOM) mit der filigranen Haut des Lever Building in New York (Abb. 1.2.56 und 1.2.6, S. 32). Dessen Unterkonstruktion aus tragenden Walzstahlprofilen ist mit Deckleisten aus gekantetem Edelstahlblech verkleidet, die fest stehende Einfachverglasung erfolgt noch im Kittbett. Um den Brandüberschlag zu verhindern, gibt es im Brüstungsbereich bzw. unterhalb der Geschossdecke schmale Streifen aus Betonstein-Mauerwerk hinter dem Curtain Wall, die äußerlich aber nicht in Erscheinung treten (Abb. 1.2.56).
Den technologischen Stand der Außenhautkonstruktionen Mitte der 1950er-Jahre in Europa verdeutlicht das Verwaltungsgebäude für die Firma Jespersen in Kopenhagen von Arne Jacobsen (1955, Abb. 1.2.54 und 1.2.55). Gestalterisch sind die filigranen Fassaden deutlich vom Lever Building beeinflusst: Wie dort strukturiert ein feingliedriges Netz von Metallprofilen die Flächen, und die Brüstungspaneele sind mit grün getöntem Glas geschlossen. Allerdings erinnert die Unterkonstruktion der Fassaden mit ihren dicken Kanthölzern noch an die handwerkliche Fertigung. Jacobsen verwendet bereits Isolierglas und kaschiert die relativ kräftigen Glashalteprofile aus Stahl geschickt, indem er sie im gleichen graugrünen Farbton wie die leicht reflektierenden Scheiben lackiert. Bereits einige Jahre später kann er bei seinem Hauptwerk, dem SAS-Gebäude (1958–60) im Zentrum der dänischen Hauptstadt, einen industriell gefertigten Curtain Wall realisieren.

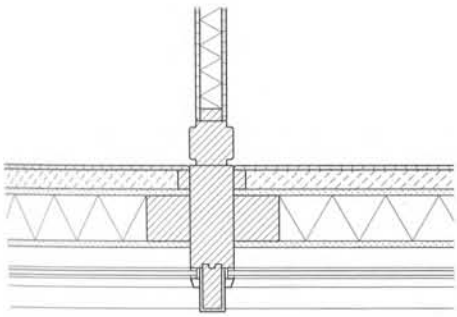
Dichtungsprofile aus synthetischem Kautschuk

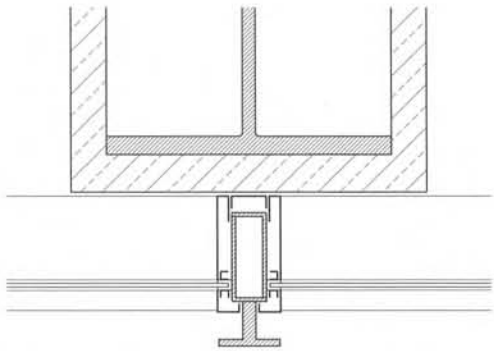
Einen der ersten vollkommen vorfabrizierten Curtain Wall verwirklicht Eero Saarinen am General Motors Technical Center in Warren/Michigan bei Detroit (1949–56) – auch in formaler Hinsicht ein Meisterwerk des finnisch-amerikanischen Architekten (Abb. 1.2.57). Da das Gebäude nicht im innerstädtischen Bereich liegt, genügte hier statt der massiven Mauer beim Lever Building (Abb. 1.2.56) ein geschlossenes Paneel im Deckenbereich zur Erfüllung der Brandschutzauflagen zwecks Brandüberschlag. Die wesentliche Besonderheit der Konstruktion aber liegt in der Fugendichtung: Passend für ein Gebäude der Automobilindustrie verwendet Saarinen erstmals synthetische dauerelastische Kautschukprofile (Neoprene), wie sie im Fahrzeugbau auch damals schon seit längerer Zeit eingesetzt werden. Etwa zeitgleich benutzt auch SOM das im Hochbau neue Material am Ankunftsgebäude des internationalen New Yorker Flughafens Idlewild (1955–57). Beide Konzepte unterscheiden sich hinsichtlich der Fassadendichtung bzw. Glashalterung grundlegend. In Idlewild wird mittels Anpresswinkeln Druck auf die Neoprene-Dichtungen ausgeübt – eine Konstruktionsart, die sich nicht bewährt und bald wieder aufgegeben wird. Beim General Motors Technical Center ist keine anpressende Metallhalterung erforderlich (Abb. 1.2.57 und1.2.59). Die Dichtlippe wird hier zum Einsetzen der Glasscheibe verformt und anschließend mit einem Einsteckprofil gesichert.
Dauerelastische Dichtungen aus Synthesekautschuk finden im Hochbau eine schnelle Verbreitung und gehören ab Mitte der 1960er-Jahre zum festen Standard in der Fassadentechnologie. In Deutschland werden Neoprene-Dichtungen in Gebäuden ab 1962 eingesetzt. Zur gleichen Zeit werden hier auch Fassadenprofile erstmals thermisch getrennt (National-Haus in Frankfurt, BASF-Gebäude in Ludwigshafen).

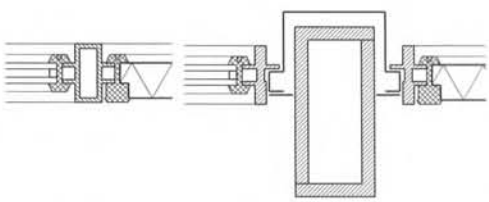
1.2.54 Verwaltungsgebäude der Firma Jespersen, Kopenhagen 1955, Arne Jacobsen, Entwurfsskizze
1.2.55 Verwaltungsgebäude der Firma Jespersen, Kopenhagen, Fassade und Fassadenschnitte horizontal und vertikal
1.2.56 Lever Building, New York 1952, Skidmore, Owings & Merril, Fassade und Fassadenschnitte horizontal und vertikal
1.2.57 General Motors Technical Center, Warren/Michigan 1949–56, Eero Saarinen, Fassade und Fassadenschnitte horizontal und vertikal

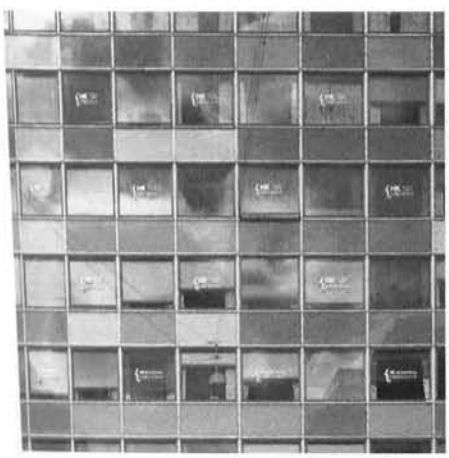


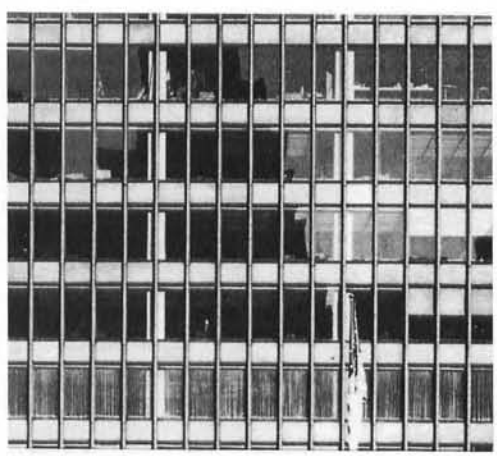
1.2.54

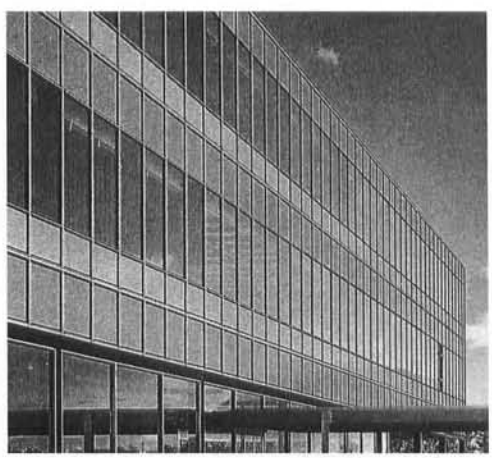


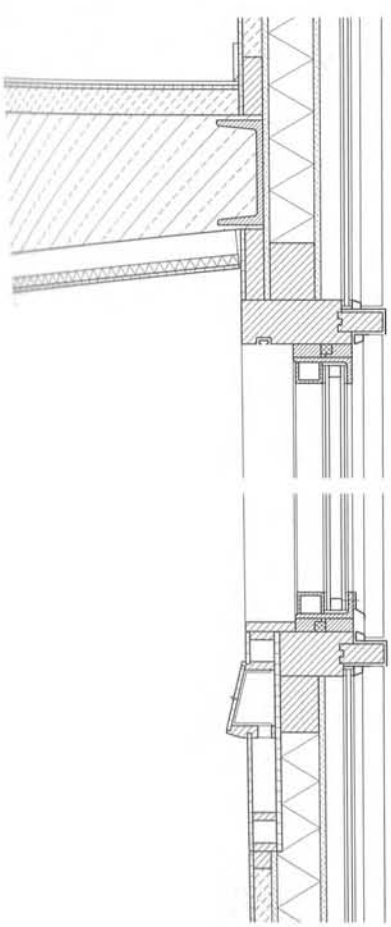




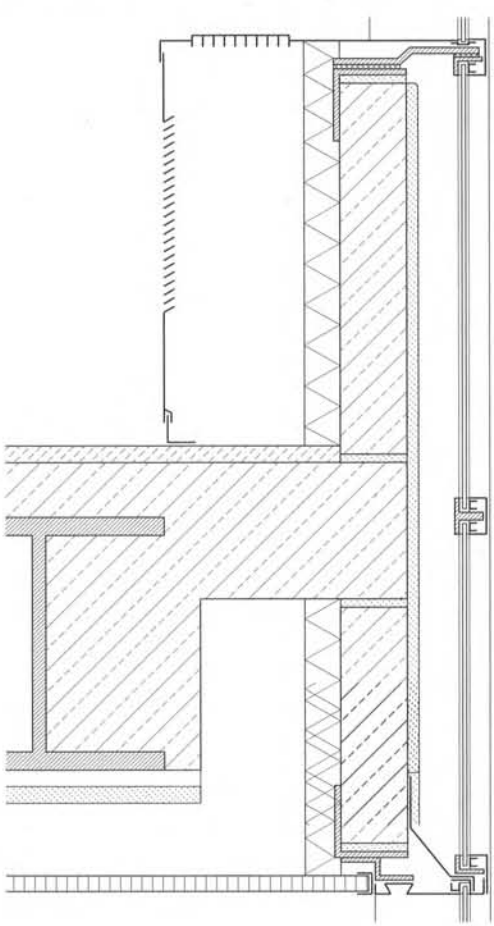




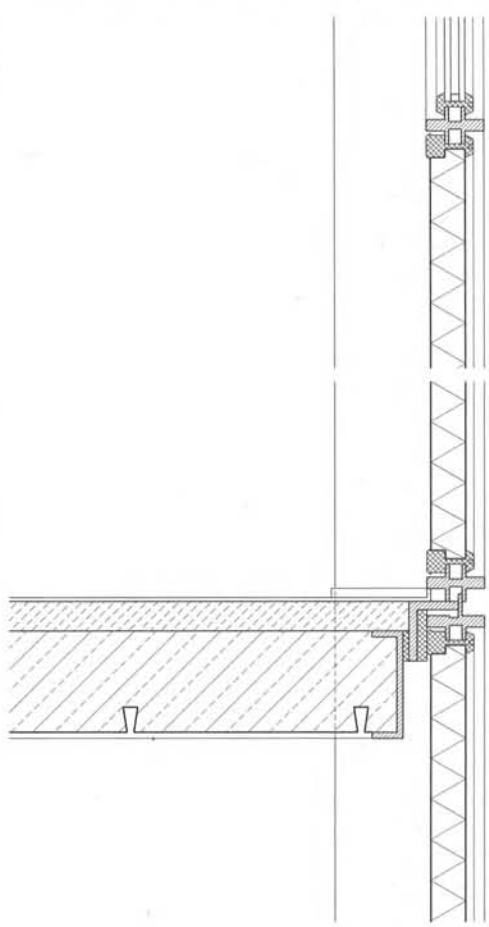




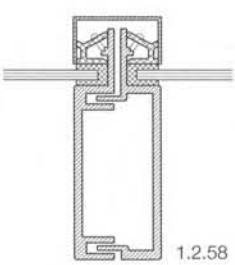
1.2.55



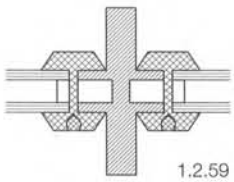
1.2.56



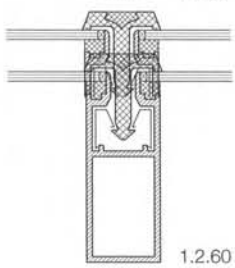
1.2.57



1.2.58



1.2.59



1.2.60

1.2.58 Flughafen Idlewild, New York 1955–57, Skidmore, Owings & Merrill, Fassadendetail
1.2.59 General Motors Technical Center, Warren/Michigan 1949–56, Eero Saarinen, Fassadendetail
1.2.60 Fred Olsen Amenity Centre, London 1968–72, Norman Foster, Fassadendetail
1.2.61 IBM Technical Parc, Greenford / Großbritannien 1975–80, Norman Foster
1.2.62 Projekt für ein Glashochhaus in Berlin mit polygonalem Grundriss, 1922, Mies an der Rohe
1.2.63 Verwaltungsgebäude Willis, Faber Dumas, Ipswich 1971–75, Foster Associates, Fassadendetail
1.2.64 Verwaltungsgebäude Willis Faber & Dumas, Ipswich

1.2.61

Verglasungen mit Integralprofilen

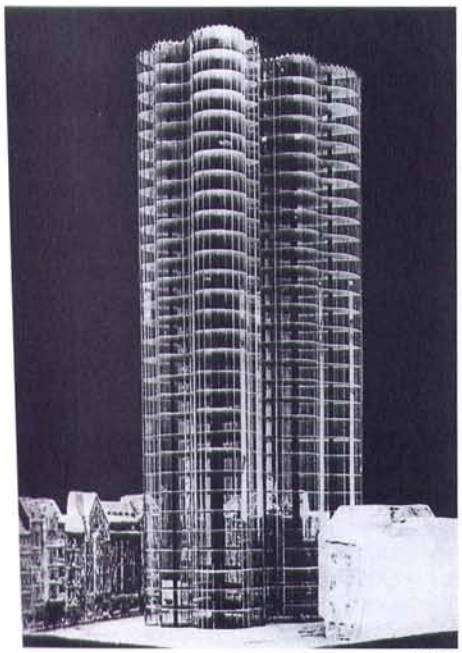
In den 1960er-Jahren kommen in Amerika verschiedene Verglasungssysteme mit Integralprofilen aus synthetischem Kautschuk auf den Markt, die neben der Dichtungsfunktion auch das Anpressen der Glasscheiben an die Rahmenkonstruktion übernehmen. Sie entstehen aus dem Bestreben, durch einen höheren Grad an Vorfertigung den Anteil an Handarbeit auf der Baustelle zu verringern. Norman Foster verwendet derartige Profile 1970 erstmals an einem zweigeschossigen Bau am Fred Olsen Amenity Centre im Hafen von London (Abb. 1.2.60). Die vollflächig verglasten Fassaden dieses Gebäudes zeichnen sich ähnlich wie die später in der selben Technik verkleidete Außenhaut des IBM Technical Park durch filigrane Ausformung und Aufgelöstheit aus (1975–1980, Abb. 1.2.61).

Structural Sealant Glazing

Die Einführung synthetischer Dichtungen führt ab etwa 1960 in den USA dazu, mit Silikonklebern zu experimentieren, um ein direktes Ankleben der Glasscheiben an die Rahmenkonstruktion zu ermöglichen. Eine erste Anwendung im Fassadenbau erfolgt 1963. Silikon dient jetzt nicht mehr nur als Abdichtung gegen Witterungseinflüsse, sondern trägt teilweise auch das Scheibengewicht und leitet die Windkräfte von der Verglasung in die Unterkonstruktion ab – es wird zu einem wesentlichen Tragelement an der Fassade. Die in Deutschland nicht ganz dem englischen Wortsinn entsprechend als »Structural Glazing« bekannt gewordene Technik setzt sich in den Vereinigten Staaten schnell durch und beeinflusst dort die Hochhausarchitektur der 1970er- und 1980er-Jahre nachhaltig. Vollkommen glatte, profillose Fassaden- und Dachflächen werden nun möglich. Um die Unterkonstruktion sowie Geschossdecken und Brüstungen zu kaschieren, werden für die Konstruktionsart zunächst fast ausschließlich farbige und verspiegelte Gläser eingesetzt. Auch die sinnvolle Integration von Öffnungselementen bleibt lange Zeit ungelöst. Das hat zur Folge, dass Structural-Sealant-Glazing-Fassaden zunächst den klimatisierten Bürobauten vorbehalten bleiben. In Deutschland werden die ersten Structural-Sealant-Glazing-Fassaden 1986/87 am Rosenthal-Verwaltungsgebäude in Selb und etwa zeitgleich am Neoplan-Vertriebszentrum in Stuttgart realisiert. Durch behördliche Auflagen ist die Anwendung hier – ähnlich wie in einigen anderen europäischen Ländern – bis heute stark eingeschränkt.

Hängende Verglasung und Punkthalterung

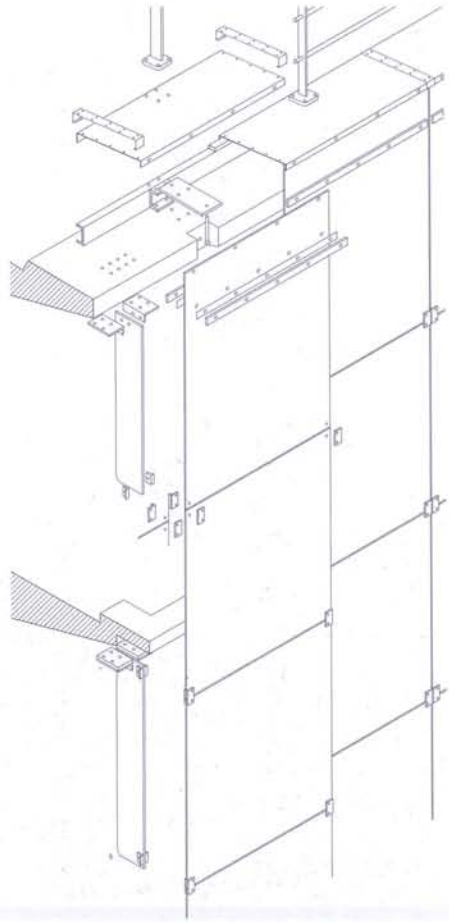
Die Idee große Glasscheiben abzuhängen, anstatt sie stehend einzubauen und damit die Gefahr des Durchbiegens zu vermeiden, wird in den 1950er-Jahren von dem Frankfurter Unternehmer Otto Hahn verfolgt. 1956 schlägt seine Firma für die Schaufenster eines Autohauses in Wien (Steyr Daimler Puch) eine derartige



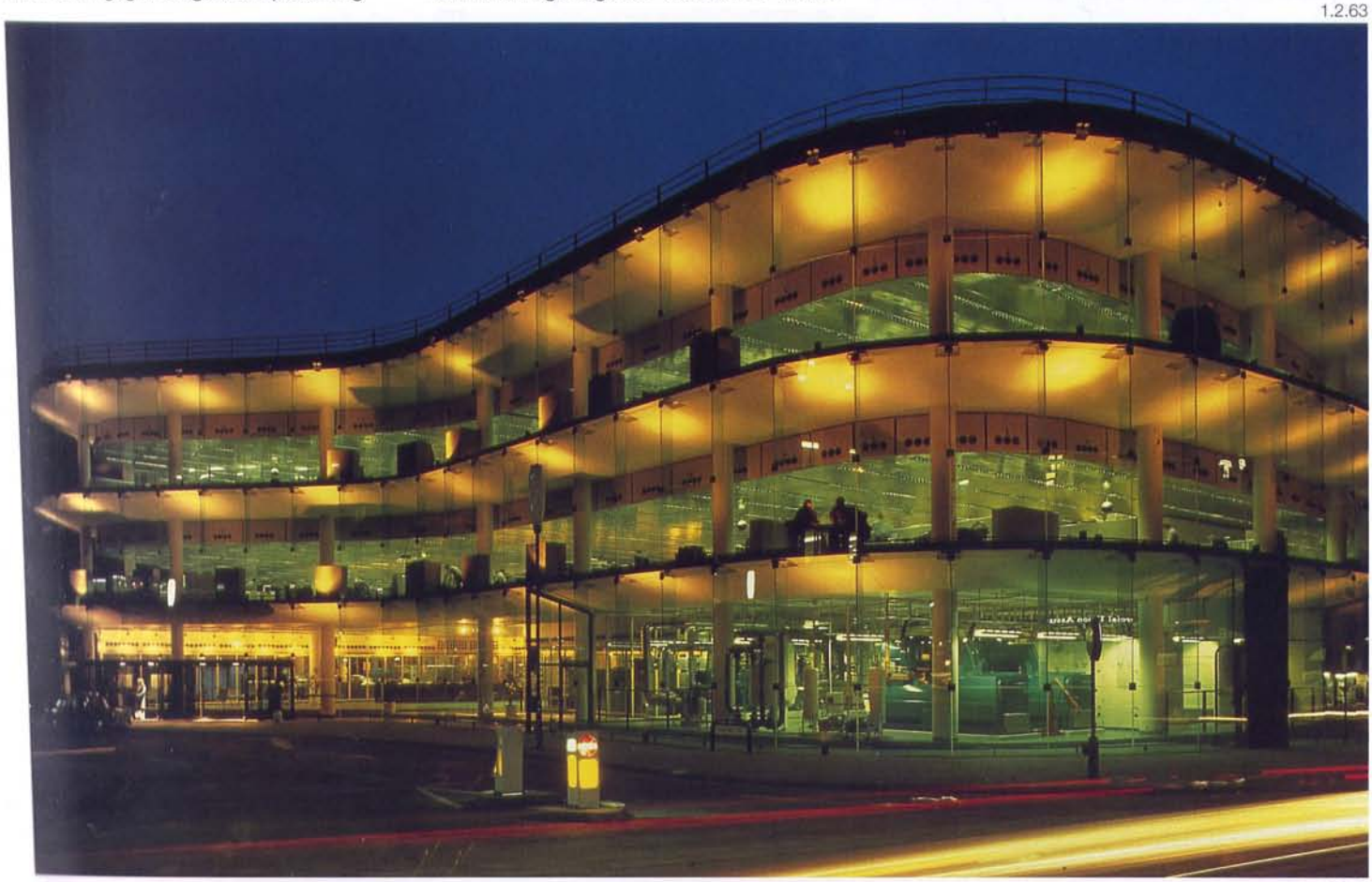
1.2.62

Lösung vor, die allerdings nicht zur Ausführung gelangt. Zur ersten Anwendung des mittlerweile zum System entwickelten Verglasungsprinzips kommt es 1964 am Wilhelm-Lehmbruck-Museum in Duisburg (Architekt: Manfred Lehmbruck) und 1960–63 an der Eingangshalle der Maison de la Radio in Paris (Architekt: Henri Bernard). Hier sind die etwa vier Meter hohen Glasscheiben gegen Biegebeanspruchung durch aufgeklebte Glasschwerter ausgesteift. Die Glastafeln werden durch Klemmen gehalten, die in Pendellagern befestigt sind. Diese stellen sicher, dass die Belastung gleichmäßig auf die einzelnen Aufhängepunkte verteilt wird. Das Prinzip der hängenden Verglasung findet rasch weltweite Verbreitung. Für Isoliergläser bleibt ihre Anwendung jedoch wegen der herstellungsbedingten Größenbegrenzung der Scheiben lange Zeit wenig reizvoll.

Eine Weiterentwicklung der hängenden Verglasung erfolgt 1971–1975 durch Foster Associates in Zusammenarbeit mit dem englischen Glashersteller Pilkington für das Verwaltungsgebäude Willis Faber & Dumas in Ipswich (Abb. 1.2.63 und 1.2.64). Die einzelnen Scheiben sind hier durch geschraubte Klemmplatten an der jeweils nächst höheren Scheibe befestigt. Gleich einem Kettenhemd hängt die gesamte, über drei Etagen reichende Fassade somit an der obersten Geschossdecke und ist durch halbgeschosshohe Glasschwerter, die im Gebäudeinneren von den Decken abgehängt sind, gegen Windkräfte ausgesteift. Das Gebäude verdeutlicht auf eindrucksvolle Weise, wie mit dem Einsatz von sinnvollen konstruktiven Innovationen eine herausragende Entwurfsidee umgesetzt werden kann. Durch die ungeteilten, reflektierenden Glasfassaden wirkt das Bauwerk in der Altstadt von Ipswich immateriell und reagiert auf seine gewachsene Umgebung, indem es sie spiegelt. Da die einzelnen Glastafeln an den gebogenen Wänden im Winkel



1.2.63



1.2.64

1.2.65

zueinander stehen, brechen sie das Licht unterschiedlich; interessante Effekte sind die Folge. Die freie Form des Grundrisses passt sich dem Verlauf des Grundstücks an und setzt gleichzeitig das zur damaligen Zeit übliche Konzept des Großraumbüros auf ideale Weise um. Mit etwa 50 Jahren Verspätung gelingt es Norman Foster, mit diesem Gebäude an Mies van der Rohes zukunftsweisende Vision für ein Glashochhaus (Abb. 1.2.62) anzuknüpfen und die ihr zugrunde liegenden Ideen umzusetzen – wenn auch frei interpretiert und in kleinerem Maßstab. Die Skizzen von Mies zeigen polygonale Wandabwicklungen, und im Modell seines Projekts ist die von ihm bereits erdachte Abhängevorrichtung zu sehen.

Die technische Neuerung beim Willis Faber & Dumas-Gebäude besteht im vertikalen Aneinanderhängen mehrerer Glastafeln (Abb. 1.2.63 und 1.2.64). Ihre Befestigung untereinander erfolgt durch Klemmplatten, die plastisch auf den Scheiben in Erscheinung treten. Der nächste wesentliche Schritt bei der Entwicklung der Ganzglasfassaden ist das Verlegen der Befestigungsteile in die Scheibenebene. Auch dieses so genannte Planarsystem, das das flächenbündige Befestigen der Glasscheiben ermöglicht, wird von Norman Foster zusammen mit Pilkington entwickelt und erstmals 1982 am Renault Centre (Abb. 1.2.65 und 1.2.66) in Swindon eingesetzt. Die Einfachverglasung ist bei diesem Gebäude nicht abgehängt, sondern an eine Pfosten-Riegel-Unterkonstruktion geschraubt.

Eine hängende und gleichzeitig hinterspannte Glasfassade mit flächenbündigen Punkthaltern entsteht 1986 bei den großen Gewächshäusern am Museum für Wissenschaft und Technik im Pariser Parc-de-La-Villette (Abb. 1.2.67). Die Vorgabe des Architekten Adrien Fainsilber an das mit der Planung der Verglasung beauftragte Team von Peter Rice, Martin Francis und Ian Ritchie (RFR) war eine möglichst große Transparenz. Da aber im Gegensatz zu Fosters Gebäude in Ipswich hier keine Geschossdecken zur Aufnahme der Horizontalkräfte vorhanden sind, entwickeln die Konstrukteure erstmals eine abgehängte, an flächenbündigen Punkthaltern befestigte Fassade mit einer räumlichen Seilhinterspannung zum Abtragen der Windkräfte. Das Glas übernimmt dabei Last abtragende Funktionen, denn die Zugseile erhalten ihre Stabilität nur aus der Verbindung mit den transparenten Scheiben. Die obere Aufhängung der jeweils 2 x 2 m großen und 12 mm dicken Tafeln erfolgt über vorgespannte Stahlfedern. Um Spannungen an den einzelnen Scheiben zu vermeiden und die auftretenden Lasten genauer berechnen zu können, sind die Punkthalter mit einem Kugelgelenk versehen, das exakt in der Scheibenebene liegt.

Von RFR wird das Prinzip der hängenden und hinterspannten Glasfassade in der Folgezeit an unterschiedlichen Projekten weiterentwickelt und variiert. Den in La-Villette verwendeten verformbaren, H-förmigen Vierpunktverbinder ersetzen sie bald durch einen X-förmigen Halter mit nur noch einem Gelenk im Kreuzungspunkt. Dies erfolgt aus gestalterischen Überlegungen, aber auch aufgrund der Erkenntnis, dass die Glaswand nach dem Verfugen mit Silikon relativ starr und somit die Gefahr einer rhombischen Verformung eher gering ist.

Eine weitgehend aufgelöste und besonders filigrane Glasfassade realisieren die gleichen Ingenieure bei einem Büro- und Geschäftsgebäude in der Avenue Montaigne in Paris (Architekten: Epstein Glaimann et Vidal, 1993). Die Glaswand schließt ein im Grundriss halbkreisförmiges, nach Süden orientiertes Atrium zum angrenzenden Innenhof ab. Die Tragstruktur besteht aus einer Reihe übereinander gelagerter, horizontaler Seilverspannungen, die radial in den jeweiligen Deckenplatten verankert sind. Diese durch die Halbkreisgeometrie des Gebäudes möglich gewordene Anordnung erlaubte eine besonders filigrane Seilausbildung und eine Scheibenhöhe von 3,80 m. Um die Fassade noch leichter erscheinen zu lassen und dem Wunsch der Architekten zu entsprechen, den Halbzylinder im Glas zu spiegeln, damit das virtuelle Bild eines Vollzylinders erzeugt wird, sind die Punkthalter auf der Außenseite der Fassade angebracht. Innenseitig entstehen somit vollkommen glatte Glasflächen. Die einzelnen Halter sind mit den Spannseilen durch Edelstahlstangen verbunden, die die Glaswand in den Fugenkreuzen durchdringen. Die Glastafeln sind für diesen Zweck in den Ecken abgeschrägt.

1.2.66

1.2.65 Renault Centre, Swindon 1982, Norman Foster, Detail der Glasbefestigung
1.2.66 Renault Centre, Swindon
1.2.67 Gewächshäuser am Museum für Wissenschaft und Technik, Parc-de-La Villette/Paris 1986, Adrien Fainsilber und Rice Francis Ritchie (RFR), Ansicht und Vierpunkt-Glashalter
1.2.68 Bürohaus in der Avenue Montaigne, Paris 1993, Epstein Glaimann et Vidal und RFR, Ansicht und Vierpunkt-Glashalter
1.2.69 Banque Populaire de l'Ouest et de l'Armorique, Montgermont 1990, Odile Decq/Benoît Cornette und RFR, Ansicht und Vierpunkt-Glashalter

Die erste Anwendung einer hinterspannten Fassade mit Isolierglas erfolgt 1990 bei einem Bankgebäude in Montgermont bei Rennes (Architekten: Odile Decq und Benoît Cornette). Die Besonderheit besteht hier in der Tatsache, dass die durchgehende 120 m lange Fassade im Bereich des Eingangsfoyers einfach und im Bürotrakt isolierverglast ist. Um dabei mit dem gleichen Haltertyp auszukommen, passt RFR den Halter mit dem Gelenk in der Scheibenebene der Doppelverglasung an. Als besonders aufwendig stellen sich die Glasbohrungen heraus, die in der fertigen Verglasungseinheit exakt übereinanderliegen müssen. Erschwerend kommt hinzu, dass stellenweise dreilagig laminiertes Glas verwendet wird. Ein filigranes, außen liegendes Tragwerk aus Stahl im Abstand von 2 m vor der Fassade stabilisiert diese gegen Winddruck und dient gleichzeitig zur Befestigung der Sonnenschutz-Rolljalousien.

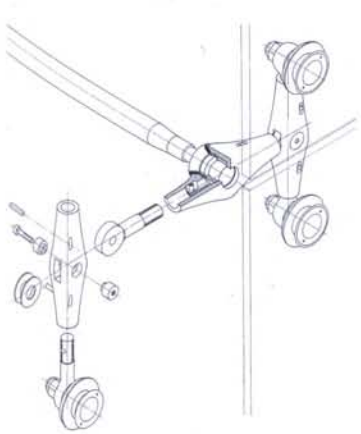
Verglaste Netzschalen

Ende der 1980er-Jahre entwickeln die Stuttgarter Ingenieure Schlaich, Bergermann und Partner filigrane Glasdachkonstruktionen, indem sie Schalentragwerke, also doppelt gekrümmte Flächen, über eine aufgelöste Stabwerkstruktur abwickeln. Das Grundraster ihrer Tragwerke besteht aus einem Viereckнetz aus Flachstäben. Dieses ebene Quadratnetz lässt sich in nahezu beliebige Formen bringen: Indem sich der ursprüngliche Maschenwinkel von 90° verändert, werden aus den Quadraten Rhomben. Auf diese Weise werden beliebig doppelt gekrümmte Tragwerksformen abwickelbar. Vorgespannte, durchlaufende Seile übernehmen die Funktion von Diagonalen zur Ausbildung stabiler Dreiecksnetze. Eine Besonderheit der Netzschalen besteht darin, dass die Stäbe, die die Viereckmaschen bilden, direkt, nur mit einer weichen Zwischenlage aus APTK, als Glasträger dienen. Ein weiteres Sprossenwerk auf der Tragstruktur, wie sonst üblich, kann vermieden werden. Dies führt neben der Kostenersparnis auch zu optimaler Transparenz.

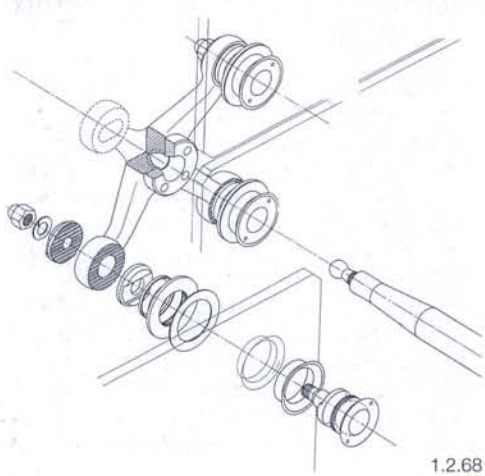
Eine erste und noch immer herausragende Anwendung des Prinzips, bei der Jörg Schlaich von der Möglichkeit beispielhaft Gebrauch macht, auch geometrisch unregelmäßige Grundrisse überdecken zu können, erfolgt bei der 1990 fertig gestellten Hofüberdachung des Museums für Hamburgische Geschichte (Architekten: von Gerkan, Marg und Partner, siehe Beispiel 42, S. 340ff.). In einer geglückten Synthese aus Ingenieurleistung und Architektur entsteht ein leichtes netzförmiges Dach, das über dem massiven klinkerverkleideten Altbau von Fritz Schumacher zu schweben scheint, ohne diesen optisch zu beeinträchtigen. Das gelungene Zusammenspiel von alt und neu führt zu einer hohen gestalterischen Qualität. Das Gleiche gilt für die Überdachung des Great Court im Britischen Museum in London durch Foster and Partners zusammen mit den Ingenieuren Buro Happold (Abb. 1.2.23, S. 39). Statt der oben erwähnten Netzschalen aus Rhomben handelt es sich hier um eine Dreiecksgitterstruktur ohne zusätzliche Unterspannung – eine Konstruktion wie sie die gleichen Planer zuvor schon an anderen Glasdächern (erstmals bei der Juristischen Fakultät in Cambridge) erfolgreich eingesetzt haben, und die es ebenfalls erlaubt, unregelmäßige Schalengeometrien auszubilden. Wie bei den frühen englischen Gewächshäusern übernimmt das Glas hier eine versteifende Funktion; neueste Möglichkeiten computergenerierter Strukturfindung werden genutzt (siehe »Schalentragwerke«, S. 113ff.).

Verglaste Seilnetzwände

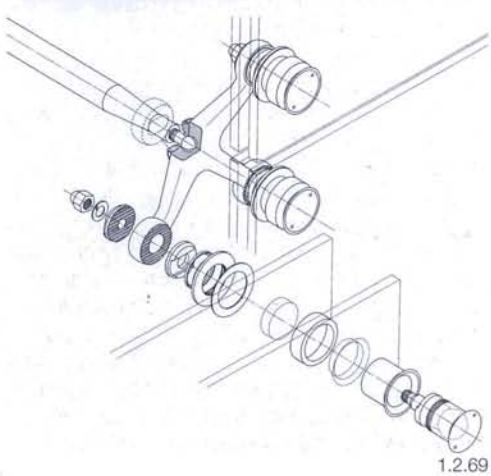
Besonders aufgelöste Glaswände gelingen Jörg Schlaich an den 40 m breiten und 25 m hohen Atriumfassaden des Münchner Flughafenhotels Kempinski (Architekt: Murphy/Jahn; siehe »Seilnetze und Seilfassaden«, S. 115ff.). Die eindrucksvolle Entmaterialisierung der Fassade wird durch eine hohe Vorspannung der horizontalen Seile erreicht. Die Vorspannkräfte werden von den angrenzenden Gebäuderiegeln aufgenommen. Die Glastafeln sind an den vier Ecken mit Klemmhaltern an den Seilen befestigt.



1.2.67



1.2.68



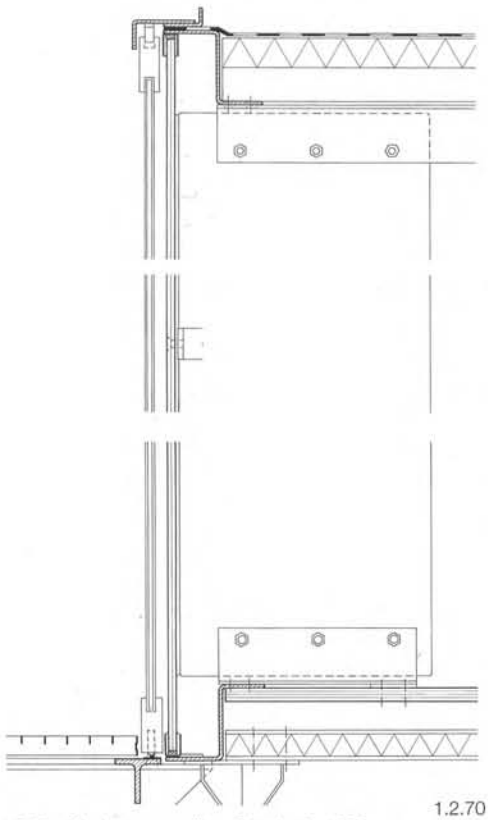
1.2.69

Druck- und biegebeanspruchte Glaskonstruktionen – Ganzglaskonstruktionen

Der permanente Wunsch nach möglichst großer Transparenz und nach der vollkommenen Auflösung von Fassaden und Dächern führt zwangsläufig zu dem Versuch, Ganzglasgebäude ohne tragende Metallteile zu realisieren. Auch hierfür sind weitreichende Fortschritte in der Glastechnologie sowie das zunehmende Wissen um die Beanspruchbarkeit des Materials wesentliche Voraussetzungen. Trotzdem kann die Realisierbarkeit vieler Neuerungen nur durch Ausprobieren in Erfahrung gebracht werden. So werden zahlreiche Innovationen zunächst an kleinen oder temporär geplanten Bauwerken erforscht, deren Entstehungsprozess für alle Beteiligten überschaubar ist und die langfristig kein Risiko bedeuten.

Tragende Wände aus Glas

Für die beiden Niederländer Jan Benthem und Mels Crouwel bietet das eigene, zunächst nur temporär gedachte Wohnhaus von einem der Partner in Almere (1984) die Möglichkeit, unkonventionelle Ideen auszuprobieren. Gestalterisch und räumlich handelt es sich bei dem Gebäude um eine Neuinterpretation des Farnsworth House von Mies van der Rohe (Abb. 1.2.10 und 1.2.11, S. 34), denn der Innenraum des aufgestelzten Baukörpers wird auch hier nur von zwei horizontalen Scheiben – der Boden- und der Deckenplatte – definiert.



1.2.70

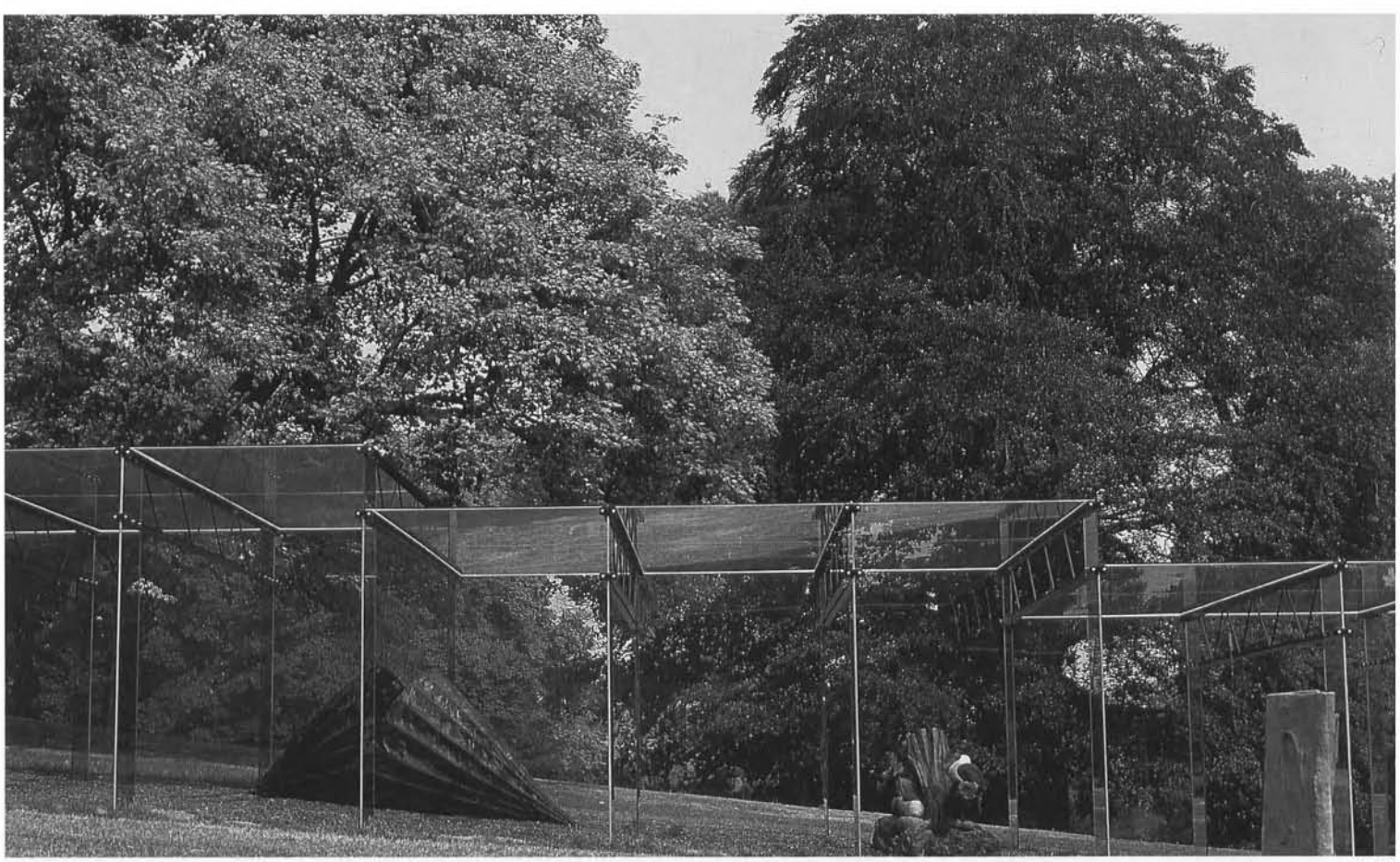
1.2.70 Skulpturenpavillon, Sonsbeek 1986, Benthem & Crouwel, Fassadenschnitt
1.2.71 Skulpturenpavillon, Sonsbeek
1.2.72 Erweiterung eines Glasmuseums, Kingswinford/Großbritannien 1994, Design Antenna

In konstruktiver Hinsicht ist es von einem anderen Projekt Mies van der Rohes, dem »50 by 50 House«, inspiriert: Das Haus ist allseitig von rahmenlosen Glasfassaden geschlossen, die Druckkräfte aufnehmen und zum Tragen des Dachs aus gedämmtem Trapezblech mit herangezogen werden. Die Aussteifung der etwa 2,50 m hohen und 12 mm dicken ESG-Verglasung erfolgt durch raumseitig angeordnete Glasschwerter. Der ebenfalls von Benthem und Crouwel zwei Jahre später errichtete Skulpturenpavillon in Sonsbeck erhält neben den tragenden Ganzglaswänden ein horizontales Glasdach – mit minimaler Krümmung zur Ableitung des Regenwassers –, das von Stahlunterzügen gehalten wird (Abb. 1.2.70 und 1.2.71). Wie beim vorangegangenen Wohnhaus wird die Übereckverbindung der Glastafeln durch kleine Metallhalter fixiert; die Aussteifung der Glaswände erfolgt ebenfalls durch Glasschwerter. Eine geringe bauphysikalische Beanspruchung und die nur temporäre Verwendung des Pavillons ermöglichen diese Art der Konstruktion mit ihrer ungewöhnlich hohe Transparenz.

Ganzglaskonstruktionen

Vollkommen ohne Metallteile auszukommen, versuchten die beiden britischen Ingenieure

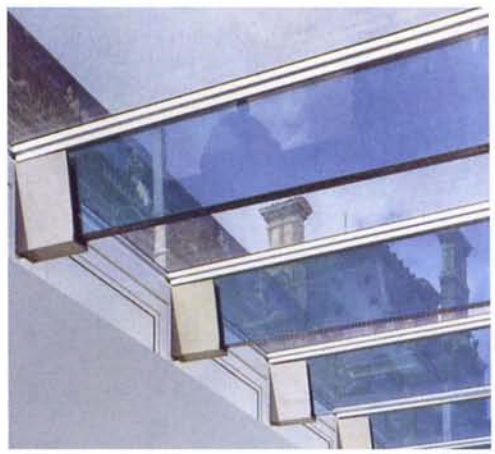
1.2.73 Werkstätten und Labors im Louvre, Paris 1995, Brunet & Saunier
1.2.74 Stadtverwaltung Saint-Germain-en-Laye, 1996, Brunet & Saunier, Detail der Glasstütze
1.2.75 Stadtverwaltung Saint-Germain-en-Laye



1.2.71

Laurence Dewhurst und Tim MacFarlane, die eine geklebte und vom traditionellen Holzbau inspirierte Zapfenverbindung von Glas mit Glas entwickelten. Diese Errungenschaft nutzt Rick Mather 1992 zu einer der ersten Ganzglaskonstruktion – einem Wintergartenanbau an ein Wohnhaus im englischen Hampstead. Nicht nur die Wand- und Dachflächen sind hier transparent, sondern auch die Stützen und die Träger des Pultdachs aus dreilagig laminiertem und mit PVB-Folie verklebten Glasscheiben. Sogar für den Randverbund der Isolierglaseinheiten verwendet der Architekt statt der üblichen Aluminiumprofile schmale Glasstreifen, die zwischen die beiden jeweils 10 mm dicken Scheiben geklebt sind.
Eine ähnliche Konstruktion mit einer Grundfläche von 5,70 x 11 m und beinahe horizontalem Dach verwirklicht das Architekturbüro Design Antenna zusammen mit Tim MacFarlane als Anbau an ein bestehendes Museum im englischen Kingswinford (Abb. 1.2.72, siehe Beispiel 32, S. 308ff.). Der Anbau ist bis heute eine der größten realisierten Ganzglaskonstruktionen, zeigt aber auch deren Grenzen auf. Trotz aller Faszination werden Ganzglasgebäude nämlich auch in Zukunft nur speziellen und meist kleinen Bauaufgaben vorbehalten bleiben und selbst dann ihren experimentellen Charakter kaum verlieren. Bei vielen Anwendungen, allen voran dem Wohnungsbau, ist die vollkommene Durchsicht ohnehin kaum erwünscht, und auch die Integration eines üblicherweise notwendigen mechanischen Sonnenschutzes ist ohne entwurfsbedingten Widerspruch nur schwer möglich.

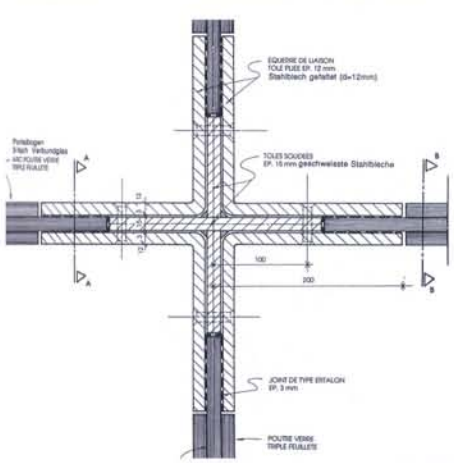
1.2.72



1.2.73

Glasträger und Glasstützen bei höher belasteten Konstruktionen

Der stete Wunsch nach möglichst großer Transparenz, gepaart mit dem Verlangen, die technischen Grenzen auszuloten, führt seit den 1990er-Jahren dazu, auch bei höher belasteten Konstruktionen auf das transparente Material Glas zurückzugreifen. Auf Biegung beanspruchte Glasunterzüge bei einem horizontalen Glasdach werden 1994 über den Louvre-Werkstätten in Paris von Jérôme Brunet und Eric Saunier realisiert. Da das begehbare Dach höhengleich in einem öffentlich zugänglichen Hof liegt, muss trotz Abgrenzung durch Wasserbecken und Bepflanzung damit gerechnet werden, dass es mehrere Personen gleichzeitig betreten; die zu berücksichtigenden Lastanforderungen sind entsprechend hoch. Die Konstruktion konnte aus diesem Grund nicht so filigran wie bei den oben genannten kleineren Bauten in den Niederlanden und in Großbritannien ausfallen, und die etwa 4,60 m spannenden Unterzüge aus laminiertem Glas mussten in etwas klobigen Stahlschuhen aufgelegt werden. Die Transparenz indes und der freie Blick zum Himmel werden dadurch kaum eingeschränkt.
Beim 1996 fertig gestellten Foyer der Städtischen Verwaltung in Staint-Germain-en-Laye setzen die Architekten Brunet und Saunier erstmals tragende Stützen aus Glas bei einem größeren Dach in einem dauerhaft genutzten Bürogebäude ein (Abb. 1.2.74 und 1.2.75). Dem Einbau gingen umfangreiche Belastungsversuche voraus, die die Fähigkeit des Glases, enorme Druckkräfte abzutragen, eindrucksvoll vor Augen führten. Um die Gefahr des Knickens zu vermeiden, sind die Stützen kreuzförmig ausgebildet. Da aber vor allem das Problem des Brandschutzes ungelöst bleibt – eine Ummantelung wäre bei einer Glaskonstruktion widersinnig –, sind derartige Glasstützen weiterhin Einzelfälle, deren Hauptziel wie bei mancher Ganzglaskonstruktion, wohl eher die Demonstration der technischen Machbarkeit ist.



1.2.74

1.2.75

Teil 2 Grundlagen

Der Baustoff Glas

Dieter Balkow

Glas – eine Definition 60
Glasarten 61
Beschichtung von Glas 63
Oberflächenbehandlung von Glas 65
Kantenbearbeitung von Glas 65
Thermisch behandelte Gläser 65
Chemisch vorgespanntes Glas 68
Verbundglas (VG) 68
Verbundsicherheitsglas (VSG) 69
Isolierglas 71
Wärmeschutzglas 76
Sonnenschutz 76
Licht streuende Gläser 80
Licht lenkende Gläser 80
Brandschutzgläser 80
Kombinationen von Funktionsgläsern 81
Anwendungsbereiche 81
Betretbare und begehbare Verglasung 82
Physikalische Erscheinungen 85
Verglasungshinweise 86
Kleben im Glasbau 88
Reinigung und Wartung 89
Einfluss auf Funktionsdaten 89

Konstruieren mit Glas – Festigkeiten und Tragverhalten

Werner Sobek mit Mathias Kutterer, Steffen Feirabend und Wolfgang Sundermann

Bauen mit Glas 90
Werkstoff 90
Konstruktionsdetails 99
Sicherheit und Bemessung 99
Tragwerke 104

Glas und Energie – Bauphysik

Matthias Schuler und Stefanie Reuss

Energetisch und bauphysikalisch relevante Glaseigenschaften 119
Energiegewinne durch Glas – Solarstrahlung, Licht 133
Wärmschutz mit Glas 146
Anwendungen von Verglasungen in Gebäuden und Systeme 149
Aktive Nutzung 157

Abb. 2 Lehrter Bahnhof, Berlin 2006, von Gerkan Marg & Partner (gmp)

Der Baustoff Glas

Dieter Balkow

Eigenschaften	Symbol	Zahlenwert mit Einheit
Dichte bei 18 °C	r	2500 kg/m³
Härte		6 Einheiten nach Mohs Skala
Elastizitätsmodul	E	7×10^{10} Pa
Poisson'sche Zahl	m	0,2
spezifische Wärmekapazität	c	$0{,}72 \times 10^{3}$ J/(kg × K)
mittlerer thermischer Ausdehnungskoeffizient	α	9×10^{-6} K^{-1}
Wärmeleitfähigkeit	λ	1 W/(m × K)
mittlerer Brechungsindex im sichtbaren Wellen Längenbereich von 380–780 nm	n	1,5

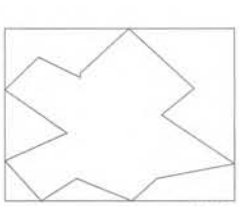
2.1.1

Glaszusammensetzung		
Siliciumdioxid	(SiO_2)	69–74 %
Kalziumoxid	(CaO)	5–12 %
Natriumoxid	(Na_2O)	12–16 %
Magnesiumoxid	(MgO)	0–6 %
Aluminiumoxid	(Al_2O_3)	0–3 %

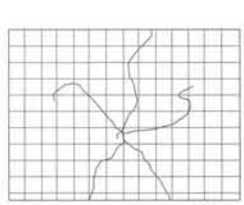
Diese Zusammensetzung ist europaweit in DIN EN 572 Teil 1 festgelegt.

2.1.2

2.1.1 allgemeine physikalische Eigenschaften von Glas
2.1.2 Glaszusammensetzung
2.1.3 Bruchbild einer Floatglasscheibe
2.1.4 Bruchbild einer Drahtglasscheibe
2.1.5 Prinzip der Floatglasherstellung
2.1.6 Prinzip der Gussglasherstellung
2.1.7 verfügbare Dicken von Floatglas
2.1.8 Lichttransmissionsgrad für Float- und Fensterglas
2.1.9 verfügbare Dicken von Fensterglas
2.1.10 verfügbare Dicken von Ornamentglas
2.1.11 verfügbare Dicken von Borosilikatglas
2.1.12 Hauptbestandteile von Borosilikatglas



2.1.3



2.1.4

Glas – eine Definition

Glas ist ein einheitlicher Stoff, eine erstarrte Flüssigkeit. Die Moleküle sind völlig ungeordnet und bilden keine Kristallgitter. Das ist der Grund, weshalb der Stoff transparent ist. Da Glas aus verschiedenen zusammengesetzten Verbindungen besteht, gibt es keine chemische Formel. Glas hat keinen Schmelzpunkt, sondern geht bei Erwärmung kontinuierlich von einem festen Zustand in den plastisch viskosen und später in den flüssigen Zustand über.
Im Vergleich zu vielen anderen Kristallen, deren Eigenschaften davon abhängig sind, in welcher Richtung sie gemessen werden, hat Glas eine amorphe Isotropie, d.h. die Eigenschaften sind richtungsunabhängig. Abb. 2.1.1 zeigt die allgemeinen physikalischen Eigenschaften von Glas.
Das heute als Baumaterial verwendete Glas ist ein Kalk-Natron-Glas. Bei der Herstellung werden die Rohstoffe so hoch erhitzt, bis sie zähflüssig sind und dann abgekühlt. Durch die hohe Viskosität und den anschließenden Kühlprozess haben die Ionen und die Moleküle keine Möglichkeit sich zu ordnen. Silikat und Sauerstoff können keine Struktur finden, um sich zu Kristallen zusammenzuschließen, d.h. der ungeordnete Molekühlzustand wird »eingefroren«.
Glas besteht aus einem unregelmäßig räumlich verketteten Netzwerk der Elemente Silizium (Si) und Sauerstoff (O), in dessen Lücken Kationen eingelagert sind (SiO_4 Tetraeder). Erhitzt man Glas auf 800 °C bis 1100 °C und hält diese Temperatur eine Zeit lang, beginnt eine so genannte Entglasung. Hierbei entstehen Siliziumkristalle, die von der eigentlichen Glasmasse abgesondert werden. Dieser Effekt führt zu milchig opakem Glas.
Naturglas wie z.B. der Obsidian bildet sich aufgrund der großen Hitze im Erdinneren und wird bei Vulkanausbrüchen herausgeschleudert. Naturglas wurde früher von den Menschen als Schmuck, für Gefäße oder andere Gebrauchsgegenstände verwendet.

Herstellungsverfahren

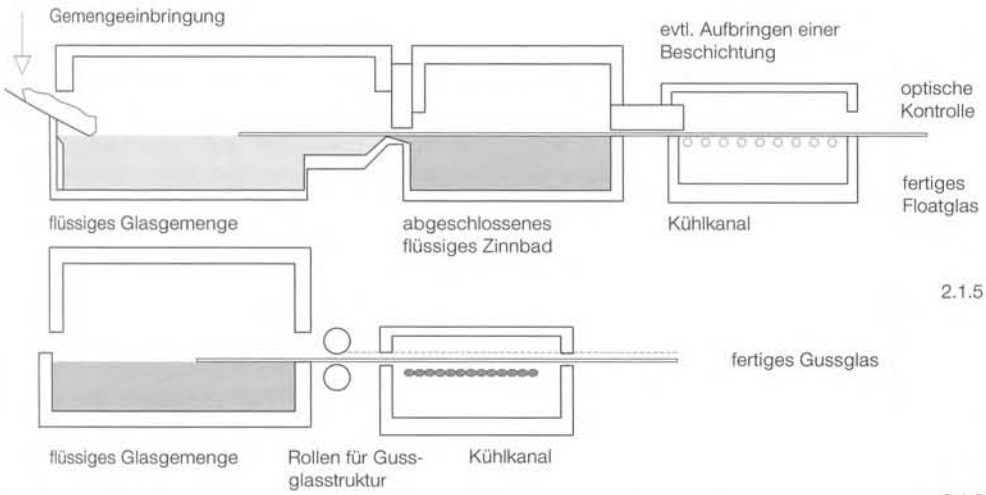
Die Mesopotamier entdecken vor ungefähr 5000 Jahren, dass sich unter großer Hitze (1400 °C) Silizium, Kalk, Natriumkarbonat, kohlensaurer Kali und Metalloxide zu einer glasigen Masse verarbeiten lassen. Die Herstellung ist jedoch äußerst schwierig, so dass Glas sehr selten und damit begehrt war.
Das erste schriftlich überlieferte Rezept findet man auf einer Tontafel des assyrischen Königs Assurbanipal ca. 650 v. Chr.
Flache Glasscheiben werden durch Gussverfahren bereits in der Römerzeit hergestellt, aber auch mit dem Zylinderblas- und -streckverfahren. Beim Mondglasverfahren im 14. Jahrhundert werden zum ersten Mal Butzenscheiben ohne Wulst am Rand produziert.
Im 18. Jahrhundert können durch verbesserte Zylinderstreck- oder Blasverfahren erstmals großflächige Scheiben hergestellt werden.
Der Engländer Alastair Pilkington entwickelt im Jahre 1959 das Floatverfahren. Die viskose Glasschmelze wird auf ein flüssiges ebenes Zinnbad geleitet und schwimmt obenauf. Infolge der Oberflächenspannungen, zusammen mit den Viskositäten der Glasschmelze und des Zinnbades, bildet sich das flüssige Glas in einer Dicke von 6 mm aus. An der Eintrittsstelle der Glasschmelze hat das Zinnbad eine Temperatur von 1000 °C, an der Austrittsstelle 600 °C. Danach wird das Glas langsam während eines kontrollierten Prozesses spannungsfrei abgekühlt und die fertige Glasplatte lässt sich schneiden (siehe »Die wesentlichen Etappen der Herstellung«, S. 10ff.)

Zusammensetzung

Das heutzutage hergestellte Basisglas setzt sich zusammen wie in Abb. 2.1.2 aufgeführt. Neben den erwähnten können auch geringe Anteile anderer Stoffe enthalten sein, um Eigenschaften (z.B. Ausdehnungskoeffizient) und Farbe zu beeinflussen.
Um eingefärbtes Glas in der Masse herzustellen, werden geeignete Zusatzstoffe in minimaler Konzentration hinzugefügt, die die mechanische Festigkeit jedoch nicht verändern.

Beständigkeit

Im allgemeinen ist Kalk-Natron-Glas gegen Säuren und Laugen beständig. Ebenso ist die Glasoberfläche ausreichend hart (Ritzhärte nach Mohs ca. 5–6). Mit dieser Angabe wird



2.1.5

2.1.6

die Eigenschaft der Glasoberfläche gegen Verkratzungen beschrieben. So können spitze, harte Gegenstände wie z.B. kleine Sandkörner im Wischwasser beim unsachgemäßen Putzvorgang Haarkratzer auf der Oberfläche verursachen.
Steht über einen längeren Zeitraum ein Wasserfilm auf einer Glasoberfläche, so bilden sich Auslaugungen. Die Bindung zwischen Silizium und Sauerstoff im Wasser ist fester als zu den Einlagerungen in den Netzwerklöchern des Glases, d.h. zu Natrium, Calcium und Magnesium-Ionen, so dass diese schneller in Lösung mit dem Wasserfilm gehen. In der geringen Wassermenge dieses Films steigt die alkalische Konzentration und greift das restliche saure Netzwerk an, was zu einer Korrosion der Glasoberfläche führt. Solche Angriffe auf die Glasoberfläche treten für gewöhnlich bei Verglasungen an Fassaden und Fenstern nicht auf, es sei denn, Wasser kann von einer horizontalen Fläche nicht ablaufen.
Auswaschungen werden auch durch den Kontakt von Glas mit Mineralputzen, frischem Beton oder durch extreme alkalische Reinigungsmittel verursacht.

Glasarten

Während bisher für die Basisglasprodukte Floatglas, gezogenes Glas, Ornamentglas und Gläser mit Drahteinlage die Normen nur für große Fertigungsmaße galten, schließt DIN EN 572 Teil 8 nun auch das Festmaß ein – d.h. die Abmessungen, die eingebaut werden. Die zu erwartenden Maßtoleranzen, aber auch die Grenzen der etwaigen Fehler müssen abhängig von den Abmessungen festgelegt werden. Beim Gussglas werden zudem die Toleranzen der Abweichungen im Design definiert und die Grenzwerte festgeschrieben. Damit ist ein wesentlicher Schritt erfolgt, die Normen an die Anforderungen der Praxis anzupassen.
DIN EN 572 Teil 9 regelt das Konformitätsverfahren für die einzelnen Produkte, das dem Hersteller vorgibt, welche Maßnahmen durchgeführt werden müssen, um den Nachweis für die Konformität mit der harmonisierten Norm zu erbringen (siehe »CE-Zertifizierung«, S. 344). Dies ist eine Grundanforderung, um ein Produkt uneingeschränkt in Europa in den Handel zu bringen.

Floatglas

Floatglas ist heute die am meisten verwendete Glasart und wird im bereits beschriebenen Floatverfahren hergestellt (Abb. 2.1.5).
Die industrielle Fertigung ermöglicht es, in großen Mengen klar durchsichtiges Glas mit nahezu planen Oberflächen in den Dicken von 2 bis 25 mm herzustellen (Abb. 2.1.7). Moderne Floatanlagen produzieren ca. 600 t Glas von 4 mm Dicke pro Tag. Maximale Bandmaße von 320 x 600 cm stehen für die Weiterverarbeitung zur Verfügung (siehe DIN EN 572 Teil 2).
Floatglas kann während des Herstellungsprozesses eingefärbt werden, entsprechend ändern sich die Werte für den Lichttransmissionsgrad. Durch besondere Auswahl der Rohstoffe, z.B. geringere Mengen an Fe_2O_3, kann die leicht grüne Eigenfarbe von Floatglas reduziert oder nahezu aufgehoben werden. Glas hat dann so gut wie keine Eigenfarbe mehr und wird auch als eisenarmes oder extraweißes Glas bezeichnet. Die Temperaturwechselbeständigkeit beträgt etwa 30 K bis maximal 40 K. Entstehen Temperaturfelder über der Glasoberfläche, deren Differenz in diesem Bereich liegt, kann es zum Glasbruch kommen. Der warme Bereich möchte sich ausdehnen, wird aber durch den kalten daran gehindert. Es entstehen Zugspannungen im kalten Bereich, die dann zum Bruch führen können, besonders, wenn diese Differenz zur abgedeckten Kante besteht. Das Bruchbild von Floatglas zeigt Abb. 2.1.3.

Fensterglas

Zur Herstellung von sehr dünnem bis zu teilweise dickem Glas gibt es heute vereinzelt noch so genannte Ziehglasanlagen mit vertikaler Ziehrichtung nach Emile Fourcault und mit horizontaler Ziehrichtung nach Libbey Owens (beide entstanden um 1905).
Fensterglas und Floatglas haben die gleiche chemische Zusammensetzung sowie die gleichen allgemeinen physikalischen Eigenschaften. Dennoch hat Fensterglas im Vergleich zu Floatglas in den Oberflächen leichte, vertikal zur Ziehrichtung liegende Ziehwellen, die teilweise

Glasdicke	Toleranz
2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm	± 0,2 mm
8 mm, 10 mm, 12 mm	± 0,3 mm
15 mm	± 0,5 mm
19 mm, 25 mm	± 1,0 mm

Die Eigenschaften von ungefärbtem und eingefärbtem Floatglas sind in der europäischen Norm DIN EN 572 Teil 2 festgelegt.

2.1.7

Glasdicke	Mindestwert
3 mm	0,88
4 mm	0,87
5 mm	0,86
6 mm	0,85
8 mm	0,83
10 mm	0,81
12 mm	0,79
15 mm	0,76
19 mm	0,72
25 mm	0,67

2.1.8

Glasdicke	Toleranz
2 mm, 3 mm, 4 mm	± 0,2 mm
5 mm, 6 mm	± 0,3 mm
8 mm	± 0,4 mm
10 mm	± 0,5 mm
12 mm	± 0,6 mm

Fensterglas ist europaweit in DIN EN 572 Teil 4 genormt.

2.1.9

Glasdicke	Toleranz
3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm	± 0,5 mm
8 mm	± 0,8 mm
10 mm	± 1,0 mm

Ornamentglas ist europaweit in DIN EN 572 Teil 5 genormt. Andere Glasdicken sind möglich, momentan jedoch noch nicht normmäßig erfasst.

2.1.10

Glasdicke	Toleranz
3 mm, 4 mm, 5 mm, 6,5 mm, 7,5 mm	- 0,4 / + 0,5 mm
9 mm, 11 mm, 13 mm, 15 mm	- 0,9 / + 1,0 mm

2.1.11

Hauptbestandteile von Borosilikatglas		
Siliziumdioxid	(SiO_2)	70–87 %
Boroxid	(CaO)	7–15 %
Natriumoxid	(Na_2O)	1–8 %
Kaliumoxid	(MgO)	1–8 %
Aluminiumoxid	(Al_2O_3)	1–8 %

2.1.12

Eigenschaften	Symbol	Zahlenwert mit Einheit
Dichte bei 18 °C	r	2200–2500 kg/m³
Härte		6 Einheiten nach Mohs Skala
Elastizitätsmodul	E	6–7 x 10^{10} Pa
Poisson'sche Zahl	m	0,2
spezifische Wärmekapazität	c	0,8 x 10^{3} J/(kg x K)
mittlerer thermischer Ausdehnungskoeffizient	α	Klasse 1: (3,1 bis 4,0) x 10^{-6} K^{-1} Klasse 2: (4,1 bis 5,0) x 10^{-6} K^{-1} Klasse 3: (5,1 bis 6,0) x 10^{-6} K^{-1}
Wärmeleitfähigkeit	λ	1 W/(m x K)
mittlerer Brechungsindex im sichtbaren Wellenlängenbereich von 380–780 nm	n	1,5

2.1.13

Glasdicke	Mindestwert
3 mm	0,90
4 mm	0,90
5 mm	0,90
6 mm	0,89
7 mm	0,89
8 mm	0,89
10 mm	0,88
15 mm	0,84

2.1.14

2.1.13 allgemeine physikalische Eigenschaften von Borosilikatglas
2.1.14 Lichttransmissionsgrad für Borosilikatglas
2.1.15 Glasdicken von Glaskeramik
2.1.16 Zusammensetzung von Glaskeramik
2.1.17 allgemeine physikalische Eigenschaften von Glaskeramik
2.1.18 Prinzipskizze Profilbauglas
2.1.19 Verlegeart von Profilbauglaselementen
a einschalig
b einschalig »Spundwand« (Innenwand)
c zweischalig

Glasdicke	Toleranz
3 mm, 4 mm	± 0,2 mm
5 mm, 6 mm	± 0,3 mm
7 mm, 8 mm	± 0,4 mm

2.1.15

Zusammensetzung von Glaskeramik		
Siliziumdioxid	(SiO_2)	50–80 %
Aluminiumoxid	(Al_2O_3)	15–27 %
Lithiumoxid	(Li_2O)	0–5 %
Zinkoxid	(ZnO)	0–5 %
Titandioxid	(TiO_2)	0–5 %
Zirkondioxid	(ZrO_2)	0–5 %
Magnesiumoxid	MgO)	0–8 %
Kalziumoxid	(CaO)	0–8 %
Bariumoxid	(BaO)	0–8 %
Natriumoxid	(NaO_2)	0–2 %
Kaliumoxid	(K_2O)	0–5 %

2.1.16

schon bei der Durchsicht, aber auch im Reflexionsbild erkennbar sind.
Der Lichttransmissionsgrad für Float- und Fensterglas zeigt Abb. 2.1.8.
Das Bruchbild von Fensterglas entspricht dem von Floatglas (Abb. 2.1.3), verfügbare Glasdicken sind in Abb. 2.1.9 aufgeführt.

Ornamentglas oder Gussglas

Bei der Herstellung von Ornament- oder Gussglas (Abb. 2.1.6) wird die flüssige Glasschmelze wie bei einer überlaufenden Wanne zwischen ein oder mehrere Walzenpaare geleitet und erhält dadurch die für jeden Glastyp charakteristische Oberflächenstruktur. So können je nach Ausbildung der Walzen- oder Tischflächen zwei glatte Oberflächen, eine glatte oder eine strukturierte Oberfläche oder zwei strukturierte Oberflächen auf dem Glas erzeugt werden. Gussgläser sind transluzent, eine klare Durchsicht wie bei Float- oder Fensterglas ist nicht möglich. An den mehr oder weniger stark ausgeprägten Oberflächenstrukturen wird das Licht gestreut. Dadurch ist es möglich, einen Raum natürlich zu belichten, eine klare Durchsicht aber auszuschließen. Je nach Strukturanordnung kann das Licht gerichtet in den Raum geführt werden, wodurch z. B. die Decke eines Raumes heller erscheint.
Die Temperaturwechselbeständigkeit bei Ornament- oder Gussglas beträgt wie bei Floatglas etwa 30 K bis maximal 40 K. Das Bruchbild von Ornament- oder Gussglas entspricht dem von Floatglas (Abb. 2.1.3).
Es ist möglich, während des Herstellungsprozesses ein Drahtnetz in das noch flüssige Glas einzulegen. Dieses Glasprodukt wird als Drahtornamentglas bezeichnet, mit zwei glatten Oberflächen als Drahtglas (DIN EN 572 Teil 6). Nach DIN 18361 ist es kein Sicherheitsglas. Die Temperaturwechselbeständigkeit liegt bei etwa 20 K. Das Bruchbild von Drahtglas zeigt Abb. 2.1.4, verfügbare Dicken sind in Abb. 2.1.10 aufgeführt.
Die physikalischen Eigenschaften von Ornamentglas und Floatglas entsprechen sich. Die Biegebruchfestigkeit ist infolge der Oberflächenstruktur im Vergleich zu Floatglas etwas geringer.
Im Zuge der Revidierung von DIN EN 12150 Teil1 ist die Palette der Gussgläser hinsichtlich der Dicken angepasst und erweitert worden.

Borosilikatglas

Das Glas erhält einen Zusatz von ca. 7–15 % Boroxid. Im Vergleich zu Float- und Fensterglas liegt der Ausdehnungskoeffizient niedriger. Dadurch hat Borosilikatglas eine wesentlich höhere Temperaturwechselbeständigkeit sowie eine hohe Beständigkeit gegen Laugen und Säuren.
Borosilikatglas kann heute wie Float- und Fensterglas, aber auch wie gewalztes und gegossenes Glas hergestellt werden. Eingesetzt wird es dort, wo hohe Temperaturwechselbeständigkeit, z. B. Brandschutz, gefordert wird. Die entsprechenden Anforderungen an die Weiterverarbeitung und an die Verglasung müssen hierbei unbedingt beachtet werden.
Das Bruchbild von Borosilikatglas entspricht dem von Floatglas (Abb. 2.1.3). Verfügbare Glasdicken, Hauptbestandteile, allgemeine physikalische Eigenschaften und der Lichttransmissionsgrad von Borosilikatglas zeigen Abb. 2.1.11 bis 2.1.14.

Erdalkaliglas

Erdalkaliglas besitzt ein etwas höheres spezifisches Gewicht als Floatglas und einen geringeren mittleren thermischen Längenausdehnungskoeffzienten von 8 x 10^{-6}[K^{-1}] für den Bereich 200–300 °C, während Floatglas einen Wert von 9 x 10^{-6}[K^{-1}] aufweist. Seine Erweichungstemperatur liegt gegenüber Floatglas um ca. 200 °C höher.
Dieses Glas kann, wenn es speziell thermisch vorgespannt wird, als Brandschutzglas eingesetzt werden. In der Anwendung ist für die einzelne Rahmenkonstruktion mit diesem Glas eine entsprechende Zulassung erforderlich.
DIN EN 14178 Teil 1 beschreibt die Zusammensetzung von Erdalkaliglas sowie dessen Eigenschaften. Im Teil 2 sind die Anforderungen für den Nachweis der Konformität festgelegt.

Glaskeramik

Die heutigen Verfahren ermöglichen es auch, Materialien mit gesteuerter Kristallisation herzustellen. Diese gelten nicht mehr als Gläser im eigentlichen Sinn, sondern können einen teilweise oder vollkommen mikrokristallinen Aufbau haben und dabei trotzdem absolut glasklar sein. Ihr Ausdehnungskoeffizient liegt nahezu bei 0. Glaskeramiken (DIN EN 1748 Teil 2-1) werden ebenso wie Floatglas, gezogenes oder gewalztes Glas hergestellt. Durch weitere Zuschlagstoffe können sie entsprechend gefärbt werden. Das Bruchbild von Glaskeramik entspricht prinzipiell dem von Floatglas (Abb. 2.1.3). Glaskeramiken werden kaum im Bausektor eingesetzt, finden aber z. B. als Kochplatten Verwendung.
Glasdicken und Zusammensetzung von Glaskeramik sind in den Abb. 2.1.15 und 2.1.16, die allgemeinen physikalischen Eigenschaften in Abb. 2.1.17 aufgeführt.

Alumosilikatglas

Alumosilikatglas wird in DIN EN 1059 Teil 1 beschrieben. Es enthält als wesentliche Bestandteile neben Siliziumdioxid (SiO_2) vor allem 16–27 % Aluminiumtrioxid (Al_2O_3) sowie ca. 15 % Erdalkalien. Charakteristisch ist, dass keine Alkalioxidien vorhanden sind. Das spezifische Gewicht liegt etwas höher als bei Floatglas, ebenso sein Transformationspunkt und die Viskosität. Alumosilikatglas wird nach dem Floatverfahren herstellt und für Verglasungen eingesetzt, die widerstandsfähig gegen Feuer sein müssen.

Poliertes Drahtglas

Poliertes Drahtglas, früher als Drahtspiegelglas bezeichnet, ist ein klares Kalk-Natron Glas, des-

sen Oberflächen poliert und planparallel sind. Es wird im Gießverfahren hergestellt und gewalzt. Während der Herstellung wird ein punktgeschweißtes Drahtnetz eingelegt. Sämtliche Kreuzungspunkte sind verschweißt (DIN EN 572 Teil 3).
Poliertes Drahtglas wird in den Nenndicken 6 mm und 10 mm hergestellt. Die Minimaldicke beträgt 6 bzw. 7,4 mm, die Maximaldicke 9,1 bzw. 10,9 mm. Die maximalen Abmessungen betragen in der Länge 1650–3820 mm und in der Breite 1980 mm. In DIN EN 572 Teil 3 sind Toleranzen und mögliche Fehler aufgeführt und bewertet. Poliertes Drahtglas ist nach DIN 18361 kein Sicherheitsglas und besitzt keine Sicherheitseigenschaften. Der Einsatz erfolgt meist aus optischen Gründen, in eingeschränkten Bereichen als widerstandsfähige Verglasung gegen Feuer (Feuerwiderstandsklasse G30) und als splitterbindende Verglasung im Dachbereich mit maximalen Stützweiten von < 100 cm oder in vertikalen Verglasungen 180–200 cm über dem Fußboden, also außerhalb von Verkehrswegen.
Das Bruchbild von poliertem Drahtglas zeigt Abb. 2.1.4.

Profilbauglas

Profilbauglas ist ein in der Form profiliertes Glaselement mit strukturierten Oberflächen, das nach dem Gussglasverfahren hergestellt wird. Ein schmaler, noch verformbarer Glasstreifen wird nach der Glaswanne so über Formen geführt, dass dabei die Glaskanten vertikal nach oben gebogen werden. Das fertige Glaselement hat eine U-Form und wird in langen Bahnen geliefert (Abb. 2.1.18). Das Produkt Profilbauglas ist in Abmessungen und Aufbau in der europäischen Norm DIN EN 572 Teil 6 beschrieben.
Profilbauglas wird sprossenlos montiert und findet nicht nur im Industriebereich Anwendung. Es kann einschalig, einschalig als »Spundwandsystem« oder auch zweischalig montiert werden. Das Bruchbild entspricht etwa dem von Floatglas in schmalen Abmessungen (Abb. 2.1.3). Profilbauglas wird auch wie Drahtglas mit Drahteinlage hergestellt.
In der Regel wird Profilbauglas nach dem Einschubsystem verbaut. Hierzu werden die Profilbauglasbahnen in ein 50 mm tiefes Rahmenprofil eingeschoben und unten in einen mindestens 20 mm tiefen Falz eingestellt. Der Glaseinstand soll oben mindestens 20 mm und unten 12 mm betragen. Diese Einstände sind zur Stabilität der so erstellten Wand erforderlich. Bei einer zweischaligen Verlegeart müssen zusätzliche Abpolsterungen bzw. Abdichtungen oder anderweitige Konstruktionsmerkmale je nach Verlegerichtlinien der Hersteller vorgesehen werden. Durch die doppelschalige Bauweise wird eine höhere Wärmedämmung erreicht (Abb. 2.1.19). Der von beiden Glasprofilen gebildete Zwischenraum ist nicht wie bei Isoliergläsern hermetisch abgeschlossen und entfeuchtet, sondern enthält Luft mit entsprechendem Feuchtigkeitsgrad. Die Konstruktion von Profilbauglas ähnelt der von Doppelfenstern oder Verbundfenstersystemen. Zur Vermeidung von Kondensat bei Abkühlung der feuchten Luft sollte wie bei diesen Fenstertypen eine Öffnung zur trockeneren Außenluft bestehen. Dieser Dampfdruckausgleich verhindert weitreichend eine Kondensatbildung.
Profilbauglas kann auch thermisch vorgespannt werden. Infolge der Formgebung muss eine produktspezifische Prüfung zur Ermittlung der Festigkeit festgelegt werden. Damit erweitern sich die Anwendungsbereiche, wobei immer die Verlegeart entscheidend ist. Eine Norm hierzu wird 2007 erwartet.

Glasstein

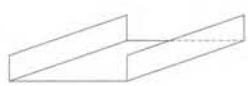
Glassteine (früher Glasbausteine) sind Hohlglaskörper. Bei ihrer Herstellung wird ein Glasgemenge geschmolzen und auf ca. 1200 °C abgekühlt. Anschließend wird die teigige Masse zu Schalen geformt, jeweils zwei davon zusammengesetzt und an den Kontaktflächen wieder so erhitzt, dass sie miteinander verschmelzen.
Beim weiteren Abkühlen entsteht in diesem Hohlkörper mit luftdicht abgeschlossenem Zwischenraum ein Teilvakuum von ca. 30 % und damit ein starker Unterdruck. Eine Kondensatbildung ist im intakten Stein unmöglich.
Die beiden äußeren Sichtflächen sind je nach Prägeform strukturiert oder glatt. Glassteine werden in begrenzten Abmessungen hergestellt und durch die europäische Norm DIN EN 1051 beschrieben. Glassteinwände sind durch die europäische Norm DIN EN 12725 festgelegt (deutsche Norm DIN 18175 für Glassteine, DIN 4242 für Bauteile aus diesen). Glassteine können eingefärbt und die Oberflächen auf unterschiedliche Art strukturiert werden.
Der Glasstein ist durch seine besondere Form als Gestaltungselement einsetzbar. Wände aus Glassteinen können auch mit den Feuerwiderstandsklassen G60 und G120 hergestellt werden. Entsprechende Zulassungen müssen bei den Herstellern erfragt werden. Der Wandaufbau muss exakt der Zulassungsbeschreibung entsprechen. Glassteindecken können als begehbare Verglasung hergestellt werden.

Beschichtung von Glas

Heute existiert eine Vielzahl von Beschichtungsmöglichkeiten. Die Verfahren werden laufend verbessert und – entsprechend der Nachfrage am Markt – an die unterschiedlichen Anforderungen angepasst. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, fabrikatsunabhängig Schichtaufbauten anzugeben (Abb. 2.1.20). Die Beschichtung kann je nach Art, Aufbau oder Zusammensetzung der Schicht außen, innen oder im Scheibenzwischenraum angebracht werden. Angaben zur Festigkeit, Beständigkeit oder Einsatzmöglichkeit im eingebauten Zustand können beim Hersteller erfragt werden. In der europäischen Norm

Eigenschaften	Symbol	Zahlenwert mit Einheit
Dichte bei 18 °C	r	2500–2600 kg/m³
Härte, Knoop'sche Härte	$HK_{01/20}$	600–750
Elastizitätsmodul	E	9×10^{10} Pa
Poisson'sche Zahl	m	0,2
spezifische Wärmekapazität	c	$0{,}8–0{,}9 \times 10^3$ J/(kg × K)
mittlerer thermischer Ausdehnungskoeffizient	α	Null
Wärmeleitfähigkeit	λ	1,5 W/(m × K)
mittlerer Brechungsindex im sichtbaren Wellenlängenbereich von 380–780 nm	n	1,5

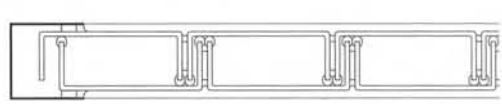
2.1.17



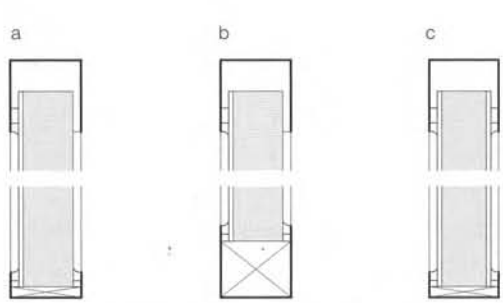
2.1.18

a Der Regeleinbauweise liegt das Einschubprinzip zugrunde, d.h. die Profilbauglasbahnen werden in das obere, ca. 50 mm hohe Rahmenprofil eingeschoben und über das ca. 20 mm hohe, untere Rahmenprofil eingestellt.

b Der Glaseinstand beträgt:
oben ≥ 20 mm
unten ≤ 12 mm

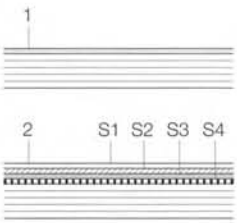


c Die Bautiefe richtet sich nach der Auswahl der Profilbauglastypen.



Zusätzliche Abpolsterungen bzw. Abdichtungen oder sonstige Konstruktionselemente müssen in Abhängigkeit von der Anwendung den neuesten Herstellerrichtlinien entnommen werden.

2.1.19



Schicht 1: Schutzschicht
z.B. SnO_2 ZnO
Schicht 2: wirksame Schicht
z.B. NiCr, TiO_2
Schicht 3: wirksame Schicht
z.B. Ag
Schicht 4: Haftvermittlung
zum Glas
z.B. SnO_2, ZnO

1 pyrolitische Schicht mit der Glasoberfläche direkt verbunden
2 Magnetronschichten für Wärme-/Sonnenschutz

2.1.20

DIN EN 1096 Teil 1–4 werden Definitionen und Klasseneinteilungen für die unterschiedlichen Einsatzgebiete entsprechend der Beständigkeit der Schicht festgelegt. In Prüfverfahren und Produktionskontrollen wird unter Abwägung aller Randbedingungen die Funktionsfähigkeit der Schichten getestet.

Es gibt folgende Klasseneinteilung:

Klasse A
Die Beschichtung liegt auf der nach außen gewandten Glasoberfläche, die der direkten Bewitterung ausgesetzt ist.

Klasse B
Die Beschichtung liegt auf der äußeren direkten abgewandten Glasoberfläche und soll so vor unmittelbaren atmosphärischen Einflüssen geschützt werden. Das beschichtete Glas kann als Einfachglas verwendet werden.

Klasse C
Die Beschichtung wird nur zum Scheibenzwischenraum (SZR) in einer Isolierglaseinheit verwendet. Das Glas muss in einer speziellen Verpackung transportiert werden und kann nur unmittelbar vor der Weiterverarbeitung bearbeitet werden.

Klasse D
Das beschichtete Glas wird nur zum SZR verwendet und muss sofort nach der Herstellung zu einer Isolierglaseinheit verarbeitet werden. Es kann nicht als Einfachglas verwendet werden.

Klasse S
Die beschichtete Oberfläche kann sowohl innen als auch außen eingesetzt werden und ist für besondere Anforderungen (z. B. Schaufenster) geeignet.

Beschichtete Gläser können grundsätzlich zu Isolierglas und Verbundsicherheitsglas weiterverarbeitet werden. Einige Beschichtungen erlauben auch eine thermische Weiterverarbeitung zu gebogenem, thermisch vorgespanntem oder teilvorgespanntem Glas.

Online Beschichtung (pyrolitische Beschichtung)
Während des Herstellungsprozesses für Floatglas wird auf die obere, noch heiße Glasoberfläche ein Metalloxid aufgebracht und fest mit dem Glas verbunden. Die so beschichteten Gläser können einerseits durch ein die Sonnenstrahlung reflektierendes Metalloxid den Sonnenschutz verbessern, andererseits durch eine emissionsmindernde Zinnoxidbeschichtung zum Wärmeschutz beitragen. Nach dem Online-Verfahren emissionsmindernd beschichtete Gläser erreichen eine Emissivität von ca. 13 % gegenüber 90 % bei einer normalen Glasoberfläche. Das entspricht einem Isolierglas mit 12 mm SZR und 95 % Argon-Gasfüllung mit Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von 1,8 W/m². Liegt die Beschichtung frei und verschmutzt oder bildet sich Kondensat auf der Schicht, verändert sich ihre Emissivität. Die Oberflächenbeständigkeit dieser Beschichtungen ist etwa so hoch wie die einer Glasoberfläche.

Offline Beschichtung
Kathodenstrahlverfahren (Sputtering)
Das Kathodenstrahlverfahren ist ein physikalischer Beschichtungsprozess. Nach der Glasherstellung und dem Zuschnitt wird das Glas nach dem Kathodenstrahlverfahren mit Oxiden, z. B. Metalloxiden, beschichtet. Hierbei werden freie Elektronen in einem elektrischen Feld beschleunigt und treffen auf ein Gasmolekül. Dieses erhält dabei eine positive Polarität und prallt, beschleunigt durch das elektrische Feld, auf eine Kathode mit negativer Ladung. Die Kathode ist mit dem zu beschichtenden Material versehen. Beim Aufprall werden Partikel herausgeschlagen und zur Glasoberfläche geleitet. Dieser Prozess wird millionenfach wiederholt. Glas, das durch die Beschichtungsanlage hindurchläuft, wird somit auf einer Seite kontinuierlich beschichtet.
Je nach Art des aufgebrachten Materials sind diese Schichten mehr oder weniger haltbar und erreichen heute noch nicht die Beständigkeit von Floatglasoberflächen oder im Online-Verfahren hergestellten Schichten. Ziel der Industrie ist es, die Beständigkeit der Schichten der Beständigkeit der Glasoberflächen anzupassen.
Gläser, die nach dem Kathodenstrahlverfahren beschichtet wurden, können heute normalerweise nur eine begrenzte Zeit (ca. drei Monate) der freien Atmosphäre ausgesetzt werden. Sie müssen demnach als Isolierglas mit der Schichtseite zum SZR verwendet werden, um sie damit auch vor Feuchtigkeit zu schützen. Innerhalb der vorgegebenen Lagerzeit können diese Schichten in geeigneten Waschanlagen ohne Beschädigung gereinigt werden.
Im heute noch teilweise angewendeten Hochvakuumverfahren werden Metalle oder Oxide durch Elektronen im Hochvakuum aus einem Metall (z. B. Gold) herausgeschlagen und auf die im Autoklaven stehende Scheibenoberfläche aufgebracht. Derart beschichtete Gläser müssen so schnell wie möglich weiterverarbeitet werden.

Verdampfung
Die ersten Goldbeschichtungen wurden durch diesen physikalischen Beschichtungsprozess hergestellt. Dabei erhitzte man das zu verdampfende Material, damit es sich auf der Glasoberfläche niederschlägt.
Dieses Verfahren wurde durch das Kathodenstrahlverfahren abgelöst.

Sol-Gel-Verfahren
Das Sol-Gel-Verfahren (Tauchverfahren) ist ein chemischer Beschichtungsprozess, bei dem Glas in eine Flüssigkeit getaucht wird. Dabei haften die metallischen Verbindungen auf den eingetauchten Glasoberflächen und Kanten

und werden pyrolitisch, also durch Hitze zersetzt, in die entsprechenden Oxide umgewandelt. Es können so Sonnenschutzgläser oder Gläser mit geringem Reflexionsgrad hergestellt werden.

Oberflächenbehandlung von Glas

Emaillierung

Bei diesem Verfahren wird eine zuvor aufgebrachte, farbige keramische Schicht während des Herstellungsprozesses von thermisch vorgespanntem oder teilvorgespanntem Glas in die Glasoberfläche eingebrannt.
Die Emailleschicht kann auch im Sprühverfahren oder als Siebdruck aufgebracht werden, wobei Unterschiede bei einem Durchscheineffekt entstehen können.

Ätzung

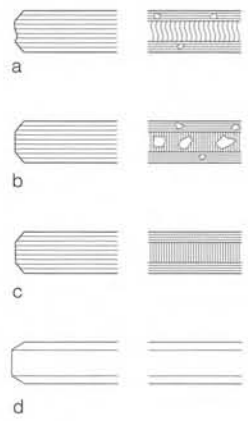
Die Oberfläche von Glasscheiben kann durch Säure mattiert werden. Der Mattierungsgrad ist abhängig von der Einwirkungsdauer der Säure. Durch Abdecken einzelner Bereiche können Muster und Bilder in die Oberfläche geätzt werden. Je stärker die Ätzungen sind, umso mehr steigt die Rauheit der Scheibenoberfläche an. Die Transparenz des Glases nimmt mit zunehmendem Rauheitsgrad ab. Licht fällt gestreut durch die Scheibe, eine klare Durchsicht ist nicht mehr gegeben. Je weiter sich ein Gegenstand hinter der Verglasung befindet, umso stärker verschwimmen seine Konturen. Geätzte Scheiben können auch gebogen oder vorgespannt werden, hierzu sollte aber der Hersteller befragt werden.

Sandstrahlmattierung

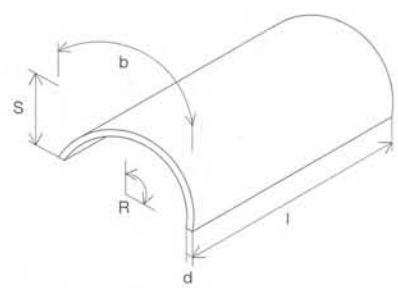
Glasoberflächen können mit Sandstrahl bearbeitet und dadurch mattiert werden. Die Glasoberfläche wird dabei aufgeraut. Die optische Wirkung ähnelt sehr stark einer durch Ätzung behandelten Scheiben. Auch sandgestrahlte Scheiben werden transluzent, optische Muster und Bilder können ebenso durch Abdecken einzelner Bereiche aufgebracht werden. Weitere Verarbeitungen müssen mit dem Hersteller abgestimmt werden.
Feuchte oder durch Fett oder Reinigungsmaterial benetzte Oberflächen können die Optik der Scheibe beeinträchtigen. Je nach Wischrichtung beim Reinigen entstehen optische Veränderungen.

Kantenbearbeitung von Glas

Glaskanten können in vielfältiger Weise bearbeitet werden (Abb. 2.1.21). Die normale Schnittkante stellt die einfachste Bearbeitung dar. Sie wird überall dort eingesetzt, wo die Glaskante im Rahmen liegt und somit keine Gefahr besteht, sich an ihr zu verletzen. Weitere Kantenbearbeitungen sind durch Schleifen und Polieren möglich. Für die Herstellung von Einscheibensicherheitsglas (ESG) wird die Kante gebrochen, d.h. die scharfe Kante wird leicht schräg so bearbeitet, dass sie entschärft ist. In DIN 1249 Teil 12 werden die einzelnen Kanten beschrieben, ebenso in der europäischen Norm DIN EN 12150 Teil 1 für vorgespanntes Glas. Eine auf Maß geschliffene Kante darf im Kantenquerschnitt noch Restinseln aufweisen, weil hierbei das Maß entscheidend ist. Eine polierte Tischplatte z.B. soll in ihrer Kantenbeschaffenheit einwandfrei sein, während das Maß – z.B. auf 0,5 mm genau – keine Rolle spielt. Beim Zusammentreffen mehrerer Scheiben ist die Maßhaltigkeit jedoch entscheidend.
Besondere Schliffe auch über die Fläche im Kantenbereich sind z.B. bei Spiegeln möglich. Die Kantenbearbeitungen sollten unbedingt vor Auftragserteilung bestimmt werden, gegebenenfalls sind Referenzmuster zu erstellen.
Bei der Angabe von Kantenbearbeitungen sollte besonders beachtet werden, dass eine Angabe über die Ausführung der Ecke erforderlich ist. Sofern entsprechende Angaben fehlen, muss die Ecke selbst nicht zusätzlich bearbeitet werden. Die Ecke ergibt sich in diesem Fall aus der Bearbeitung der sie bildenden Kanten.
Thermisch vorgespannte Gläser dürfen nachträglich nicht mehr bearbeitet werden. Dies gilt auch für solche, die zu einem Verbund- oder Verbundsicherheitsglas verarbeitet wurden (siehe »Thermisch behandelte Gläser«).



2.1.21



b Abwicklung (Bogenmaß)
S Stichhöhe
R Radius (Innenhaut)
l Länge/Höhe
d Dicke Scheibe/Element

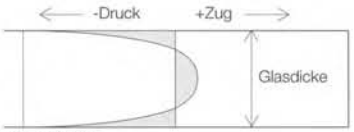
2.1.22

Thermisch behandelte Gläser

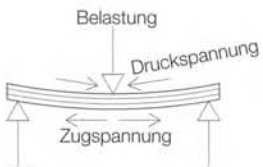
Gebogenes Glas

Ebene Glasscheiben können nachträglich gebogen werden. Dabei muss die Scheibe über den Transformationspunkt erhitzt werden, d.h. Glas geht aus dem festen in den weichen Zustand über (640 °C). Das teigige Glas wird in die vorgefertigte Form eingelegt oder gedrückt und anschließend wieder spannungsfrei abgekühlt. Je nach Größe, Form und Dicke des Glases müssen die Biegetoleranzen, die sich aus dem Biegeprozess ergeben, berücksichtigt werden.
Gebogene Scheiben können normal abgekühlt werden, sie können aber auch zu vorgespanntem Glas weiterverarbeitet werden. Ebenso kann aus gebogenem Glas Verbund- oder Verbundsicherheitsglas hergestellt werden. Die jeweiligen Abmessungen müssen bei den Glasherstellern erfragt werden und hängen sehr stark von den Größen der Produktionsöfen, aber auch von der Form ab. Entscheidend sind Länge und Breite sowie der Biegeradius und die Stichhöhe, wobei letztere Werte sich entweder auf die innere oder äußere Oberfläche der gebogenen Einheit beziehen (Abb. 2.1.22). Gebogene Scheiben sind durch ihre Form starrer als ebene Scheiben und können sich bei Belastung weniger verformen. Der Rahmen, in den sie zur Verglasung eingestellt werden, muss die Toleranzen aus der Biegung berücksichtigen. Für die Montage sollte deshalb eine Lehre erstellt werden, die die Biege-

2.1.20 Grundaufbau von beschichtetem Glas; weitere Schichten sind möglich
2.1.21 Kantenbearbeitungen von Glas
a gebrochene Kante
b geschliffene Kante mit blanken Stellen
c geschliffene Kante ohne blanke Stellen
d polierte Kante
2.1.22 Bezeichnungen einer gebogenen Scheibe



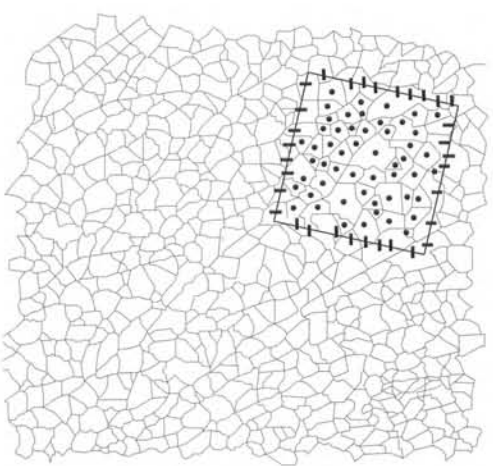
2.1.23



2.1.24

ESG aus	Nenndicke (d) in mm	Mindestanzahl der Bruchstücke
Float- und Fensterglas	3–12	40
	15–19	30
Ornamentglas (Gussglas)	4–10	40

2.1.25



2.1.26

toleranzen berücksichtigt. Es empfiehlt sich gebogene Scheiben immer mit Band und Versiegelung einzusetzen.

Thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas (ESG)

Thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas wird auch als Einscheibensicherheitsglas (ESG) bezeichnet.

Die ebene Glasscheibe wird bis zum Transformationspunkt (mindestens 640 °C) erhitzt. Wenn die gesamte Glasmasse diese Temperatur erreicht hat, wird sie schlagartig mit kalter Luft abgeblasen. Andere Arten der Kühlung sind ebenfalls möglich (Abb. 2.1.27). Somit kühlen die Oberflächen schneller ab und ziehen sich schneller zusammen als der Glaskern. Damit entstehen in der Oberfläche zusätzliche Druckspannungen, die das Glas widerstandsfähiger machen (Abb. 2.1.23). Die Biegebruchspannung steigt an, ebenso die Temperaturwechselbeständigkeit, die bei ca. 200 K liegt.

Bei Belastung von thermisch vorgespanntem Sicherheitsglas kann die Oberfläche infolge der Vorspannung mehr Zugkräfte aufnehmen als die von normal gekühltem Glas. Wird die Vorspannung überschritten, kann es zum Bruch kommen (Abb. 2.1.24).

Wird thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas überbelastet, so bricht es und zerfällt in kleine stumpfkantige Stücke. Für eine Prüfscheibe, die auf einer Fläche aufliegt und auf die keine zusätzlichen äußeren Spannungen wirken, sind die Mindestanzahl der Krümel und deren Größe in einem Zählfeld von 5 x 5 cm bei Anbruch festgelegt (Abb. 2.1.26).

Thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas gilt infolge seiner höheren Biegebruchfestigkeit und seiner Bruchstruktur als Sicherheitsglas. Die stumpfkantigen kleinen Glasbruchstückchen mindern beim Bruch die Verletzungsgefahr.

Thermisch vorgespannte Gläser dürfen nachträglich nicht mehr bearbeitet werden, z.B. geschnitten, geschliffen oder gebohrt. Die Kantenbearbeitung muss vorher erfolgen, hierfür gilt die europäische Norm DIN EN 12150 Teil 1. Abb. 2.1.25 gibt die Mindestanzahl der Bruchstücke an.

Die Brucheigenschaften von ESG nach DIN EN 12150 Teil 2 stehen im direkten Zusammenhang mit dem Maß der eingeprägten Oberflächendruckspannung. Diese Eigenschaften sind unabhängig von der Scheibengrösse.

Wird ESG mit einer Folie verbunden oder zu Verbundsicherheitsglas verarbeitet, kann sich je nach Steifigkeit der Folie und ihres Verbundes zum Glas das Bruchbild etwas verändern. Das Bruchbild, das nach DIN EN 12150 Teil 1 geprüft wird, gilt nur für eine frei liegende Scheibe ohne zusätzliche äußere Einwirkungen. Wird sie verglast oder mit Folie verbunden, wirken bei Bruch den inneren Kräften äußere Kräfte entgegen. Gleiches gilt für den Bruch im eingebauten Zustand.

ESG gewinnt zunehmend an Bedeutung, weil sich seine Einsatzgebiete vergrößern. Deshalb wurde für das Produkt »heißgelagertes ESG« (siehe S. 67) eine eigene Norm erstellt.

DIN EN 12150 Teil 1 wird zur Zeit revidiert. Dabei werden die produktionsbedingten Verwerfungen genauer definiert und die zulässigen Werte verkleinert.

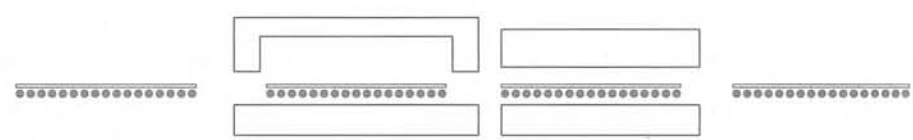
Die bisherige Warnung, dass ESG nach der Herstellung nicht mehr bearbeitet werden darf – also auch die Kanten nicht mehr geschliffen werden können – nahm man als direkten Bestandteil in die Norm auf. Aus Unkenntnis des damit verbundenen Bruchrisikos werden die Kanten immer wieder, z.B. nach der Herstellung von VSG aus ESG, nochmals nachbearbeitet und unter Umständen sogar als Geländer zur Absturzhemmung eingesetzt.

Zur Herstellung von ESG ist eine gebrochene Kante die minimal notwendige Kantenbearbeitung. Wird eine andere Bearbeitung gewünscht oder eingesetzt – auch in Bezug auf die Ausbildung der Ecke –, muss dies vor der Fertigung angegeben werden.

DIN EN 12150 Teil 2 definiert die Anforderungen für den Konformitätsnachweis (siehe »CE-Kennzeichnung«, S. 344).

Glasbruch von ESG-Scheiben entsteht meist durch äußere Einwirkungen, Beschädigungen der Scheibe oder fehlerhafte Konstruktion, die nicht auf die Anwendung und das Glas abgestimmt ist.

Infolge der hohen Biegebruchfestigkeit kann thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas, im Gegensatz zu normalem Glas, auch den Aufprall von Personen abfangen, ohne dabei zu



2.1.27

2.1.23 Aufbau der inneren Spannung bei Einscheibensicherheitsglas (ESG)
2.1.24 Spannungen an der Glasoberfläche bei Belastung
2.1.25 Mindestanzahl der Bruchstücke von ESG
2.1.26 Zählfeldmaske bei gebrochenem ESG an Prüfmuster nach DIN EN 12150 mit zentralen und nicht zentralen Partikeln
2.1.27 Prinzip der Herstellung von vorgespanntem Glas

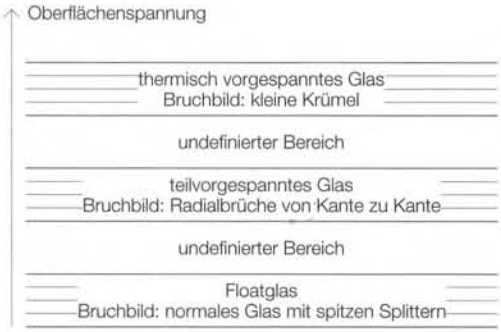
zerbrechen. Voraussetzung ist, dass die Haltekonstruktion der Verglasung dieser Belastung stand hält.
Die Eigenschaft als Sicherheitsglas wird mit dem Pendelschlagversuch nach DIN EN 12600 überprüft. Hierbei trifft als Schlagkörper ein Zwillingsreifen mit vorgegebenem Luftdruck über ein Pendel auf das Glas auf. Über die Fallhöhe wird die in das Glas eingebrachte Energie bestimmt. Aus Fallhöhe und Bruchverhalten kann in Verbindung mit dem Anwendungszweck die Glasart festgelegt werden (siehe auch »Verbundsicherheitsglas«, S. 69f.).

Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Einscheibensicherheitsglas

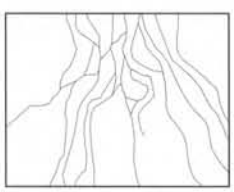
Im Glas können einzelne, mit dem Auge und dem Mikroskop nicht sichtbare Einschlüsse wie z.B. NiS (Nickelsulfid) enthalten sein. Im normal gekühlten Glas üben diese keinen Einfluss auf die Funktion und die Festigkeit des Glases aus, wohl aber im thermisch vorgespannten Glas:
Bei der Herstellung von ESG wird das fertig bearbeitete Glas während des Herstellungsprozesses auf über 600 °C aufgeheizt und danach schlagartig abgekühlt. Ein eventuell vorhandener NiS-Einschluss wird dabei in eine Kristallform mit kleinerem spezifischem Volumen umgewandelt und kann sich beim Abkühlen nicht mehr so schnell in seine ursprüngliche Kristallform mit größerem spezifischem Volumen wandeln. Dazu wäre eine längere Energiezufuhr erforderlich. Da eine spätere Energiezufuhr – z.B. durch Solarstrahlung – nicht ausgeschlossen werden kann, vergrößert sich der Einschluss unter Umständen erst im eingebauten Zustand, z.B. in der Fassade. Dies führt zu Spannungen im Glasquerschnitt, die schließlich zum Bruch führen. Dieser Prozess hängt von vielen Einflussgrößen ab, und es ist daher nicht vorhersehbar, wann eine mit einem NiS-Einschluss behaftete thermisch vorgespannte Glasscheibe zu Bruch gehen wird.
Beim heißgelagerten, thermisch vorgespannten ESG wird nach der Abkühlung durch das anschließende Verfahren der Heißlagerung die Glasmasse nochmals gezielt auf 290 °C (±10 °C) aufgeheizt und mindestes zwei Stunden konstant auf dieser Temperatur gehalten. Bei dieser Temperatur reagieren sämtliche mögliche NiS-Zusammensetzungen und gehen schnell in ihren Ursprungszustand zurück und lösen damit einen Bruch bereits während des Herstellungsprozesses aus.
Damit der Prozess definiert abläuft und jeder Teil des Glases die kritische Temperatur von 290 °C erreicht, müssen gewisse Grundbedingungen erfüllt werden. So soll z.B. der Ofen kalibriert und nicht über seine dabei festgestellte kritische Menge beladen werden. Sollten Brüche während dieses Verfahrens auftreten, dürfen die Zu- und Abluftöffnungen nicht durch Glaspartikel von gebrochenen Scheiben verstopft werden. Außerdem ist eine gleichmäßige Umlüftung jeder einzelnen Glasscheibe erforderlich. Deshalb muss der Abstand der Scheiben untereinander während der Heißlagerung ausreichend groß sein. DIN EN 14179 Teil 1 schreibt diese Anforderungen fest. Im Teil 2 werden die Anforderungen für die Konformität des Produktes in Übereinstimmung mit der harmonisierten Norm aufgeführt (siehe »CE-Kennzeichnung«, S. 344).
Dem Planer und Anwender wird mit dem heißgelagerten ESG die Sicherheit gegeben, dass das Restrisiko eines Glasbruchs infolge von NiS-Einschlüssen für eine statistisch ausreichend große Menge auf einen Bruch pro 400 t Glas reduziert wird. Da es sich bei dieser Angabe um eine statistische Verteilung der auftretenden Brüche handelt, bedeutet das nicht, dass bei einer eingebauten Menge von 800 t Glas zwei Brüche auftreten und bei 300 t eingebautem Glas kein Bruch.

Doppelbrechung von ESG

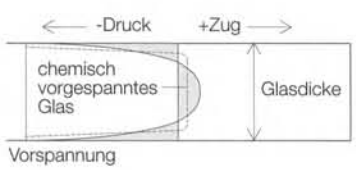
Bei der Betrachtung von ESG-Einheiten in der Fassade können je nach Standpunkt und Beobachtungswinkel die Gläser Farbeffekte in Form von kleinen Kreisen in meist linienförmiger Anordnung aufweisen. Hierbei handelt es sich um Anisotropien an thermisch vorgespannten Gläsern, die durch Doppelbrechung des Lichts entstehen.
Normal gekühltes Glas ist physikalisch ein isotropes Material. Seine physikalischen Eigenschaften wie z.B. Transmission, Reflexion und damit auch die Brechung eines optischen Strahls sind im Glas richtungsunabhängig. Mechanische Spannungen ergeben eine Anisotropie, die sich als Spannungsdoppelbrechung zeigt.
Thermisch vorgespanntes Glas wird hergestellt, indem die Glasscheibe auf über 600 °C aufgeheizt und danach schlagartig abgeblasen wird. Die Oberfläche kühlt sich dabei schneller ab als der Glaskern. An den Oberflächen entstehen Druckspannungen, während im Glaskern Zugspannungen verbleiben. Das schlagartige Abblasen erfolgt mit kalter Luft durch Düsen. Dabei entstehen im Glas lokale Änderungen der Dichte mit der Folge, dass das Material Glas vom isotropen Zustand in den anisotropen Zustand wechselt. Dies bedeutet, dass sich infolge der lokalen Dichteschwankung ein optischer Strahl an diesen Stellen aufspaltet und es zur Doppelbrechung kommt. Doppelbrechung heißt, dass aus einer einfallenden Welle, an einer Grenzfläche zwei Wellen entstehen – also an der Stelle, an der die Dichteänderung stattfindet. Dabei ändert sich dort die Geschwindigkeit des Lichtes. Der Effekt der örtlichen Dichteänderung ist über die Glasdicke verteilt.
Ein normaler Lichtstrahl setzt sich aus einer Vielzahl von Lichtwellen zusammen, die orthogonal zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Der schwingende Strahl kann in eine horizontale und in eine vertikale Komponente aufgeteilt werden. Tritt er durch normales isotropes Glas hindurch, erfährt er keine Änderung. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist in alle Richtungen gleich. Trifft er aber im Glas auf unterschiedliche Dichte, also anisotropes Material,



2.1.28



2.1.29



2.1.30

1 Glas
2 Zwischenschicht / Folie

2.1.31

2.1.28 Oberflächenspannungen von Float-, vorgespanntem und teilvorgespanntem Glas
2.1.29 Bruchbild von teilvorgespanntem Glas
2.1.30 Spannungsverteilung von chemisch vorgespanntem Glas im Vergleich zu thermisch vorgespanntem Glas
2.1.31 Schichtaufbau bei Verbundglas/Verbundsicherheitsglas
2.1.32 Prinzip der Herstellung von VSG mit PVB-Folie

erfährt er eine Doppelbrechung und damit eine Rückstrahlungsänderung. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist dann nicht mehr in alle Richtungen gleich. Bei polarisiertem Licht, d.h. Licht, das nur in einer Ebene in Fortpflanzungsrichtung schwingt, tritt dieser Effekt verstärkt auf. Eine optische Doppelbrechung bedeutet auch das Auflösen der Wellen in ihr Farbspektrum, d.h. mit einer Farbfolge von rot bis violett. Diese Erscheinung ist bereits von ESG-Scheiben in Fahrzeugen bekannt. Dieser Effekt ist die Folge der eingebrachten Oberflächenspannung im Glas und kann nicht eliminiert werden. Gleiches gilt für teilvorgespanntes Glas (TVG).

Teilvorgespanntes Glas (TVG)

Glas wird als teilvorgespannt (TVG) bezeichnet, wenn die Oberflächenspannung gerade so groß ist, dass bei Bruch nur Radialbrüche von Kante zu Kante entstehen. Dabei dürfen sich keine größeren selbstständigen Bruchinseln in der Scheibe ergeben.
TVG ist mit seinem Bruchbild in der europäischen Norm DIN EN 1863 »Teilvorgespanntes Glas« festgelegt und definiert. Bei der Herstellung von teilvorgespanntem Glas wird die Scheibe wie bei thermisch vorgespanntem Glas (ESG) aufgeheizt, aber langsamer mit Luft abgeblasen. Die sich dabei an den Oberflächen aufbauende Druckspannung ist geringer als bei thermisch vorgespanntem Glas.
Der wesentliche Unterschied von teilvorgespanntem Glas zu thermisch vorgespanntem Glas liegt in der völlig verschiedenen Bruchstruktur. Teilvorgespanntes Glas hat gegenüber Floatglas eine höhere Biegebruchfestigkeit und eine höhere Temperaturwechselbeständigkeit (100 K, Floatglas ca. 40 K).
TVG gilt nicht als Sicherheitsglas. Als Einzelglasscheibe sollte TVG vierseitig gerahmt verwendet werden, um seine speziellen Brucheigenschaften auszunutzen. Es kann zu Verbund- oder zu Verbundsicherheitsglas verarbeitet werden, wobei seine Brucheigenschaft und die etwas höhere Biegebruchfestigkeit gegenüber Floatglas genutzt werden.
Wird TVG in Verbindung mit einer fest haftenden Folie verwendet, ergeben sich im Bruchfall größere Stücke. Die so gebrochene Einheit bleibt mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Glashaltekonstruktion als zwei thermisch vorgespannte Scheiben im Verbundsicherheitsglas, das trotz Folie in sehr kleine Bruchstückchen zerfällt.
Teilvorgespannte Gläser können nachträglich nicht mehr bearbeitet werden, z.B. geschnitten oder gebohrt.
Abb. 2.1.28 zeigt die schematische Darstellung der Oberflächenspannungen von Float-, vorgespanntem und teilvorgespanntem Glas. Es gibt keinen kontinuierlichen Übergang, das jeweilige Bruchbild ist entscheidend für die Einteilung. Das Bruchbild von TVG zeigt Abb. 2.1.29.
Wird TVG mit einer Folie verbunden oder zu VSG verarbeitet, kann sich je nach Steifigkeit der Folie und ihres Verbundes zum Glas das Bruchbild verändern. Das Bruchbild, das nach DIN EN 1863 Teil 1 geprüft wird, gilt nur für eine frei liegende Scheibe. Wird sie verglast oder mit Folie verbunden, wirken bei Bruch äußere Kräfte den inneren entgegen. Die inneren Kräfte bei TVG sind niedriger als bei Einscheibensicherheitsglas (ESG), deshalb können sich hierbei die Veränderungen des Bruchbildes stärker auswirken. Bei Prüfungen von VSG aus 2x TVG werden diese physikalischen Zusammenhänge häufig nicht beachtet. Gleiches gilt für den Bruch im eingebauten Zustand.

Chemisch vorgespanntes Glas

Sowohl flaches Glas als auch gebogenes Glas kann chemisch vorgespannt werden. Die chemische Vorspannung einer Glasoberfläche erfolgt durch Ionenaustausch. Glas wird dazu in eine heiße Salzschmelze getaucht. Die kleineren Natriumionen der Glasfläche werden mit den größeren Ionen der Salzschmelze ausgetauscht, was zu Druckspannungen auf der Oberfläche führt. Die Vorspannungszone liegt nur dicht an der Oberfläche.
Durch den Tauchprozess werden die Glaskanten der Scheibe ebenfalls vorgespannt.
Chemisch vorgespanntes Glas besitzt eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und thermische Belastungen.
Sein Bruchverhalten entspricht dem von Floatglas. Die Biegebruchfestigkeit liegt bei ca. 200 N/mm².
Chemisch vorgespanntes Glas kann geschnitten werden. Die geschnittene Kante hat jedoch die Festigkeit von normalem Glas.
Chemisch vorgespanntes Glas ist in der europäischen Norm DIN EN 12337 aufgeführt.
Die Darstellung der Spannungsverteilung von chemisch vorgespanntem Glas im Vergleich zu thermisch vorgespanntem zeigt Abb. 2.1.30.

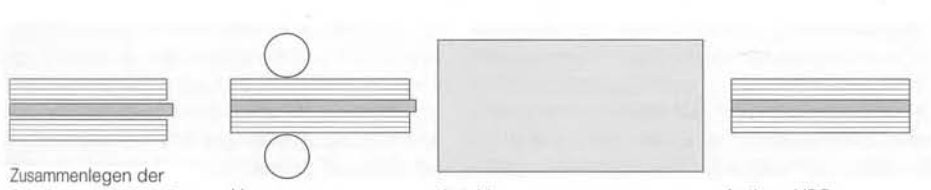
Verbundglas (VG)

Verbundglas ist eine Glaseinheit, die aus mindestens zwei Scheiben und einer Zwischenschicht besteht, wobei die Scheiben durch einen Herstellungsprozess fest mit der Zwischenschicht verbunden werden.
In der europäischen Norm DIN EN 12337 Teil 3 ist Verbundglas definiert. Die zulässigen Toleranzen für die Dicke und die Abmessungen der Einheiten sowie ihre möglichen Fehler sind dort angegeben. Verbundglas (VG) zeigt nach der Fertigung ebenfalls wie ESG Abweichungen von der Planimetrie.
Die Einstufung erfolgt nach DIN EN 12600.
VG ohne Sicherheitseigenschaft kann zur Schalldämmung oder für dekorative Zwecke verwendet werden. Als Zwischenschichten können hier sowohl Gießharze als auch andere anorganische oder organische Verbindungen benutzt werden. Es gibt jedoch auch Zwischenschichten, die beide Funktionen abdecken (siehe »Verbundsicherheitsglas«).

Toleranzen in Dicke und Abmessungen der Einheiten ergeben sich aus der Art des Zwischenschichtaufbaues und der Anzahl der Glasscheiben, ebenso die Abweichungen von der Planimetrie.
Die Glaseinheiten müssen resistent gegen Feuchtigkeit und Sonnenbestrahlung sein, d. h. sie dürfen ihre mechanischen und optischen Eigenschaften infolge festgelegter Bestrahlung oder definierter Feuchtebelastung nicht ändern.
Spezielle Verbundgläser können mit Zwischenschichten hergestellt werden, die unter Anlegen einer elektrischen Spannung ihre Eigenschaften ändern. So kann eine Glaseinheit wechselweise klar und durchsichtig oder transluzent werden: z. B. von glasklar und durchsichtig auf transluzent und undurchsichtig, aber dennoch durchscheinend (Abb. 2.3.60, S. 139). Weitere Entwicklungen auf diesem Sektor sind denkbar.

Verbundsicherheitsglas (VSG)

Verbundsicherheitsglas (VSG) besteht aus mindestens zwei Scheiben und einer mit diesen fest verbundenen elastischen Zwischenschicht (Abb. 2.1.31). VSG ist in der europäischen Norm DIN EN 12543 Teil 2 mit den zulässigen Toleranzen in Dicke, den Abmessungen der Einheiten sowie den möglichen Fehlern definiert. VSG zeigt nach der Fertigung ebenfalls wie ESG Abweichungen von der Planimetrie.
VSG ist ein Sicherheitsglas. Bei Bruch werden die entstehenden Glassplitter zusammengehalten; selbst dann muss das Glas noch entsprechende Anforderungen, wie den Aufprall eines Körpers, erfüllen.
Mit der Veröffentlichung der DIN EN 12600 erfolgt die Einstufung nach dem Verhalten beim Aufprall eines Doppelreifens mit einem Gewicht von 50 kg. Ziel war es, den Einfluss durch die Verformung bei dem früher verwendeten Ledersack mit Bleischrot zu eliminieren. Die Fallhöhen haben sich gegenüber dem Ledersack mit Bleischrot verändert, weil die in das Glas eingebrachte kinetische Energie durch den Aufprall des neuen Schlagkörpers größer ist. Neben der Einstufung, ob der Bruch nach Aufprall standgehalten hat, wird nun auch die Splitterbildung nach Durchbruch geprüft, was den bestehenden Sicherheitszielen einzelner europäischer Länder entspricht. Das bisherige Sicherheitsniveau in Deutschland kann der entsprechenden Beschreibung zum Test entnommen werden.
Glas am Ende eines Flures sollte z. B. gegen den Aufprall einer Person mit hoher Laufgeschwindigkeit, das entspricht einer großen Fallhöhe, widerstandsfähig sein. Bei engen Balkonen kann eine hohe Laufgeschwindigkeit nicht erreicht werden. Deshalb ist es möglich, ein Glas zu verwenden, das mit dem Schlagkörper bei einer niedrigeren Fallhöhe geprüft wurde. In der Praxis hat sich eine Fallhöhe von 70 cm durchgesetzt. Dennoch muss zwischen den einzelnen Anwendungsfällen unterschieden werden. Zur Prüfung von Konstruktion und Glasart eines Geländers kann auch eine Fallhöhe von 120 cm angesetzt werden.
Die Norm über Verbund- und Verbundsicherheitsglas wird zur Zeit revidiert und den Erfahrungen aus der Praxis angepasst. Dies gilt z. B. auch für die Definition der Kantenbeschaffenheit. Die zu akzeptierenden Fehler gelten für den Kantenbereich der Glasfläche und nicht für die Draufsicht auf die Kante selbst.
Als Zwischenschichten von VSG können PVB-Folien (Polyvinyl-Butyral), entsprechend geeignete Gießharze oder sonstige organische oder anorganische Materialien verwendet werden, die mit dem Glas zusammen die gestellten Sicherheitsanforderungen erfüllen. Entsprechende Tests erfolgen nach DIN EN 12543 und DIN EN 12600.
Die Glaseinheiten mit der Zwischenschicht müssen stabil gegen Sonneneinstrahlung sein. Sie dürfen ihre mechanischen und optischen Eigenschaften während und nach der Bestrahlung oder einer definierten Feuchtebelastung nicht ändern.
Bei der Verwendung einer PVB-Folie wird die Folie zwischen die Gläser gelegt und in einem Autoklaven unter Einwirkung von Wärme und Druck zusammengepresst (Abb. 2.1.32).
Bei einem VSG mit PVB-Folie kann die Haftung am Rand durch Dauerfeuchtigkeit beeinträchtigt werden. Da die Folie ursprünglich sehr trocken ist, kommt es bei Nässe zur Aufnahme von Feuchtigkeit und damit zu Ablösungen am



2.1.32

Rand. Deshalb müssen die Ränder wie bei Isolierglas in einem Glasfalz liegen, der einen Dampfdruckausgleich ermöglicht, um Dauerfeuchtigkeit zu vermeiden. Trotzdem lässt sich dieser Effekt auf lange Zeit nicht ausschließen. Auch während der Lagerung und des Transports muss darauf geachtet werden, dass keine hohe Dauerfeuchtigkeit auf den Rand einwirkt. Dieser Effekt ist optisch störend, hat aber auf die Gesamtfunktion der Einheit keinen Einfluss.
Gießharz kann auf mehrere Arten zwischen die Scheiben eingebracht werden. Es härtet bei Mehrfachkomponenten in sich aus oder durch Bestrahlung mit UV-Strahlen. Eine besondere Beachtung der Randzone von Gießharz ist erforderlich. Weichmacher aus Dichtstoffen können über die Randabdeckung in die Gießharze eindringen und diese ebenso wie Feuchtigkeit chemisch angreifen.

Durchwurf-, durchbruch- und durchschusshemmende Verglasung

VSG eignet sich durch seine splitterbindende Eigenschaft und seinen Aufbau aus Einzelgläsern und Folien für die Herstellung von Glaskombinationen, die einem Angriff mit stumpfen Schneidewerkzeugen oder Geschossen über einen gewissen Zeitraum standhalten.
Wird eine Glaseinheit mit Steinen beworfen oder mit einer Axt bearbeitet, so wirkt eine große Masse mit kleiner Geschwindigkeit, während bei einem Schuss die kleine Masse des Geschosses mit hoher Geschwindigkeit und kleiner Angriffsfläche auf das Glas einwirkt.
Dieser Zusammenhang muss bei der Auswahl von Gläsern und Folien beachtet werden.
Beim Einsatz dieser Scheiben gilt jedoch, dass die eigentlichen Glaseigenschaften des Fensters nur dann erreicht werden, wenn auch die Konstruktion mit dem Rahmen den Anforderungen entspricht und auf das Glas abgestimmt ist.
Für eine wirksame Einbruchsicherung muss ein Fenster so konstruiert sein, dass man es nicht aushebeln kann bzw. die Scheiben ohne Glasbeschädigung nicht ausgebaut werden können. Grundsätzlich muss auf außen liegende Glasleisten verzichtet werden. Die europäischen Normen EN 1522 und 1523 sind hierbei zu beachten.

Durchwurfhemmende Verglasung

Durchwurfhemmende Glaseinheiten werden nach DIN EN 356 mit P1A–P5A gekennzeichnet und sollen verhindern, dass Steine, die auf sie geworfen werden, nicht in den dahinter liegenden Raum einschlagen. Diese Eigenschaft wird geprüft, indem eine 4,11 kg schwere Stahlkugel dreimal nacheinander aus verschiedenen Höhen auf das Glas fällt. DIN EN 356 beschreibt das Prüfprogramm. Die Klasseneinteilung erfolgt nach den Fallhöhen, aus denen die Kugel auf die Glaseinheit trifft und von ihr zurückgehalten wird.
Das bedeutet für die Praxis, dass im Erdgeschoss eine Verglasung gewählt werden sollte, die eine hohe Durchwurfklasseneinteilung oder sogar eine Durchbruchklasseneinteilung aufweist, während in den oberen Geschossen eines Gebäudes infolge der abnehmenden Aufprallenergie eines geworfenen Steines eine Verglasung mit niedriger Klasseneinteilung ausreichend ist.
Die Schutzeigenschaft der Glaseinheit kann durch Verbundsicherheitsglas, kombiniert mit mehreren Folien oder einer entsprechenden Gießharzschicht, erreicht werden.

Durchbruchhemmende Verglasung

Durchbruchhemmende Glaseinheiten werden nach DIN EN 356 mit P6B–P8B gekennzeichnet und sollen verhindern, dass bei Angriff mit einer Axt in kurzer Zeit eine Öffnung von mehr als 40 × 40 cm geschlagen werden kann. Die Prüfung dieser Eigenschaft erfolgte früher nach DIN 52 290 Teil 3, heute nach DIN EN 356.
Die Klasseneinteilung richtet sich nach der Zeit, die benötigt wird, eine Öffnung in der Größe von 40 × 40 cm herzustellen.
Mit einer langstieligen Axt, die auf einer Schlagmaschine festmontiert ist, wird versucht, die Einbruchbedingungen nachzustellen und objektiv vergleichbare Prüfergebnisse zu erhalten. Bei der Glas-Folien- oder Gießharz-Glas-Kombination werden die elastischen Zwischenschichten durch das Glas zusammengehalten und geschützt. Die Elastizität des gesamten Systems lässt bei Aufprall die Glaseinheit federn.

Durchschusshemmende Verglasung

Durchschusshemmende Glaseinheiten werden nach DIN EN 1063 mit BR1–BR7 und für Schrotflinten mit SG1–SG2 gekennzeichnet. Ein Geschoss aus einer Pistole oder einem Gewehr hat eine sehr kleine Masse und eine geringe Aufprallfläche bei hoher Geschwindigkeit. Entscheidend für die Schutzfunktion der Verglasung ist hier die Masse und nicht ihre Elastizität. Glasaufbauten mit beschusshemmender Eigenschaft beinhalten somit einen hohen Glasanteil. DIN EN 1063 legt die Testmethoden fest, um vergleichbare Prüfergebnisse zu erhalten. Die Klasseneinteilung erfolgt hierbei nach Art der Waffe und der verwendeten Munition.
Die höchste Schutzeigenschaft ist erreicht, wenn das Geschoss nicht durch die Scheibe dringt und beim Auftreffen keine Glassplitter nach hinten abgesprengt werden. Nach der Theorie des elastischen Stoßes wird die Aufprallenergie durch das Material geleitet und am anderen Ende wieder abgegeben. Durch zusätzliche Glasschichten, vorzugsweise aus thermisch oder chemisch vorgespanntem Glas sowie Schutzfolien oder Kunststoffschichten, kann dieser Splitterabgang verhindert werden. Ein solches Glas wird als »splitterfrei, SN« bezeichnet. Gläser, die bei Beschuss nach hinten Splitter abgeben, werden »mit Splitterabgang, S« gekennzeichnet. Der Rahmen

eines Fensters oder einer Fassade muss denselben Anforderungen gerecht werden. Für die Beständigkeit eines Fenster oder einer Fassade muss der Rahmen, der das Glas hält, mindestens die gleiche Schutzfunktion aufweisen.

Sprengwirkungshemmende Verglasung

Sprengwirkungshemmende Glaseinheiten sollen vor einem Angriff von außen mit einer Sprengladung schützen. VSG kann z.B. hierfür verwendet werden.

Nach DIN EN 13541 werden mit einer Druckwelle, die sich kugelförmig ausbildet und senkrecht auf die Scheibe wirkt, die Eigenschaften der Verglasung überprüft. Als europäische Norm gilt DIN EN 1099 mit den Einstufungen E1, E2 und E3.

Die Einstufung durch die Kennzeichnung nach DIN EN 13541 mit ER1–ER4 erfolgt nach dem positiven Maximaldruck der reflektierenden Stoßwelle bei einer vorgeschriebenen Dauer der positiven Druckphase (Abb. 2.1.33). Hierbei macht sich die elastische Eigenschaft des Glases, insbesondere von VSG, gegenüber einer starren Wand bemerkbar.

Selbstverständlich muss der Rahmen, der das Glas aufnimmt, entsprechend ausgebildet und am Mauerwerk oder an der Fassade befestigt sein. Während der Prüfung ist das Glas an den Rändern mit einer Flächenpressung von 14 ± 3 N/cm² am Prüfrahmen befestigt.

Alarmgabe

Durch das Einlegen von dünnen Silberdrähten in den Verbund des VSG kann bei Zerstörung der Scheibe oder schon bei großer Durchbiegung durch das Reißen des Drahtes ein Stromkreis unterbrochen werden, der zur Alarmgabe verwendet werden kann. Der Ohm'sche Widerstand einer Scheibe ist abhängig von den Abmessungen. Gleiche Wirkung kann erzielt werden, wenn thermisch vorgespanntes Glas in einer Ecke mit einer leitenden Schleife versehen wird. Bei Zerstörung des Glases wird die leitende Scheibe unterbrochen. Die Lage der Anschlusskabel muss so geplant und ausgeführt werden, dass die Drainage im Falz nicht behindert wird und der Anschluss zum Glas nicht feucht werden kann. Die Schleife sollte also im Falz oben liegen.

Beheizbares Glas

Beheizbare Gläser können hergestellt werden, indem eine leitende Beschichtung auf die Glasoberfläche aufgebracht wird oder durch das Einlegen eines dünnen Drahtes in den Verbund bei VG oder VSG. Bei der Beschichtung bestimmt die Größe der Scheibe den elektrischen Widerstand und damit auch die Heizleistung. Bei der Drahteinlage kann durch geeignete Wahl der Serien-/Parallelschaltung der elektrischen Leiter die Heizleistung bestimmt werden. Auf das System abgestimmte Systemeinheiten sind erforderlich.

Isolierglas

Allgemeines

Isolierglas besteht aus mindestens zwei Einzelscheiben, die durch einen Abstandhalter am Rand voneinander getrennt sind. Zwischen Abstandhalter und den Glasscheiben befindet sich heute meist die erste Dichtung, die den Scheibenzwischenraum vor eindringender Feuchtigkeit von außen schützt. Zusätzlich wird auf dem Rücken des Abstandhalters und zwischen die Einzelscheiben ein weiterer Dichtstoff aufgebracht, der als zweite Dichtung und Verklebung dient und die Scheiben sowie den Abstandhalter zusammenhält (Abb. 2.1.34).

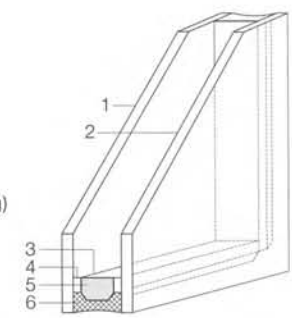
Im Abstandhalter befindet sich ein Adsorptionsmaterial, das den hermetisch nach außen abgeschlossenen Scheibenzwischenraum (SZR) entfeuchtet. Damit sinkt der Taupunkt der eingeschlossenen Luft auf unter -30 °C.

Die Dichtsysteme verhindern, dass ein Luftaustausch zwischen dem SZR und der Außenluft stattfindet und Feuchtigkeit in den Scheibenzwischenraum eindringen kann. Werden die Dichtsysteme zerstört und Feuchtigkeit dringt in den Scheibenzwischenraum, erhöht sich die relative Feuchte in ihm, wenn das Trocknungsmittel gesättigt ist. Bei Abkühlung unter den Taupunkt kondensiert diese feuchte Luft. Die Scheibe wird im allgemeinen Sprachgebrauch »blind«. Infolge des unterschiedlichen Feuchtegehaltes im Scheibenzwischenraum und in der Außenluft ergibt sich ein hohes Dampfdruckgefälle. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Fertigung der Isoliergläser mit hoher Sorgfalt vorzunehmen und im eingebauten Zustand ebenfalls darauf zu achten, dass der Glasfalz nicht mit Dichtstoffen voll ausgespritzt wird, sondern dichtstofffrei und durch einen funktionsfähigen Dampfdruckausgleich und Drainage trocken bleibt. Dauerfeuchtigkeit muss ausgeschlossen werden. Der Randverbund der Isolierglaseinheit muss, wenn er nicht aus Silikon besteht, vor Sonneneinstrahlung geschützt werden. Bei Scheiben, die nicht in einem Glasfalz liegen oder stehen, kann die notwendige Beschattung des Dichtsystems durch eine Emaillierung oder anderweitig aufgebrachte Beschichtung erreicht werden. Bei Randverbundsystemen mit Silikonen sollte auf die Verwendung von Gasen, z.B. Argon, Krypton und Xenon, grundsätzlich verzichtet werden. Randverbundsysteme mit Silikon haben für diese Gase eine höhere Permeabilität. Es gibt einzelne Isolierglassysteme, die unter besonderen Fertigungsbedingungen, die der Hersteller bestätigen muss, über einen Randverbund auch eine Gasdichtigkeit ermöglichen. Bei diesem Randverbund übernimmt die erste Dichtebene aus Butyl mit dem Eckstoß allein die gesamte Dichtigkeit – auch für das eingefüllte Gas. Das Gas SF_6 wird heute in Europa nicht mehr verwendet. Bei sorgfältiger Herstellung und Anwendung der Isolierglaseinheiten – dichtstofffreier Falz mit ausreichendem Dampfdruckausgleich (keine Dauerfeuchtigkeit), keine zusätzlichen undefinierten mechanischen

Kennzahl der Klasse	Eigenschaften einer Druckwelle		
	Positiven Maximaldruckes der reflektierten Druckwelle Pr kPa	Positiven spezifischen Impulses i_+ kPa * ms	Dauer der positiven Druckphase t_o ms
ER1	50 < Pr < 100	370 < i_+ < 900	> 20
ER2	100 < Pr < 150	900 < i_+ < 1500	> 20
ER3	150 < Pr < 200	1500 < i_+ < 2200	> 20
ER4	200 < Pr < 250	2200 < i_+ < 3200	> 20

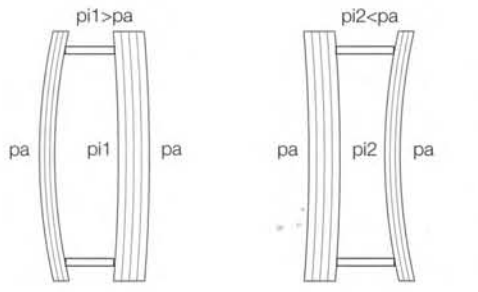
2.1.33

1 außen
2 innen
3 metallischer Abstandhalter
4 Dichtebene (Butyldichtung)
5 Trockenmittel
6 Dichtebene (Polysulfiddichtung)

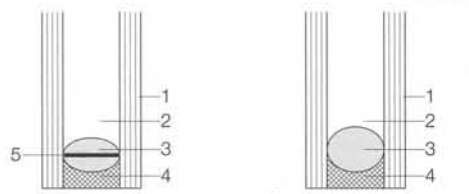


2.1.34

2.1.33 Einstufung der Sprengwiderstandsklassen
2.1.34 Randverbund von Isolierglas

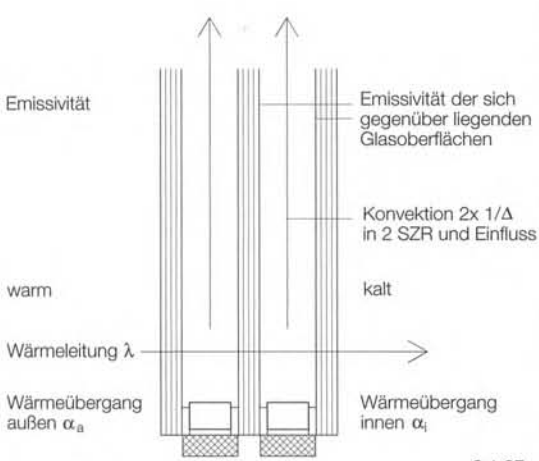


2.1.35



2.1.36

1 Glasscheiben
2 Scheibenzwischenraum (SZR)
3 Butylabstandhalter (erste Dichtung) mit integriertem Absorptionsmaterial
4 zweite Dichtung und Verklebung
5 Metalleinlage zur Stabilität



2.1.37

[1] Der Wärmedurchgangskoeffizient U_g für ein Isolierglas wird durch folgende physikalische Einzelerscheinungen bestimmt:
- Konvektion im SZR (1/ Λ)
- Wärmeleitung durch Glas (d/ λ)
- Strahlungsaustausch zwischen den Scheibenoberflächen (im SZR – abhängig von der Emissivität der aufgebrachten Schichten)
- Wärmeübergang zwischen Glas und Außen- bzw. Raumluft (α_a, α_i)

$1/U = 1/\alpha_i + d/\lambda + 1/\Lambda + 1/\alpha_a$

Belastungen auf den Randverbund – ergibt eine Lebensdauer von ca. 30 Jahren und mehr. Der Luftdruck im Scheibenzwischenraum entspricht dem Luftdruck, der bei der Fertigung geherrscht hat. Steigt nun im eingebauten Zustand der Luftdruck der Außenluft an und wird höher als er bei der Fertigung war, so werden die Scheiben zusammengedrückt, d.h. die Scheiben fallen nach innen ein. Sinkt er dagegen, so werden die Scheiben nach außen gebogen (Abb. 2.1.35). Diese Bewegungen der Scheiben kann man im eingebauten Zustand als Verzerrungen deutlich erkennen. Bei der Dimensionierung großer Scheiben mit reflektierenden Eigenschaften sollte auf diese Pumpbewegung besonders geachtet werden. Eine Optimierung der Glasdicken allein nach statischen Gesichtspunkten berücksichtigt diesen Effekt nicht. Heutige Berechnungsmethoden für die Glasdicke verteilen die Belastungen auf beide Scheiben. Dies hat zur Folge, dass die Glasdicken geringer ausfallen können, die Steifigkeit also niedriger wird und die Pumpbewegung stärker. Abhilfe kann hier die altbewährte Methode schaffen, die äußere Glasdicke, z.B. mit der reflektierenden Schicht, dicker zu wählen und die Gegenscheibe dünner, wobei der statische Nachweis zu führen ist. Eine Optimierung der Glasdicke heißt nicht nur die dünnste Scheibe zu wählen, sondern auch die Glasdicken zu verwenden, die auf die vielfältigen zu erwartenden physikalischen Erscheinungen abgestimmt sind. Das Wissen des Fachmanns, der das Zusammenspiel der einzelnen physikalischen Erscheinungen kennt und beherrscht, ist bei den heutigen vielfältigen Anwendungen und Kombinationen mehr denn je entscheidend. Auch hier gilt die Regel, dass nicht alles, was hergestellt werden kann, auch uneingeschränkt und überall angewendet werden darf.

Randverbundsysteme von Isolierglas

Abb. 2.1.34 zeigt den üblichen Randverbund von Isolierglas. Er besteht z.B. aus einem metallischen Abstandhalter, der als Hauptdichtebene von einer Schicht Butyl umschlossen ist. Dabei entscheidet das Material des Abstandhalters über die Wärmeübertragung des Isolierglases im Randbereich. Entscheidend dabei ist aber auch die Wärmeübertragung des Rahmens selbst. Deshalb wird der U_g-Wert der Verglasung weiterhin getrennt für die Glasfläche angegeben und für die lineare Wärmedämmung des Randes in Abhängigkeit vom Rahmenmaterial des Fensters. Neben wärmetechnisch verbesserten, metallischen Abstandhaltern (z.B. dünne Edelstahl- und wärmetechnisch getrennte Profile) gibt es auch Kunststoffabstandhalter. Die Abstandhalter können in verschiedenen Farben hergestellt werden. Daneben werden heute weitere Systeme angewendet.

Ganzglasrandverbund

Bei dem früher üblichen Ganzglasrand wurden die Kanten der Scheiben, die im Abstand zueinander stehen, verschweißt und der Scheibenzwischenraum mit trockener Luft gefüllt. Der Randverbund war starr. Der Ganzglasrandverbund könnte bei der Entwicklung von Vakuum-Isoliergläsern wieder eine Rolle spielen. Hierbei reicht schon ein SZR von ca. 0,2 mm aus.

Butylrandverbund mit Aussteifung

Der Butylrandverbund mit Aussteifung existiert seit über 20 Jahren. Als Abstandhalter wurde kein Rohrprofil, sondern ein dünnes, senkrecht zum Glas stehendes Metallband verwendet, das der Dichtstoff Butyl mit eingearbeitetem Adsorptionsmaterial umschließt und das die Feuchtigkeit aus dem Scheibenzwischenraum aufnimmt. Auch der Metallstreifen stellt eine Abdichtung zum SZR dar. Zusätzlich wird zur mechanischen Festigkeit ein weiterer Dichtstoff eingebracht (Abb. 2.1.36a).

Butylrandverbund ohne Aussteifung

Der seit mehr als 25 Jahren verwendete Ganzbutylrandverbund erlebt im Moment eine Renaissance. Das Butyl mit dem Adsorptionsmaterial wird heiß in den Randbereich eingespritzt. Auf dem Rücken wird von außen die zweite Dampfsperre aufgebracht. Der Randverbund ist grundsätzlich schwarz gefärbt (Abb. 2.1.36b). Die Stabilität im Rand wird durch den äßeren zweiten Dichtstoff erbracht.

Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften des Isolierglases werden aus Messungen und Berechnungen ermittelt und unterliegen den üblichen fabrikationsbedingten Schwankungen. Der Glasaufbau und die Glasdicke mit eventuellen Beschichtungen haben einen entscheidenden Einfluss. Die angegebenen Werte müssen immer mit einem gewissen Toleranzfeld betrachtet werden.

Wärmedämmung

Die Wärmedämmeigenschaft von Isolierglas aus Floatglasscheiben hängt weitgehend von dem SZR und seiner Füllung ab, bei beschichteten Floatglasscheiben von der Art der Beschichtung.

Wärmedurchgangskoeffizient (U_g-Wert)[1]

Für ein Isolierglas aus zwei Floatglasscheiben mit einem SZR von 12 mm ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient (U_g-Wert) von 3,0 W/m²K. Vergrößert sich der SZR auf 20 mm, fällt der Wert auf 2,8 W/m²K. Durch die Aufteilung eines Zwischenraums in zwei getrennte wird die Konvektion unterbrochen und damit der Energietransport reduziert. Bei größeren Abständen verschlechtert die eintretende stärkere Konvektion die Wärmedämmung.
Für ein Isolierglas aus drei Floatglasscheiben mit zwei SZR von je 8 mm ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient (U_g-Wert) von 2,4 W/m²K, bei zwei SZR von je 12 mm reduziert er sich auf 2,2 W/m²K (Abb. 2.1.37 und 2.1.38).
Anstelle der mittleren Scheibe kann auch eine

geeignete Folie mit zusätzlichem Sonnenschutz gespannt werden, die den SZR unterteilt. In Verbindung mit Wärmedämmbeschichtung und Gasfüllungen können sich U_g-Werte von ca. 0,5–0,8 W/m²K ergeben. Entscheidend ist dabei der eingesetzte Zahlenwert für die Emissivität und der Einfluss der Gasfüllung. Die Berechnung erfolgt grundsätzlich nach DIN EN 673, um gleichwertige Vergleiche der Produkte untereinander und zu anderen Bauprodukten zu haben. Wenn in das Isolierglas Sprossen oder sonstige Elemente eingelegt werden, kann sich der errechnete U_g-Wert verändern, was gegebenfalls Messungen erfordert. Welcher Einfluss sich dadurch in der Praxis für das Gebäude oder die Räume ergibt, muss getrennt betrachtet werden.

Konvektion – Energietransport in einem gasförmigen Medium

Aufgrund des Temperaturunterschiedes der beiden Scheiben und im SZR, ergibt sich dort eine Luftbewegung, die einen Energiefluss von der warmen zur kalten Scheibe zur Folge hat. Dieser Wärmetransport wird mit 1/Λ bezeichnet. Durch Füllung mit Gasen, die keine höhere Wärmeleitung besitzen, wird der Wärmetransport verringert.

Wärmeleitung – Energietransport innerhalb eines Körpers

Bei unterschiedlich hohen Temperaturen an den Grenzflächen eines Körpers findet durch ihn ein Energietransport von der warmen zur kalten Seite statt. Der Wärmetransport durch das Glas wird mit dem Ausdruck λ bezeichnet. Er gibt an, wieviel Wärmeleistung durch ein Material transportiert wird, wenn die Temperaturdifferenz der Grenzflächen 1 K beträgt. Die Einheit ist W/mK.
Ohne Veränderung der Glaszusammensetzung ist eine Verringerung dieses Wärmetransportes nicht möglich (Abb. 2.1.40).

Strahlungsanteil

Zwei sich gegenüber stehende Flächen haben untereinander einen Strahlungsaustausch. Entscheidend dafür ist ihre Eigentemperatur und die Oberflächenbeschaffenheit. Die Abstrahlung erfolgt nach dem Stephan Bolzmann'schen Gesetz. Eine unbehandelte Glasoberfläche hat die Eigenschaft, aufgenommene Energie fast völlig wieder abzustrahlen. Die Emissivität ist sehr hoch und liegt bei etwa 96 %. Um den Strahlungsanteil zu verringern, werden Schichten auf die Glasoberfläche aufgebracht. Hierdurch kann die Emissivität auf 2–12 % reduziert werden.

Wärmeübergang

An der Grenzfläche von Glas zur Außen- bzw. Innenluft kommt es ebenfalls zu einem Energietransport infolge der Wärmeaufnahmefähigkeit und der Bewegung der Luft. Hervortretende oder zurückliegende Ecken können hier örtliche Einflüsse, so genannte Kühlrippeneffekte, auf den Energietransport haben.

Gasfüllgrad

DIN EN 1279 geht davon aus, dass – bezogen auf die Langzeitwirkung – der U_g-Wert während der Lebensdauer der Isolierglaseinheit um nicht mehr als 0,1 W/m²K ansteigt. Dabei wird eine Reduktion der Gasfüllung von 90 % auf 85 % angenommen. Füllgrade von 90 % sind heute üblich und bilden die Grundlage der Berechnung in den Tabellen.

Rahmenlose Stöße

Bei rahmenlosen Stößen wird durch den fehlenden Rahmen die Außenluft direkt an den Glasrand geführt. Der Abstandhalter sollte auf jeden Fall aus einem wärmedämmenden Material bestehen (siehe »Randverbundsysteme von Isolierglas«, S. 72). Zusätzliche innere Aussteifungen können sich, da sie im Warmen liegen, wärmetechnisch positiv auswirken und innen das Auftreten von Kondensat auf den Glasflächen reduzieren.

Rahmenlose Eckstöße

Eine Ecke stellt allein aus der Geometrie eine Wärmebrücke dar (Abb. 2.1.39). Dies gilt auch für einen Isolierglasstoß. Bei Außentemperaturen von -7 °C können auf der inneren Glasoberfläche Temperaturen von ca. 0 °C auftreten. Nur mit einer Zusatzkonstruktion auf der Innenseite oder im Stoß lassen sich diese negativen Einflüsse beheben.

Schalldämmung

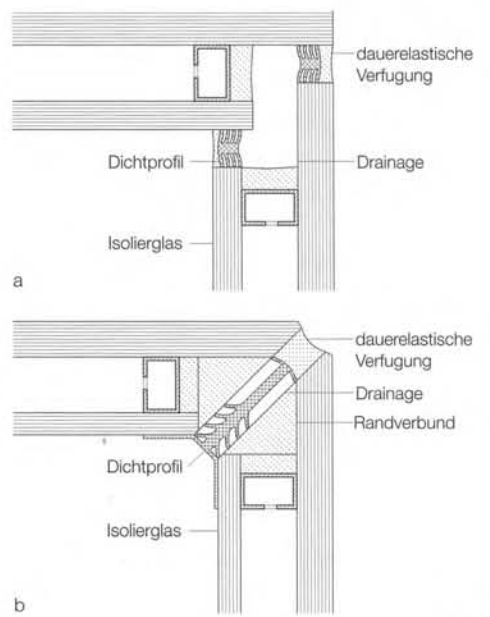
Allgemeines

Das bewertete Schalldämmmaß R_w (Angabe in dB – Dezibel) ist eine ganzzahlige Beschreibung für einen theoretischen Messwert, der Schalldämmung nach DIN EN 20717 Teil 1. Zur Wertermittlung steht wie für alle Baustoffe und Bauteile eine Normbewertungskurve bei gleichmäßiger Schallintensität zur Verfügung. Die Schalldämmung R des zu prüfenden Bauteils wird über die Frequenz von 100–3200 Hz in Terzschritten gemessen und mit der Soll-Kurve nach einem vorgegebenen Verfahren verglichen. In Bezug auf die Baupraxis ist dieser Wert für monolithische Baumaterialien sehr aussagekräftig, für Isolierglas mit kleinen SZR ist eine Aussage bzgl. der Baupraxis aber nur schlecht möglich.
Eine einschalige Wand wirkt schalldämmend durch ihr Gewicht. Je schwerer sie ist, umso höher ist ihre Schalldämmung. Eine Einzelscheibe mit 8 mm Dicke weist einen Schalldämmwert R_w von 32 dB auf, eine Einzelscheibe mit 15 mm hat einen Wert R_w von 35 dB. In einer Isolierglaseinheit, die aus zwei oder drei Einzelscheiben besteht und durch die Scheibenzwischenräume getrennt ist, wirken die Gläser nicht allein als Masse, sondern zusammen mit dem SZR als schwingendes Masse-Feder-Masse-System mit einer Eigenfrequenz und einer daraus resultierenden Schalldämmung. Diese Tatsache erklärt die drastische Verminderung der Schalldämmung von Isoliergläsern bei bestimmten Frequenzen. Die Schalldämmkurve einer Isolierglaseinheit

Beschreibung Isolierglas aus Floatglas	SZR Luftfüllung	Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [W/m²K]
2fach (1× SZR)	6 mm < SZR ≤ 8 mm	3,4
2fach (1× SZR)	8 mm < SZR ≤ 10 mm	3,2
2fach (1× SZR)	10 mm < SZR ≤ 16 mm	3,0
2fach (1× SZR)	20 mm < SZR ≤ 100 mm	2,8
3fach (2× SZR)	6 mm < SZR ≤ 8 mm	2,4
3fach (2× SZR)	8 mm < SZR ≤ 10 mm	2,2
3fach (2× SZR)	10 mm < SZR ≤ 16 mm	2,1

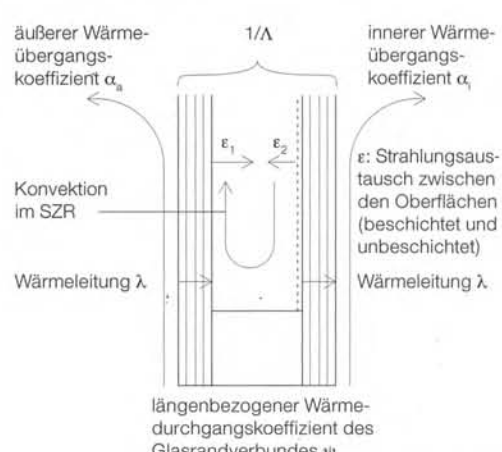
Die Werte wurden DIN 4108 Teil 4 Tabelle 3 entnommen.

2.1.38

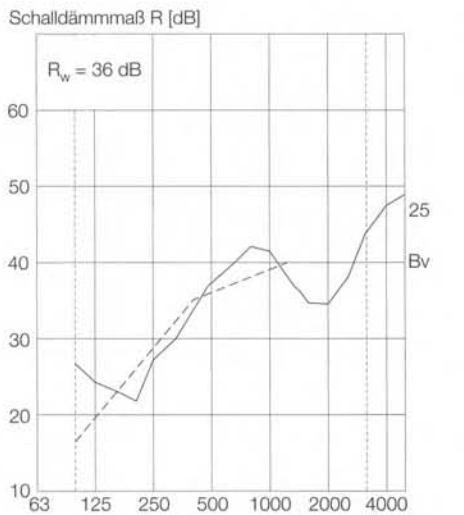


2.1.39

2.1.35 Isolierglaseffekt von Isolierglasscheiben bei unterschiedlichen und gleichen Glasdicken aufgrund von Luftdruckschwankungen
2.1.36 Isolierglas mit weichem Rand
a Butylrandverbund mit Aussteifung
b Butylrandverbund ohne Aussteifung
2.1.37 physikalische Zusammenhänge des U-Wertes bei Isolierglas mit zwei SZR
2.1.38 U-Werte für unterschiedliche Isolierverglasung
2.1.39 Beispiele rahmenloser Eckstöße mit Isolierglas
a gestuft
b auf Gehrung
2.1.40 physikalische Zusammenhänge des U-Wertes bei Isolierglas



2.1.40



2.1.41

mit deutlichem Einbruch bei ca. 200 Hz zeigt Abb. 2.1.41. Die Schalldämmkurven zeigen, dass je nach Aufbau eine Erhöhung im oberen Frequenzbereich zu einem hohen R_w-Wert führt, obwohl der untere Frequenzbereich, in dem der Störpegeln des Verkehrs sehr niedrig ist, eine geringe Schalldämmung aufweist. Für die Praxis bedeutet dies, dass im Innenraum mit erhöhten Schallpegeln des äußeren Lärms gerechnet werden muss. Damit dieser Effekt in die Bewertung einfließt, wurden mit der neuen europäischen Norm DIN EN 20717 Teil 1 für Glas Korrekturfaktoren bei unterschiedlichen Lärmereignissen eingeführt (siehe »Korrekturfaktoren für Glas«).
Das bewertete Schalldämmmaß R_w einer Isolierglaseinheit bestehend aus 2× 4 mm Glas und einem SZR von 12 mm mit Luftfüllung beträgt etwa 30 dB. Eine Kombination aus 4 mm und 6 mm Glas, getrennt durch eine Scheibenzwischenraum von 16 mm mit Luftfüllung, weist ca. 33 dB auf.
Kombinationen mit Verbundgläsern und Verbundsicherheitsgläsern können teilweise den R_w-Wert verbessern, abhängig von der Verbindung der Einzelgläser, dem Gießharz oder der Folie. Entscheidend ist, dass ein Verbundglas aus 2× 4 mm Glas nicht wie ein 8 mm Glas betrachtet werden darf, sondern wie zwei durch eine Schicht getrennte 4 mm Glasscheiben. Die Verbindung sollte möglichst weich sein.
Die Intensität von Schall, also der Lärmpegel, wird für Verkehrslärm in dB(A) angegeben. Die Zusatzkennzeichnung (A) beschreibt die frequenzmäßige Verteilung der Intensität des Geräusches, die dem Verkehrslärm am ähnlichsten ist.

Korrekturfaktoren für Glas
Das Schalldämmverhalten von Glas, speziell Isolierglas mit SZR, ist über den akustisch interessanten Frequenzbereich 100–3200 Hz nicht wie bei einer monolithischen Mauer linear ansteigend, sondern es zeigen sich abhängig vom SZR von 125 bis 250 Hz starke Einbrüche bei der Schalldämmung.
Der zu dämmende Lärm ist jedoch abhängig von den Lärmquellen. Eisenbahnschnellverkehr weist z.B. eine höhere Intensität im oberen Frequenzbereich über 800 Hz auf, während die Intensität vom Straßengeräusch eines PKWs und LKWs im Bereich von 100 bis 500 Hz hoch ist, dann aber nahezu konstant bleibt. Straßenbelag, Beschaffenheit der Fahrzeuge sowie die Geschwindigkeit spielen eine entscheidende Rolle. Die Anfahrgeräusche eines LKWs an einer Verkehrssignalanlage weisen eine hohe Intensität im niedrigen Frequenzbereich von 100 bis 300 Hz auf.
Das Schalldämmverhalten von Glaskombinationen ist aber relativ konstant. Bei Änderung des SZR infolge Luftdruckschwankung und Temperatureinfluss (Abb. 2.1.35) ändert sich auch das Schalldämmverhalten im Rahmen von ± 1 dB bis ± 2 dB. Zeigt die Schalldämmkurve einen so genannten Einbruch im unteren Frequenzbereich bei hoher Schallintensität von außen, wird der Schall im Raum in diesem Frequenzbereich auch höher sein.
Schalldämmwerte von Glaseinheiten müssen geprüft und können nicht berechnet werden. Die Prüfungen erfolgen unter festgelegten Randbedingungen. In der Praxis weichen die Randbedingungen jedoch z.B. durch Größe und Einbau ab, aber auch durch Pumpbewegungen des SZR, so dass die Zahlen als Richtwert gelten und eine Toleranz von ± 2 dB berücksichtigt werden sollte. Je höher der Korrekturfaktor C und C_{tr} ist, umso größer ist der Einbruch der Schalldämmung im speziellen Frequenzbereich. So weist z.B. eine Isolierglaskombination aus 2× 4 mm Glas mit 12 mm SZR und Luftfüllung ein bewertetes Schalldämmmaß R_w von 30 dB auf. Mit einem Faktor C_{tr} von -3 für Verkehrslärm ergibt sich ein korrigierter Wert $R_w(C_{tr})$ von 27 dB, was dem Lärmempfinden in der Praxis entspricht.
Die Kombination 4–16–8 mit Luftfüllung hat ein bewertetes Schalldämmmaß R_w von 36 dB. Wird die Korrektur mit einem Faktor C_{tr} von -6 für Verkehrslärm durchgeführt, ergibt dies einen Wert für $R_w(C_{tr})$ von 30 dB.
Für eine Gießharzkombination (GH) 4–20–9 (GH weich) mit Luftfüllung ergibt sich ein bewertetes Schalldämmmaß R_w von 42 dB. Wird nun die Korrektur mit dem Faktor C_{tr} von -5 für Verkehrslärm durchgeführt, so verändert sich der Wert für $R_w(C_{tr})$ auf 37 dB.
Die angegebenen Korrekturfaktoren C und C_{tr} werden aus der Messkurve für die Glaseinheit ermittelt und sind ein Maß für die Tiefe des Einbruchs der Schalldämmung in den unteren Frequenzbereichen. Je höher der Zahlenwert ist, umso tiefer geht der Einbruch, d.h. umso geringer ist bei dieser Frequenz die Schalldämmung.

Raumeinflüsse
Für den tatsächlichen Lärmpegel im Raum ist der durch die gesamte Außenhülle eintretende Schall entscheidend. Abhängig von der Raumausstattung, der Raumgröße und der absorbierenden Flächen im Raum wird er zusätzlich gemindert. So kann man davon ausgehen, dass heutige Büroräume den eintretenden Schall aufgrund ihrer Raumeigenschaften um ca. 3 bis 5 dB zusätzlich dämmen.

Anhand von Beispielen wird der oben dargestellte Sachverhalt erläutert:

Beispiel 1: Verkehrslärm mit gemessenem äußeren Mittlungspegel L_m von 69 dB(A); Schalldämmglas, gasgefüllt, mit R_w 38 dB (Abb. 2.1.42)
Beispiel 2: Verkehrslärm mit gemessenem äußeren Mittlungspegel L_m von 69 dB(A), jedoch höherer Schallintensitätsverteilung im unteren Frequenzbereich; Schalldämmglas, gasgefüllt mit R_w 38 dB (Abb. 2.1.43)

Bei gleichen Schalldämmgläsern und gleichem äußeren Mittlungspegel der Lärmquellen, aber unterschiedlicher Intensitätsverteilung über die Frequenz, wird im Beispiel 2 der Innenpegel um ca. 7 dB(A) höher sein, als im Beispiel 1. So ist es äußerst wichtig, die tatsächliche Lärmsituation zu untersuchen, um eine wirtschaftliche und funktionelle Optimierung zu erreichen. Die Schalldämmfunktion einer Verglasungseinheit hängt nicht linear von der Glasdicke und dem Abstand der Scheiben ab. Die Schalldämmeigenschaft der Glaseinheit muss auf den äußeren Lärmeinfluss abgestimmt werden.

Schalldämmung der Außenwand

Die vollständige Schalldämmung der Außenwand hängt von den Schalldämmeigenschaften der einzelnen Bauteile, deren Anschlüssen und den sich ergebenden Nebenwegen ab. Entscheidend dabei ist das Flächenverhältnis der einzelnen Bauteile. So kann eine geringere Schalldämmung eines Bauteils durch eine höhere Schalldämmung eines anderen Bauteils mit größerer Fläche ausgeglichen werden. Undichtigkeit kann auf diese Art aber nicht eliminiert werden. Die so genannte Bauteilmethode in DIN 4109 hilft, bei nachträglicher Schalldämmung in bestehenden Gebäuden Optimierungen durch Austausch der Fenster hinsichtlich einer höheren Schalldämmung durchzuführen, wobei der Korrekturfaktor nach DIN EN 20717 Teil 1 unbedingt zu berücksichtigen ist. Undichtigkeiten an Rolladenkästen mit dünnen, nur wärmegedämmten Abdeckungen und offenen Gurtdurchführungen müssen unbedingt vermieden werden.

Strahlungsphysikalische Größen

Die strahlungsphysikalischen Größen sind abhängig von der Färbung oder Beschichtung der verwendeten Gläser, aber auch von der als Basis verwendeten Strahlungsverteilung der Sonne. Sie können einerseits für abgegrenzte Strahlungsbereiche pro Einheit gemessen, andererseits aber heute mehr denn je aus den Einzeldaten der verwendeten Scheiben und Schichten berechnet werden. Grundlage für die Berechnung in Europa ist die europäische Norm DIN EN 410. Dennoch ist zu bedenken, dass die Ergebnisse Mittelwerte sind und sich aus der spektralen Kurve des Glases über eine festgelegte Frequenzbandbreite $d\lambda$, der relativen spektralen Verteilung der Globalstrahlung (direkt und diffus) mit den Werten für 1,42 cm Wasserdampfgehalt, 0,34 cm Ozongehalt (Luftmasse 1) der Einzelgläser ergeben. Toleranzen in der Glasdicke und den Schichten sowie der Grünstich des Glases ergeben auch Schwankungen in den ermittelten Werten. Die Toleranzgrenze um den errechneten Mittelwert beträgt etwa 2–3 %.

Als Bezugsstrahlung zur Berechnung der strahlungsphysikalischen Werte dient die terrestrische Strahlung mit der Luftmasse 1 für Europa, angesetzt mit den Werten für Wasserdampf und Ozongehalt wie oben aufgeführt. Sie wurde durch die internationale Beleuchtungskommission CIE in der Veröffentlichung CIE Nr. 26 festgelegt. Wichtig ist dies, wenn ermittelte Daten aus verschiedenen, auf dem Markt verwendeten Rechenprogrammen mit abweichenden Randbedingungen verglichen werden. So können bei gleichem Glas Unterschiede in den Zahlenwerten von 5 % und mehr allein durch unterschiedliche Berechnungsmethoden auftreten. Der Fachmann muss die Abweichungen für die Praxis bewerten und die Randbedingungen der Rechenprogramme und der Glasdaten kennen, da nur Daten verglichen werden können, die unter gleichen Bedingungen ermittelt wurden, oder es muss eine fachgerechte Fehlerabschätzung erfolgen.

In der Praxis können die tatsächlichen Bedingungen von den theoretischen Randbedingungen abweichen, was dennoch keinen großen Einfluss auf die Gesamtwirkung haben muss. Mit Abweichungen bei den Werten bis ca. ±3 % oder sogar ±5 % können die Produkte als gleichwertig angesehen werden.

Folgende Strahlungsbereiche der Sonne sind zu unterscheiden:

- UV-Strahlung mit Wellenlängenbereich von 280 bis 380 nm
- sichtbare Strahlung mit Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm
- Infrarotstrahlung mit Wellenlängenbereich von 780 bis 2500 nm

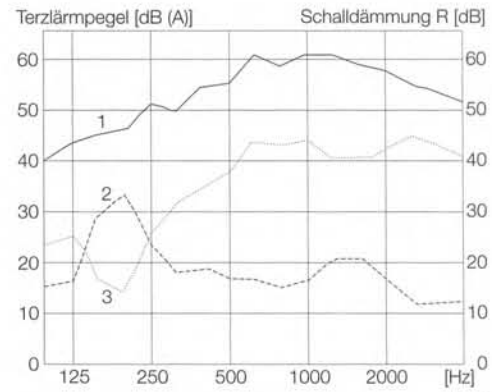
Floatglas ist für Wellenlängen < ca. 300 nm und > 2500 nm nicht mehr transparent. Die Strahlung wird voll absorbiert.

Strahlungsreflexion

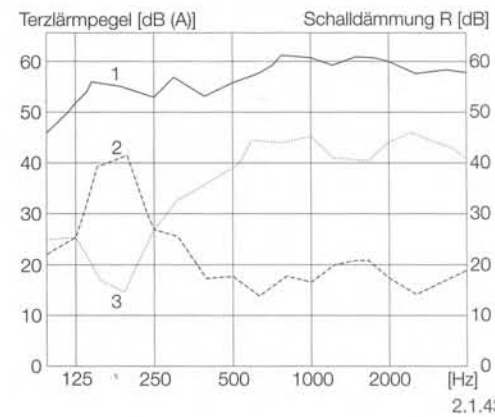
Als Strahlungsreflexion wird der Anteil der Strahlung bezeichnet, der bei Auftreffen der Sonnenstrahlung an der Grenzfläche von Luft und Glas reflektiert wird. Es wird zwischen der Reflexion im gesamten Wellenbereich der Sonne mit ρ_e und im sichtbaren (visuellen) Anteil ρ_v unterschieden.

Reflexion entsteht immer an Grenzflächen von gasförmigen zu festen Materialien. Sie ist bei beschichtetem Glas seitenabhängig. Für die Schicht gibt es zwei Grenzflächen, zum Glas und zur Luft. Der Brechungsindex an diesen Grenzflächen ist entscheidend. Somit kann sich bei Betrachtung der einen Verglasungsseite eine vollständig andere Reflexion und Farbe ergeben als für die andere. Dieser Effekt muss berücksichtigt werden, falls die Schichten in unterschiedlicher Lage im Isolierglas verwendet werden. Der Hersteller sollte unbedingt gefragt werden, wenn Schichten anders als von ihm vorgesehen eingesetzt werden. So z.B., ob die Schicht auf der Oberfläche der äußeren oder inneren Scheibe angebracht wird, die zum SZR zeigt (Abb. 2.1.44).

Die Strahlungsreflexion von Glas ist abhängig vom Einstrahlungswinkel. Bei der Angabe von Glasdaten werden jedoch nur die senkrechten Einstrahlungsverhältnisse berücksichtigt. Ein Grund dafür ist, dass bei der Ermittlung der winkelabhängigen Reflexionswerte die Polari-

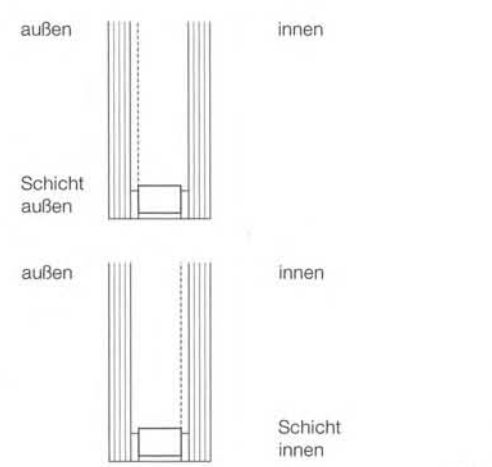


2.1.42



2.1.43

1 Intensitätsverteilung des Außenlärms
2 Schalldämmung
3 errechnete Schallintensität im Raum als Verteilung über die Frequenz



2.1.44

2.1.41 Normbewertungskurve
Verlauf der Schalldämmung aufgetragen über die Frequenz für einen Aufbau 8–16–6 mit Luftfüllung
R_w = 36 dB

2.1.42 Beispiel 1
Straßengeräusche gedämmt

2.1.43 Beispiel 2
Bus-/Lkw-Geräusche gedämmt

2.1.44 Position der Wärmeschutzfolie im Isolierglas

sationserscheinungen am Glas und an den Schichten in der Messung berücksichtigt werden müssen.
Für die praktische Anwendung bedeutet dies, dass bei schräger Einstrahlung durch das Glas die Intensität etwas geringer ist als bei senkrechter. Um eine höhere Genauigkeit zu erzielen, reicht es nicht aus, die strahlungsphysikalischen Daten als konstant anzusetzen und nur die Einstrahlung über den Jahresverlauf winkelabhängig zu berücksichtigen.
Für die praktische Anwendung ist es entscheidend, welche Auswirkungen sich letzten Endes in der Praxis ergeben.

Strahlungstransmission
Die Strahlungstransmission ist der Anteil der auffallenden Sonnenstrahlung, der direkt durch das Glas oder die Glaseinheit hindurchgelassen wird. Es ist zwischen dem gesamten Wellenbereich der Sonne mit τ_e (Energiestrahlungstransmission) und dem sichtbaren Anteil τ_v (Lichttransmissionsgrad) zu unterscheiden. Auch die Strahlungstransmission ist entsprechend der Reflexion winkelabhängig.

Strahlungsabsorption
Unter Strahlungsabsorption versteht man den Anteil der auffallenden Sonnenstrahlung, der vom Glas absorbiert wird. Es wird zwischen dem gesamten Wellenbereich der Sonne mit α_e und dem sichtbaren Anteil α_v unterschieden.

Gesamtenergiedurchlassgrad
Der Gesamtenergiedurchlassgrad gibt an, wie viel Sonnenenergie, die auf das Glas auftrifft, nach innen gelangt. Er berücksichtigt den Anteil, der direkt hindurchgeht, und den, der über die Absorption nach innen gelangt. Allgemein gilt, dass die Summe von Absorption, Transmission und Reflexion gleich 100 % ist, d.h. $\alpha_v + \tau_e + \rho_v = 100\ \%$

Lichttransmissionsgrad
Der Wert gibt an, wie viel Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm durch die Verglasung kommt, unter Berücksichtigung der Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges $V_{(\lambda)}$. Für die Beleuchtung in einem Raum ist der Tageslichtquotient des Raumes entscheidend, der für jeden Punkt im Raum angibt, wie viel Tageslicht durch die Glasöffnung tritt. Je tiefer der betrachtete Punkt im Raum liegt, umso weniger Licht erreicht ihn. Entscheidend ist, wie viel Himmel von einem bestimmten Punkt aus sichtbar ist. Gegebenenfalls können Licht lenkende Gläser eingesetzt werden (siehe »Licht lenkende Gläser«, S. 80).

Wärmeschutzglas

Ein Wärmeschutzglas ist ein Isolierglas mit mindestens einer zum SZR beschichteten Oberfläche. Für den Wärmeschutz (U-Wert) ist es dabei egal, auf welcher Oberfläche zum SZR die Schicht liegt. Der Gesamtenergiedurchlassgrad kann sich je nach Lage der Schicht um ca. 5 % verändern, die Ansichtsfarbe, eventuell auch die Farbgleichmäßigkeit ebenfalls geringfügig.
Meist wird der SZR der Wärmeschutzgläser mit Gasen, z.B. Argon, Krypton, Xenon oder Gemischen aus Krypton/Argon und Xenon/Argon, gefüllt. Die Wärmedurchgangskoeffizienten liegen hier bei 1,0 und 2,2 W/m^2K.
Dreifach-Isoliergläser mit drei Scheiben, zwei SZR und den oben aufgeführten Gasen weisen Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 0,5–0,8 W/m^2K auf. Entscheidend ist, dass die Werte auf der Berechnung nach DIN EN 673 mit eindeutig definierten Grundwerten für die Emissivität der Schichten und die verwendeten Gasarten im SZR beruhen. Nur so lassen sich die Werte objektiv vergleichen. Der Hersteller ist für die Einhaltung dieser errechneten Werte verantwortlich. Für jedes Gas gibt es infolge seiner spezifischen Eigenschaften immer einen optimierten Scheibenzwischenraum. In DIN EN 673 müssen die üblichen Emissivitäten ε_n eingesetzt werden und nicht die globalen Werte für ε. DIN EN 673 gibt hierfür die Korrekturfaktoren an. Es ist wichtig, dass die grundlegenden Werte für die Berechnung nachgewiesen und auch überprüfbar sind.
Wärmeschutzgläser sollen zur passiven Energiegewinnung möglichst viel Sonnenenergie durchlassen, d.h. hohe Werte für den Gesamtenergiedurchlassgrad g und die Lichtdurchlässigkeit τ_v besitzen. Der g-Wert sollte bei ca. 65 % liegen, τ_v bei ca. 60 %.
Optisch müssen sich Wärmeschutzgläser nicht von Isoliergläsern unterscheiden. Die Schichten sind heute farblich so neutral, dass sie kaum feststellbar sind. Abb. 2.1.45 und 2.1.46 zeigen die Abhängigkeit des U_g-Wertes von der Emissivität bei Zweifach- und Dreifach-Isoliergläsern.

Sonnenschutz

Die heutige Tendenz möglichst transparente Fassaden zu erstellen, heißt sich mit den Begriffen Wärmeschutz und Sonnenschutz näher auseinander zu setzen. Sonnenschutz bedeutet möglichst wenig Sonnenenergie in den Raum hereinzulassen und ihn somit vor übermäßiger Aufheizung infolge Sonneneinstrahlung zu schützen, d.h. kleiner g-Wert. Wärmeschutz bedeutet dagegen, den Wärmeverlust des Raumes bei niedrigen Außentemperaturen (z.B. im Winter) zu reduzieren und damit verbunden weniger Heizungsenergie zu verbrauchen. Tagsüber kann die Sonnenenergie als Solargewinn genutzt und als Heizung eingesetzt werden, d.h. niedriger U_g-Wert, höherer g-Wert. Der Solargewinn muss im Verhältnis zur möglichen Überhitzung infolge Sonneneinstrahlung auf das jeweilige Gebäude abgestimmt werden.
Die Temperatur der Raumluft ist nicht allein von den Einstrahlungswerten abhängig, sondern auch von der Gestaltung der Innenräume, der

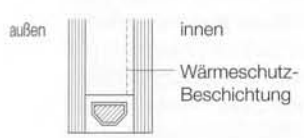
Wärmeaufnahmefähigkeit der Raumbegrenzungen sowie den inneren Wärmequellen. Mechanischer Sonnenschutz kann in Verbindung mit Sonnenschutzglas die Spitzen der Einstrahlung mindern. Es gilt also, Wärmeschutz und Sonnenschutz abhängig von Nutzung und Gebäudeausführung sowie von der Lage des Gebäudes zu optimieren.
Sonnenschutz bei Glas bedeutet, einen Anteil der auf das Glas auftreffenden Sonnenstrahlung nicht in den Raum einzulassen.
Von außen nach innen betrachtet ist dies grundsätzlich möglich mit:

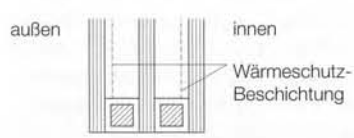
- außen liegender Store vor der Glaseinheit
- Sonnenschutzglas
- Store im Scheibenzwischenraum
- Folie im Zwischenraum
- Glasgespinnst, Flies zwischen den Scheiben
- innerer Store auf der Verglasungsinnenseite
- Aufbringen von Folien auf der Glasoberfläche
- Emaille- und Siebdruckmuster

Bei der Auswahl des Sonnenschutzsystems oder deren Kombination muss ein Kompromiss zwischen minimaler Energieeinstrahlung und maximaler Lichtausnutzung gefunden werden, denn Licht ist immer ein Teil Gesamtenergie. Dabei ist die Lage des Gebäudes, dessen Himmelsorientierung und die Nutzung von wesentlichem Einfluss.

Sonnenschutzglas

Im Gegensatz zu Wärmeschutzglas hat Sonnenschutzglas die Aufgabe, möglichst viel Sonnenenergie, die auf das Fenster trifft, vom Raum abzuhalten. Für das Klima im Innenraum addieren sich die äußeren Einflüsse wie Sonneneinstrahlung zu den inneren Wärmequellen. Der Lichttransmissionsgrad soll dennoch hoch sein, um viel Licht einzulassen.
Sonnenschutzglas erfüllt darüber hinaus auch eine ästhetische Aufgabe. Die Farbe der Reflexion sowie die Eigenfarbe des Glases kann zur Gestaltung einer Fassade eingesetzt werden.
Sonnenschutzgläser sollten einen Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) < 50 % und einen Lichttransmissionsgrad $L(t_v)$ > 40 % aufweisen. Schwankungen der Werte von ca. 3 bis 5 % sind in der Praxis für die Innenraumverhältnisse ohne Bedeutung.
Eingefärbte Gläser absorbieren mehr als stark reflektierende beschichtete Gläser. Je nachdem auf welcher Glasoberfläche die einzelnen Schichten liegen, ergeben sich für jeden Anwendungsfall spezifische Werte für die Reflexion, den Farbeindruck und damit den Gesamtenergiedurchgang, während die direkte





Zweifach-Isoliergläser wärmeschutzbeschichtet

Emissivität je	Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert (W/m²K)				SZR
	10 % Luft				
	Luft	Argon	Krypton	Krypton/ Argon 70:30	
	100 %	90 %	90 %	90 %	
ε_n = 0,16	1,9	1,7	1,5	1,5	12 mm
	1,8	1,6	1,5	1,6	14 mm
	1,7	1,5	1,5	1,6	16 mm
	1,8	1,6	1,5	1,6	20 mm
	1,8	1,6	1,5	1,6	22 mm
ε_n = 0,04	1,6	1,3	1,1	1,2	12 mm
	1,5	1,2	1,1	1,2	14 mm
	1,4	1,2	1,1	1,2	16 mm
	1,4	1,2	1,2	1,2	20 mm
	1,4	1,2	1,2	1,2	22 mm
ε_n = 0,03	1,6	1,3	1,1	1,1	12 mm
	1,5	1,2	1,1	1,1	14 mm
	1,4	1,1	1,1	1,2	16 mm
	1,4	1,2	1,1	1,2	20 mm
	1,4	1,2	1,1	1,2	22 mm
ε_n = 0,02	1,6	1,2	1,0	1,1	12 mm
	1,4	1,1	1,0	1,1	14 mm
	1,3	1,1	1,1	1,1	16 mm
	1,4	1,1	1,1	1,1	20 mm
	1,4	1,1	1,1	1,2	22 mm

2.1.45

Dreifach-Isoliergläser wärmeschutzbeschichtet zwei Schichten

Emissivität je	Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert (W/m²K)				SZR
	10 % Luft				
	Luft	Argon	Krypton	Krypton/ Argon 70:30	
	100 %	90 %	90 %	90 %	
ε_n = 0,16	1,7	1,4	1,1	1,2	2× 6 mm
	1,5	1,2	0,9	1,0	2× 8 mm
	1,3	1,1	0,8	0,9	2× 10 mm
	1,2	1,0	0,8	0,8	2× 12 mm
ε_n = 0,10	1,7	1,3	1,0	1,1	2× 6 mm
	1,4	1,1	0,8	0,9	2× 8 mm
	1,2	1,0	0,7	0,8	2× 10 mm
	1,1	0,9	0,6	0,7	2× 12 mm
ε_n = 0,04	1,6	1,2	0,9	1,0	2× 6 mm
	1,3	1,0	0,7	0,8	2× 8 mm
	1,1	0,9	0,6	0,7	2× 10 mm
	1,0	0,7	0,5	0,6	2× 12 mm
ε_n = 0,03	1,6	1,2	0,8	1,0	2× 6 mm
	1,3	1,0	0,7	0,8	2× 8 mm
	1,1	0,8	0,6	0,6	2× 10 mm
	0,9	0,7	0,5	0,6	2× 12 mm
ε_n = 0,02	1,5	1,2	0,8	0,9	2× 6 mm
	1,3	1,0	0,6	0,7	2× 8 mm
	1,1	0,8	0,5	0,6	2× 10 mm
	0,9	0,7	0,5	0,5	2× 12 mm

2.1.46

2.1.45 Abhängigkeit des U-Wertes von der Emissivität bei Zweifach-Isoliergläsern
2.1.46 Abhängigkeit des U-Wertes von der Emissivität bei Dreifach-Isoliergläsern

Transmission, also auch der Lichttransmissionsgrad konstant bleiben. Die Berechnung der g-Werte erfolgt nach DIN EN 410.

Sonnenschutzglas beschichtet / eingefärbt
Sonnenschutzgläser bestehen aus beschichteten oder eingefärbten Gläsern, wobei in unserer Klimazone Isolierglas verwendet wird. Durch geringfügige Mengen an Zuschlagstoffen im Glasgemenge werden die Eigenfarben des Glases – grau, bronze, grün oder auch blau – erreicht.
Die gängigen Verfahren der Beschichtung sind auf Seite 63ff. beschrieben.
Auf welcher Glasoberfläche die einzelnen Beschichtungen liegen können, hängt hauptsächlich von ihrem Aufbau ab. Die strahlungsphysikalischen Daten können nach den oben aufgeführten Grundlagen ermittelt werden, wobei neben den rein funktionalen Werten auch die Farbgebung und die optische Gleichmäßigkeit der Schicht berücksichtigt werden muss.
Angaben zur Lage der Beschichtung in der Anwendung kann nur der Hersteller machen. Er kennt die Zusammensetzung der Schichten sowie deren Wirkung und Beständigkeit. In der europäischen Norm DIN EN 1096 werden Definitionen und Testverfahren angegeben, durch die die Beständigkeiten der Schichten ermittelt werden können.
Werden die Schichten direkt mit Folien oder Gießharzen zu einer Einheit verarbeitet, müssen die neuen Grenzflächenverhältnisse zwischen den Schichten und den Folien oder Gießharzen berücksichtigt werden. Dies gilt für das Erscheinungsbild der Verglasung ebenso wie für ihre strahlungphysikalischen Werte.
Der Sonnenschutz durch eine Glasbeschichtung ist konstant und ermöglicht gleichmäßig über die gesamte Fläche der Scheiben eine ungestörte Durchsicht. Die Transmission wird durch erhöhte Absorption oder Reflexion über die gesamte Fläche reduziert.

Sonnenschutzgläser bedruckt
Die Strahlungstransmission kann an Glasscheiben durch partiell undurchsichtige Flächen (Raster) verringert werden. Mithilfe des Siebdruckverfahrens können Teile der Glasoberfläche, z.B. durch Einbrennen eines Email während des Herstellungsprozesses von thermisch vorgespanntem Glas (ESG), mit einem undurchsichtigen Muster versehen werden. Der Sonnenschutz, d.h. die Reduzierung der Strahlungstransmission, wird durch Beschattung der Glasfläche entsprechend dem Muster erreicht. Die Glasscheibe ist nur noch bedingt durchsichtig, die transparente Fläche für die Sonnenstrahlung geringer geworden. Die Sonnenschutzwirkung ergibt sich aus dem Verhältnis von transparenter zu nicht transparenter Fläche inklusive der entstehenden Absorption.

Äußerer Sonnenschutz
Ein wirksamer äußerer Sonnenschutz verhindert bereits außen, dass übermäßige Sonnenenergie durch die Scheibe in den Raum gelangt. Dieser kann mechanisch geregelt werden, ist jedoch gleichzeitig individuell einstellbar. Er kann aber, je nach Ausführung und Material, die Aussicht aus dem Raum behindern und infolge hoher Beschattung zusätzliche Beleuchtung zum Tageslicht erforderlich machen.
Ein außen liegender Sonnenschutz muss gegen Belastungen wie Wind, Schnee und Feuchtigkeit beständig sein und darf keine zusätzlichen Windgeräusche verursachen. Darüber hinaus muss er gereinigt werden und sollte nicht an der Glashalteleiste montiert sein. Die Haltekonstruktion des äußeren Sonnenschutzes muss mit der eigentlichen Fassadenkonstruktion so verbunden werden, dass keine zusätzlichen Wärmebrücken nach innen entstehen.

Fest montierte Beschattung
Schräge oder horizontale Lamellen können so angeordnet werden, dass sie bei entsprechendem Sonnenstand eine Beschattung der transparenten Flächen ermöglichen. Diese meist vorstehenden Lamellen können aus Metall, Holz, Kunststoff, aber auch aus Glas bestehen. Beschichtete Gläser mit niedrigem Transmissionsgrad, deren Schicht ausreichend beständig ist, oder eingefärbte Gläser können hierfür als thermisch vorgespannte Gläser (ESG) oder als Verbundgläser verwendet werden. Sie sind meist starr, können aber auch beweglich ausgeführt werden. Ob ESG oder VSG verwendet wird, richtet sich nach den Halterungsmöglichkeiten der Gläser sowie nach den jeweiligen zusätzlichen Sicherheitsanforderungen, die sich aus der Nutzung des Gebäudes ergeben.

Bewegliche äußere Sonnenschutzeinrichtung
Ein beweglicher äußerer Sonnenschutz ermöglicht die Beschattung entsprechend der individuellen Anforderungen. Hierfür eignen sich nicht transparente Materialien als horizontale Beschattungseinrichtungen, transluzente Gewebestore, aber auch bewegliche Ganzglaselemente. Bei horizontalen Lamellen wird die geringste Sonneneinstrahlung erreicht, wenn diese so geführt werden, dass nur indirekte Strahlung in den Raum eindringt. Das kann allerdings bedeuten, dass durch zusätzliche Beleuchtung das Tageslicht ergänzt werden muss und die Aussicht stark eingeschränkt wird. Bei transluzenten Gewebestoren ist darauf zu achten, dass sie witterungsbeständig sind und der Windbelastung widerstehen. Vorgesetzte bewegliche Ganzglaselemente aus beschichtetem Glas mit niedriger Transmission und eingefärbte Gläser liegen bei Nichtgebrauch außen vor der Brüstung und werden zum Sonnenschutz vor die eigentlichen Fenster gefahren. Somit bleibt die großflächige Durchsicht entsprechend des Lichttransmissionsgrades erhalten.

Isolierglas mit eingelegten Sonnenschutzelementen
In den SZR können Sonnenschutzrollos oder Jalousien eingelegt werden. Der SZR muss dafür ausreichend dimensioniert werden, um auch bei den zu erwartenden Bewegungen der Scheiben noch einen ausreichenden Abstand zu diesen zu gewährleisten (siehe »Isolierglas, Allgemeines«, S. 71). Es sollten innere Führungen der Lamellen vorgesehen werden, um Berührungen mi dem Glas zu vermeiden. Absorbierende Materialien erhöhen die Temperatur im SZR mit Einfluss auf den Pumpeffekt. Motoren für die Bewegung der Jalousien oder Rollos müssen im Isolierglas so eingebaut sein, dass sie die notwendigen Dichtebenen nicht unterbrechen. Gegebenenfalls muss hierfür eine getrennte Isolierglassystemprüfung durchgeführt werden.
Breite und Höhe der Isolierglaseinheit bestimmen die Möglichkeit, mit eingelegten Jalousien oder Rollos zu arbeiten. Gegebenenfalls müssen getrennte Einrichtungen im Isolierglas gewählt werden.
Die Isoliergläser sollten immer vertikal eingebaut werden, weil sonst die Lamellen und ihre Führungen auf den Gläsern schleifen. Für den schräg liegenden Einbau eignen sich nur Jalousienlamellen mit Wendeeinrichtung.
Die Steuereinrichtung muss auf das verwendete Jalousiensystem und die Wünsche des Betreibers abgestimmt werden. Entscheidend dabei ist die Auswahl der Einrichtung zur elektrischen Abschaltung beim Senken und Heben des Sonnenschutzes. Verschiedene Möglichkeiten bieten sich hierbei an, die aber nicht als Einzelteil sondern als Ganzes gesehen werden müssen.
Durch eingelegte Jalousien kann sich der U-Wert gegenüber einer Isolierglaseinheit ohne Jalousien verändern.

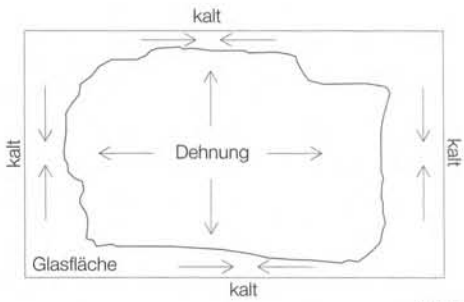
Photovoltaikmodule /-elemente im SZR
In den Zwischenraum von zwei Glasscheiben können Solarzellen eingebaut werden, die die aufgestrahlte Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandeln. Als Trägermaterial kommt häufig Gießharz zum Einsatz. Es besteht die Möglichkeit, amorphe oder kristalline Solarzellen zu verwenden. Das äußere Erscheinungsbild der amorphen Zellen reicht von rötlich durchscheinend bzw. dunkelgrau bis opak, das der kristallinen Zellen ist blauopak mit durchscheinenden Zellzwischenräumen. Die Photovoltaikmodule sind so aufgebaut, dass sie wie übliche Glas- oder Isolierglaselemente verarbeitet werden können. Der Wirkungsgrad ist abhängig von den verwendeten Materialien. Ein hoher Wirkungsgrad bei niedrigen Produktionskosten ist für die weitere Entwicklung richtungsweisend. Photovoltaikelemente können als Vorhangfassaden, Kaltfassaden oder Warmfassaden verwendet werden.

Fest montierte Folien im SZR
Im SZR können reflektierende Folien gespannt werden. Die eigentliche Sonnenschutzeinrichtung liegt in der Mitte eines großen SZR und trennt diesen in zwei kleine Zwischenräume, was zu einem geringeren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) führt. Die beiden SZR müssen miteinander verbunden sein, damit keine Druckunterschiede entstehen. Die verwendeten Folien können selektiv die Sonnenstrahlung reflektieren und haben dabei, je nach Art und Weise, unterschiedliche Farben. Das Reflexionsbild liegt auf der von außen aus gesehenen dritten Oberfläche.

Gläser mit Zwischenlagen
Zwischen zwei Glasscheiben können Glasgespinnste, Fliese, Kapillarsysteme, Schäume oder auch Lochbleche eingelegt werden. Je nach verwendeten Materialien verändern sich die Wärmedurchgangskoeffizienten und die strahlungsphysikalischen Daten der Glaseinheiten. Meist sind sie, je nach Ausführung der Zwischenlagen, Licht streuend.
Die Glasgespinnste und Fliese weisen neben ihrer hohen Lichtdurchlässigkeit (diffus) durch gleichzeitige Reflexion auch eine Sonnenschutzwirkung auf. Eine direkte Durchsicht ist nicht möglich. Werden sie als Oberlichter oder im Dach eingesetzt, wird das gestreute Licht durch Reflexion, z. B. an der Raumdecke und den Wänden, tiefer in den Raum gelenkt.
Kapillareinlagen und Schäume können auch als »transparente Wärmedämmung« eingesetzt werden. Sie besitzen einen sehr niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten (bis zu ca. 0,3 W/m²K) und lassen dennoch, wenn auch gestreut, Licht in den Raum, was zu Energiegewinnen führt.
Welche Glasarten zum Einsatz kommen, hängt vom gewünschten Anwendungsbereich ab.

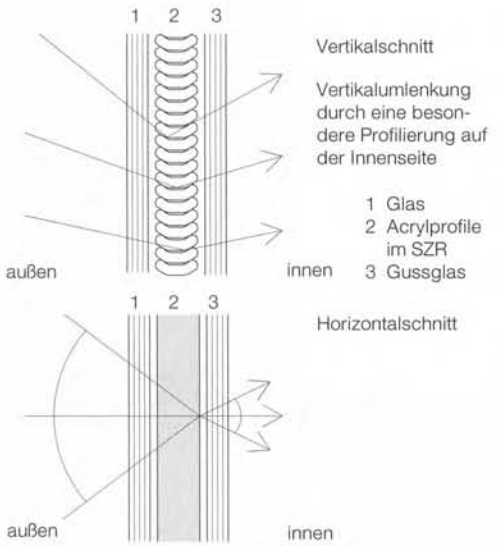
Innen liegender Sonnenschutz
Direkten äußeren Belastungen ist innen liegender Sonnenschutz nicht ausgesetzt. Er kann Sonnenenergie nur als Reflexion durch die Verglasung zurück nach außen senden. Die von ihm absorbierte Energie bleibt im Raum. Bei zu geringem Abstand von Scheibe und Sonnenschutz kann es zu einem Hitzestau kommen, der die Scheiben thermisch belastet. Da die vom Rahmen verdeckten Scheibenränder kälter bleiben, müssen die Gläser eventuell thermisch vorgespannt oder teilvorgespannt werden, um eine höhere Temperaturwechselbeständigkeit zu erreichen und eine Bruchgefahr auszuschließen (Abb. 2.1.47).
Ein innen liegender Sonnenschutz dient mehr als Blendschutz und verhindert, dass Personen, die sich im Raum befinden, der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt sind.

Glas mit aufgebrachten Folien
Auf die äußeren Oberflächen des Isolierglases werden reflektierende oder absorbierende Folien aufgeklebt, die infolge Absorption direkt die Temperaturen der Scheiben verändern. Besondere Vorsicht ist bei nachträglicher Montage erforderlich. Hochabsorbierende Folien, die auf die rauminnere Glasoberfläche aufgebracht

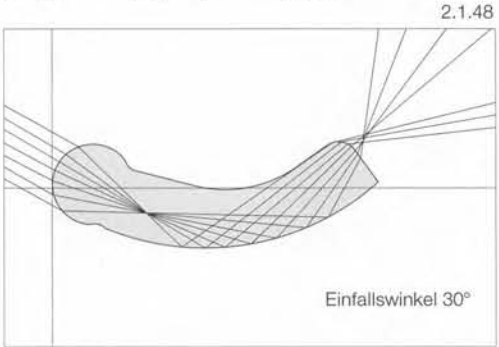


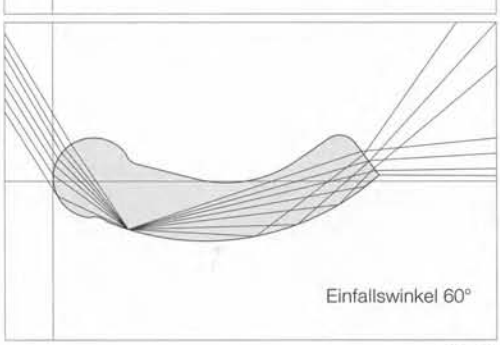
2.1.47

2.1.47 Spannung im Glas an den Stellen, an denen die kalten und warmen Flächen zusammentreffen. In der kalten Zone entstehen dabei Zugspannungen.

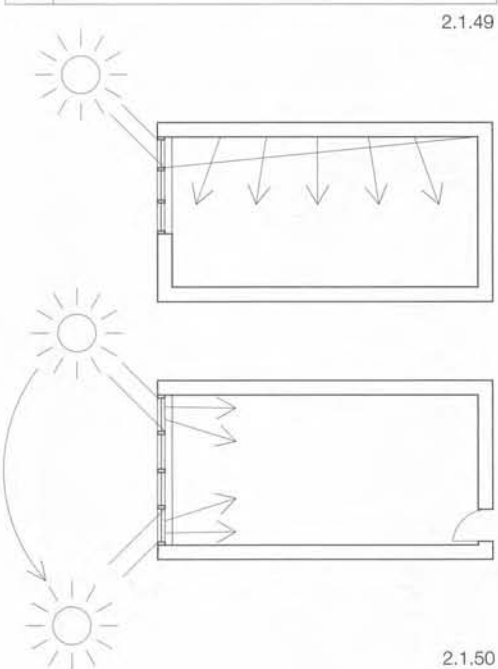


2.1.48





2.1.49



2.1.50

werden, können eine hohe Hitzeentwicklung bei Sonneneinstrahlung verursachen (Abb. 2.1.47).

Blendschutzeinrichtung
Durch eine diffus transmittierende Fläche, unabhängig ob es die Glasscheibe selbst oder eine innen oder außen liegende Sonnenschutzeinrichtung ist, wird Tageslicht gestreut in den Raum gebracht. Hohe Leuchtdichteunterschiede auf den Arbeitsflächen werden dadurch reduziert, was zur Minderung der physiologischen Blendungserscheinung führt. Die direkte Sonnenbestrahlung von Personen im Raum wird vermieden.

Durchsicht nur von einer Seite (Ventilwirkung)
Die Durchsicht von nur einer Seite, z.B. von außen nach innen, ist nur dann möglich, wenn man von der dunklen Seite durch das Glas auf die helle Seite blickt. Bei Umkehrung der Beleuchtungsverhältnisse kehren sich auch die Lichtverhältnisse und damit die Blickrichtung um. Mit zusätzlichen Reflexionen oder Absorptionen wird dieser Effekt verstärkt. Somit bestimmt nicht das Glas die Sehrichtung, sondern die Beleuchtung.

Licht streuende Gläser

Eine transparente Glasscheibe lässt einen gerichteten Lichtstrahl ohne Veränderung hindurch. Bei lichtstreuenden Gläsern wird der Lichtstrahl auf Grund der »rauen« Oberfläche gestreut, ebenso bei Ornamentgläsern (früher Gussgläser genannt). Je größer der Streugrad, desto weniger wird ein Gegenstand hinter der Verglasung sichtbar. Für den Innenraum bedeutet ein lichtstreuendes Glas, dass das einfallende Licht mehr oder weniger diffus ist. Die Helligkeit ist gleichmäßiger und nicht so abhängig vom Sonnenstand. Gläser mit Glasgespinnsten und Fliesen können gleiche Effekte erzielen.

Licht lenkende Gläser

Eine einfache Möglichkeit, einen Raum tiefer auszuleuchten, ist bereits seit Jahren durch den Einsatz von speziellen Gussgläsern gegeben. Während der Herstellung werden die Oberflächen so stark verformt, dass die Strahlung, die durch die erste Glasoberfläche trifft, auf die nächste Oberfläche so geleitet wird, dass sie an die helle Decke des Raumes strahlt und von dort in den Raum. Zusätzlich kann im Bereich der Fenster die Decke abgeschrägt werden, um eine tiefere Ausleuchtung zu erreichen. In jüngster Zeit werden zunehmend Isoliergläser entwickelt, die eine verstärkte Lichtleitung ermöglichen. Im Isolierglas werden hierzu bogenförmige Kunststoffelemente eingesetzt, die das Licht an die Decke lenken (Abb. 2.1.48 und 2.1.49). Von dort strahlt es dann tiefer in den Raum. Licht lenkende Isolierglaselemente können sehr gut als Oberlichter verwendet werden, da sie so konstruiert sind, dass möglichst viel Sonnenlicht unabhängig vom Einfallswinkel durch die Elemente geleitet wird (Abb. 2.1.50).

Brandschutzgläser

Brandschutzgläser werden grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt:

E-Gläser (rauch- und flammendicht)
Sie verhindern den Flammen- und Brandgasdurchtritt entsprechend der angegebenen Zeit; die Brandhitze kann sich ausbreiten.

EI-Gläser (Hitzeisolation)
Sie verhindern neben dem Flammen- und Brandgasdurchtritt entsprechend der angegebenen Zeit auch das Hindurchtreten der Wärmestrahlung, d.h. die Brandhitze kann sich nicht ausbreiten.
EW-Gläser, eine Untergruppe der EI-Gläser, sind Gläser mit Beschichtung zur Reduzierung des Strahlungsdurchgangs.

Türen müssen als Brandschutzelemente getrennt mit der jeweiligen EI-Verglasung geprüft werden. Für sie gilt die Bezeichnung T mit der Angabe der geprüften Widerstandszeit. Meist erfüllen Brandschutzgläser aufgrund ihres Aufbaues auch Sicherheitseigenschaften, z.B. absturzsichernd, entsprechend dem Pendelschlagversuch nach DIN EN 12600. Für die einzelnen Anwendungsfälle muss getestet werden, welcher Pendelfallhöhe die jeweilige Glasart standhält.
Zur Feuersicherheit müssen Brandschutzgläser in einer entsprechenden Rahmenkonstruktion in Verbindung mit geprüften Verbindungs- und Abdichtungsmaterialien eingesetzt werden. Die gesamte Einheit von Glas und Rahmen wird nach DIN EN 13501 Teil 1–2 geprüft, eingestuft und vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIfBT) zugelassen. Änderungen an den Materialien, die im Prüfbericht aufgeführt sind, bedürfen einer besonderen Zustimmung oder Prüfung. Nicht aufeinander abgestimmte Materialien könnten z.B. den Durchtritt von Rauch und Rauchgasen sowie Feuer fördern oder zur Rauchentwicklung beitragen.
EI-Glaseinheiten enthalten Stoffe, die bei Temperaturentwicklung Energie aufnehmen und sich umwandeln ohne bzw. nur geringfügig Energie abzugeben. Entscheidend bei Brandschutzgläsern ist wie lange sie dem Brand Widerstand leisten. Es gelten als Widerstandszeit 30, 60, 90 und 120 Minuten. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 13501 Teil 1–2 mit der Normbrandkurve. Dabei wird das komplette Bauteil aus Rahmen, Abdichtung und Glas in die Prüföffnung des Brandofens eingebaut. Im Brandraum steigt danach die Temperatur entsprechend der Einheitstemperaturkurve an, so dass sie nach 15 Minuten bei ca. 700 °C, nach 30 Minuten bei ca. 825 °C, nach 45 Minuten bei

ca. 900 °C und nach 60 Minuten bei 920 °C liegt. Nach 90 Minuten liegt sie knapp unter 1000 °C.
Zur Prüfung der Rauch- und Flammendichtigkeit (E-Klassifizierung) darf sich ein direkt hinter der Verglasung befindlicher Wattebausch nicht selbst entzünden, und es dürfen keine Flammen auftreten. Bei der Prüfung der thermischen Isolation, also der Einstufung nach EI-Klassen, darf die Temperatur auf der vom Brand abgewandten Verglasungsoberfläche im Mittel nicht über 140 K und die maximale Temperatur an keiner Stelle der Scheibe über 180 K gegenüber der Raumtemperatur zu Beginn der Prüfung liegen. Ein beschichtetes Glas erfüllt die Anforderung nach EW, wenn im Abstand von 1 m eine Strahlungsleistung von weniger als 15 kW/m² ankommt. Brandschutzgläser werden sowohl für den Innen- als auch für den Außenbereich hergestellt. Dabei ist zu prüfen, ob in der Außenwand infolge Energieabsorption bei Sonneneinstrahlung oder niedriger Temperaturen die verwendeten Materialien nicht bereits schon reagieren oder sich verändern. Für schräg liegende Verglasungen erfolgen gesonderte Prüfungen. Geeignete Beschichtungen können den Strahlungsdurchgang ebenso reduzieren.

Kombinationen von Funktionsgläsern

Es gibt unbegrenzte Möglichkeiten, die aufgeführten Gläser und Glasarten für jeden Einsatzbereich miteinander zu kombinieren. Die sich daraus ergebenden Funktionen müssen im Einzelnen ermittelt werden. Funktionskombinationen schaffen physikalische Zusammenhänge, die der Fachmann beurteilen muss, um danach die erforderlichen Glasarten aufgrund ihrer Eigenschaften auszusuchen.

Anwendungsbereiche

Glas kann als Baustoff universell eingesetzt werden. Einhergehend mit der rapiden Entwicklung der Weiterverarbeitung und den damit zunehmenden Anwendungsmöglichkeiten ist es jedoch unabdingbar, die physikalischen Eigenschaften weiter zu erforschen und festzuhalten sowie die Grenzen für jede Glasart und deren Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Materialien für den jeweiligen Anwendungsfall auszuloten. Bei den Ermittlungen der einzelnen physikalischen Kenngrößen sind vor allem die jeweiligen Randbedingungen zu beachten, umso mehr als teilweise an die Grenzen des Materials gegangen wird, d.h. jede kleinste Veränderung der Randbedingungen könnte zum Versagen führen. So darf Glas nicht losgelöst von der tragenden Konstruktion gesehen werden. Schnell entsteht der Eindruck, dass alles, was hergestellt wird, auch uneingeschränkt angewendet werden kann.
Bei der Vielzahl der angebotenen Glasprodukte bedarf es eines Spezialisten, der aus der gesamten Palette das für den jeweiligen Anwendungszweck geeignete Produkt auswählt und der aufgrund der Bemessungsgrundlagen abschätzen kann, wie sich dieses Material in der Praxis verhält. Bei der Auswahl der Gläser für eine bestimmte Anwendung müssen Prioritäten gesetzt werden. Sämtliche Vorstellungen können nur selten erfüllt werden. Folglich sind bei der Auswahl der Glasart und ihrer Kombinationen mit der Konstruktion Kompromisse zu schließen.

Fenster und Fassaden

Fenster im Sinn der Bauaufsicht sind Bauteile, an die bei einem Einbau über 1 m zum Fußboden keine zusätzlichen Anforderungen wie etwa Absturzsicherung gestellt werden. Glas ist eine transparente Füllung und dient nicht zur Stabilität des Rahmens oder der Konstruktion. Sollte das Glas weitere Anforderungen erfüllen, dann muss dies bei der Dimensionierung der Glasscheibendicke bzw. bei der Glasart berücksichtigt werden, da weitere Kräfte auf das Glas wirken. Fenster und Fassaden stehen senkrecht in der die Räume bildenden Abschlussflächen und sind das Trennelement zwischen innen und außen.

Wärmedämmung
Die Wärmedämmung muss heute hohen Standards genügen, die aufgrund geltender nationaler Regeln in Deutschland durch die Wärmeschutzverordnung definiert sind. Während DIN 4108 Mindestanforderungen vorschreibt, die bauphysikalisch begründet sind, geht die Wärmeschutzverordnung (WSVO) vom Energieeinsparungsgesetz in Verbindung mit der Energieeinsparungsverordnung (EnEV) aus.

Schalldämmung
Die Schalldämmung eines Fensters oder einer Fassade hängt sowohl von der Ausführung des Rahmens, der Gläser und der Einbauart ab als auch von der Abdichtung zwischen Blend- und Flügelrahmen und der Abdichtung der Anschlussfugen. Das schwächste Glied bestimmt dabei die Wirksamkeit. Schon geringfügige Undichtigkeiten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtschalldämmung wie auch auf die Wärmedämmung. Zusätzliche Elemente wie Rolladenkästen und durchgehende Fensterbänke können die Schalldämmung wesentlich beeinflussen. Schallbrücken sieht man oft nicht, man hört sie nur. Nur eine fachgerechte Planung zusammen mit einer sachgerechten Ausführung führen zu einempositiven Ergebnis.

Sicherheit
Durch die Auswahl einer geeigneten Glasart können Sicherheitsanforderungen wie Verletzungsschutz, Absturzsicherung, Durchwurf-, Durchbruch- und Durchschusshemmung erfüllt werden. Wichtig ist, dass der Glasrahmen und die Konstruktion darauf abgestimmt werden. Das Sicherheitsziel muss definiert werden.

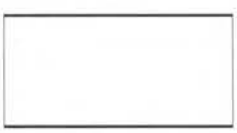
2.1.48 Licht lenkendes Glas
2.1.49 Lichtlenkung durch spezielle Elemente
2.1.50 Lichtverteilung mit Licht lenkenden Elementen in der Fassade und Reflexion an der Decke

Schutzscheibe

tragende VSG-Kombination

2.1.51

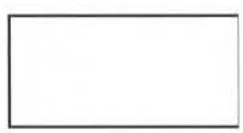
einseitig



zweiseitig

zweiseitig

dreiseitig



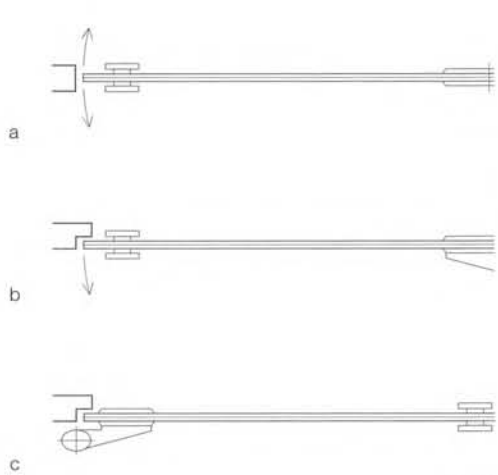
dreiseitig

vierseitig

Vierpunkthalterung

Vierpunkthalterung

2.1.52



2.1.53

Schrägverglasungen / Dachverglasungen

Bei vertikalen Verglasungen steht die Scheibe im Rahmen auf Klötzen, die das Eigengewicht in den Rahmen ableiten. Liegt die Scheibe schräg auf dem Rahmen auf, werden das Glasgewicht und die Gebrauchslast aus Wind und Schnee über den Kantenbereich auf das seitliche Rahmenprofil und von dort in die statische Unterkonstruktion abgeführt. Diesen gegenüber der vertikalen Bauweise veränderten Randbedingungen muss Rechnung getragen werden.

Die Auflagerprofile müssen ausreichend elastisch und stabil sein, damit über sie die Lasten abgeführt werden können und die Scheibenränder frei drehbar gelagert sind. Normale plastische Vorlegebänder, die für die vertikale Verglasung verwendet werden, können hier nicht zum Einsatz kommen. Geeignet sind dafür Silikonprofile oder Profile aus APTK/EPDM mit ausreichender Rückstellkraft.

Betretbare und begehbare Verglasung

Schräg liegende Verglasungen verleiten dazu, sie zu Reinigungs- oder Reparaturzwecken zu betreten. Das ist im Allgemeinen jedoch bei der Berechnung der Glasdicke nicht berücksichtigt. Bei Überbelastung entsteht Bruch und dabei können schwerwiegende Verletzungen und große Gefahren entstehen. Üblicherweise werden die Glasdicken für Flächenlasten (Schnee und Wind) berechnet, während das Betreten oder Begehen Punktlasten verursacht, die zusätzliche Spannungen im Glas hervorrufen. Auch Gläser mit Drahtnetzeinlage sind auf keinen Fall betretbar.

Scheiben, die betreten oder begangen werden sollen, müssen entsprechend dimensioniert werden. Hierbei werden zwei Kategorien unterschieden:

Betretbare Verglasung

Bei einer betretbaren Verglasung muss die Person, die die Scheiben (zu Wartungs- oder Reinigungszwecken) betritt, genügend Vorsicht walten lassen. Sie darf die Scheiben nicht mittig betreten, sondern nahe am Rand, damit die Kräfte direkt in die Unterkonstruktion abgeleitet werden und es nicht zu erhöhten Biegespannungen im Glas kommt. Schwere Gegenstände, die zusätzliche Lasten darstellen, sollten nicht mitgeführt werden. Um ein Abrutschen zu vermeiden, müssen der Dachneigung entsprechende Sicherungen vorhanden sein. Gegebenenfalls muss sich eine Person zusätzlich mit einem Seil vor dem Abstürzen sichern. Hierzu bestehen baurechtliche Anforderungen. Die betretende Person muss sich vergewissern, welche Glasart vorliegt, und dafür Sorge tragen, dass sie z. B. keine spitzen Steinchen an den Schuhsohlen hat. Falls es notwendig erscheint, kann bei der Dimensionierung des Glases eine zusätzliche Punktlast von 1 kN in Scheibenmitte berücksichtigt werden. Für betretbare Verglasungen sollte ein splitterbindendes Glas (z. B. VSG) und kein ESG allein verwendet werden.

Begehbare Verglasung

Eine begehbare, an den Rändern aufliegende Verglasung muss die gleichen Anforderungen wie eine normale Geschossdecke erfüllen. Deshalb sind üblicherweise Traglasten von 5 kN/m² anzusetzen. Bei besonderen Anwendungsfällen können sie auch höher liegen. Es muss berücksichtigt werden, dass während der gesamten Nutzungsdauer auch schwere Gegenstände über das Glas transportiert oder auf ihm abgestellt werden. Dies gilt besonders für Treppen. Für begehbare oder betretbare Verglasungen wird grundsätzlich VSG verwendet, das im Bruchfall nicht in sich zusammenfällt, sondern noch eine abhängig von den Auflagerbedingungen zweiseitig, vierseitig oder punktförmig gehaltene Restfestigkeit aufweist.

Die erforderliche Glasdicke errechnet sich aus der Belastung und der anzusetzenden zulässigen Biegebruchspannung des Glases für Dauerlast. Zusätzlich sollte eine mindestens 6 mm dicke Verschleißscheibe auf den tragenden VSG-Verbund aufgesetzt werden, deren Zerstörung keinen Einfluss auf die Stabilität des Gesamtsystems haben darf. Ihr Zweck ist der Schutz der tragenden VSG-Einheit. Die Verschleißscheibe kann, falls gestalterisch gewünscht oder zur Vermeidung der Rutschgefahr, zusätzlich mit Emaille oder Siebdruck behandelt werden (Abb. 2.1.51, siehe »Betretbare und begehbare Glasflächen«).

Neigung der Verglasung

Geringere Neigungen als 7° sollten bei Verglasungen vermieden werden. Das soll nicht heißen, dass geringere Neigungen nicht möglich sind, nur muss man sich der Konsequenzen bewusst sein und bereit sein, sie zu tragen. Der Verschmutzungsgrad steigt bei kleinen Winkeln. Laub bleibt liegen und sogar Wasser, das infolge der Durchbiegung auf den Glasscheiben stehen bleibt, kann zu Verätzung und Auslaugung der Glasoberfläche führen.

Die Wasserabführung über das Drainagesystem der Konstruktion muss auch bei flachen Dachneigungen gewahrt bleiben, da sonst der Randverbund des Isolierglases angegriffen wird, Feuchtigkeit in den Scheibenzwischenraum gelangen kann und auch die Rahmenkonstruktion angreift. Werden Dachneigungen kleiner als 7° ausgeführt, muss mit entsprechenden Folgen gerechnet werden, die aus den geschilderten Sachverhalten entstehen können.

Glasart

Einfachverglasung

Bei der Auswahl der Glasart muss darauf geachtet werden, dass bei Glasbruch keine Glassplitter herunterfallen und Personen gefährden. Je schräger eine Scheibe liegt, umso stärker wirkt das Glasgewicht auf die zerbrochene Scheibe und Splitter können herausfallen. Vertikale Scheiben, die gebrochen sind, bleiben im Rahmen stehen (siehe auch

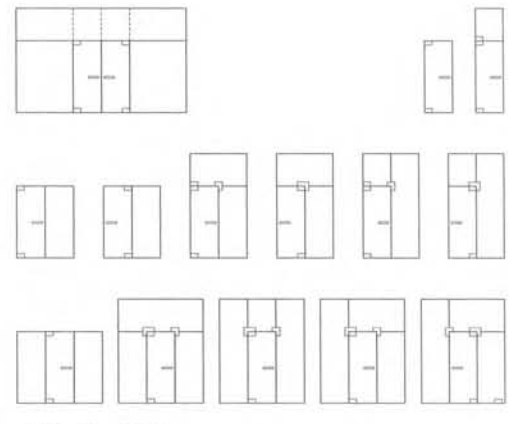
Musterbauordnung MBO).
Splitterbindende Gläser können diese Anforderung erfüllen. VSG, z.B. mit PVB-Folie oder gleichwertigen Gießharzkombinationen, können hierfür verwendet werden, mit Einschränkung auch Gläser mit Drahteinlage.
In Gegenden mit häufigem Hagelschlag sollte diese Belastung auch bei der Auswahl der Gläser berücksichtigt werden. VSG, das aus zwei Scheiben teilvorgespanntem Glas besteht, bietet hierfür ausreichende Sicherheit. Nach dem Bruch müssen die verwendeten Gläser noch eine ausreichende Restfestigkeit aufweisen, damit vermieden wird, dass bei Eintritt des Bruches das Glas mit der Schneelast in den Raum fällt.
Gleiche Überlegungen gelten auch für Dachgeschossfenster unter denen sich Menschen aufhalten (siehe »Bemessung nach Grenzzuständen«, S. 100f.).

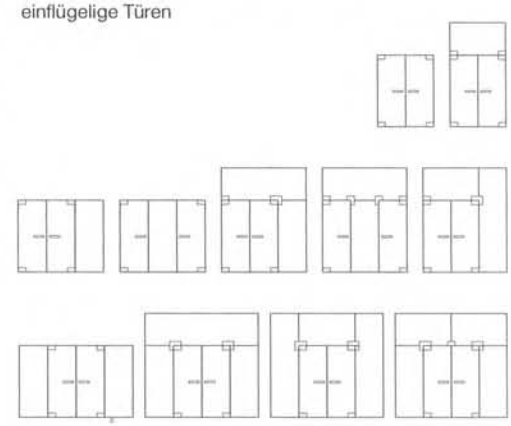
Isolierverglasung
Bei Isolierverglasungen sollte die äußere Scheibe alle Lasten aufnehmen und die untere Scheibe splitterbindend sein. Die äußere Scheibe kann als ESG gewählt werden, um eine ausreichende Stabilität bei Hagelschlag zu erzielen. Da nur die Festigkeit gegen die äußeren Lasten entscheidend ist, hält bei Bruch die darunter liegende, splitterbindende Scheibe die Splitter vor dem Herabfallen (siehe »Resttragfähigkeit«, S. 101f.).

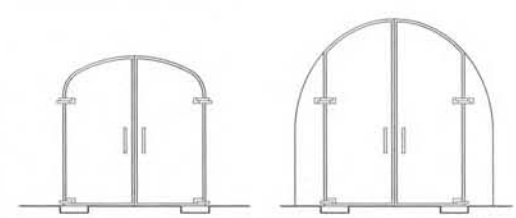
Brüstungen/Geländer
Brüstungen und Geländer dienen dazu, Personen vor einem Absturz zu schützen. Wird hierfür Glas verwendet, muss es die gleichen Anforderungen erfüllen wie eine massive Brüstung, d.h. die Glasscheibe muss auch dem Aufprall einer Person widerstehen. Um dies zu testen, dient der Pendelschlagversuch nach DIN EN 12600. Dabei darf der Pendel mit einem Gewicht von 50 kg aus einer vorgegebenen Fallhöhe das Glas nicht zerstören oder durchschlagen. Floatglas kann wegen seiner großen Splitterbildung in Brüstungen nicht verwendet werden.
Für die Funktionsfähigkeit des Glases ist es notwendig, dass die Unterkonstruktion in Verbindung mit dem Glas dieselben Anforderungen erfüllt. Die Konstruktion muss auf das Glas abgestimmt werden. Als Glasarten sind hierfür, je nach Haltekonstruktion, VSG und VSG aus vorgespannten und teilvorgespannten Scheiben möglich. Teilvorgespanntes Glas allein kann nicht verwendet werden.
Bei Glashaltern an seitlichen Treppengeländern darf es beim Begehen der Treppe zu keinen Relativbewegungen der Halter untereinander kommen, denn diese bringen zusätzliche Spannungen ins Glas (Abb. 2.1.52, siehe »Resttragfähigkeit von Bauteilen mit absturzsichernder Wirkung«, S. 102f.).

Trennwände
Glas kann innerhalb eines Gebäudes zur Abtrennung von Räumen geschosshoch eingesetzt werden, ohne dass eine Absturzgefahr besteht. Aus Sicherheitsgründen sollten ausreichend dimensionierte, mindestens 8 mm dicke ESG-Scheiben verwendet werden, die infolge ihrer hohen Biegebruchfestigkeit beim Sturz einer Person in die Scheibe dieser Belastung standhalten. Bei einer eventuellen Überbelastung stellen sie aufgrund ihres Bruchbildes (kleine stumpfkantige Krümel) ein erheblich geringeres Verletzungsrisiko gegenüber normalem Glas dar. Gegebenenfalls müssen Trennwände mit Brandschutzverglasungen ausgestattet werden, wobei die gesamte Konstruktion diese Anforderung erfüllen muss.
Anstelle von ESG kann ein entsprechend dickes VSG verwendet werden.

Ganzglastüren/Ganzglastüranlagen
Für selbsttragende Ganzglastüranlagen eignet sich ESG aufgrund seiner hohen Biegebruchfestigkeit. Ganzglasinnentüren können in Standardzargen aus Metall und Holz nach DIN 18101 eingesetzt werden. Die Glasdicke der Einzeltürblätter beträgt je nach Größe mindestens 8 mm. Die notwendigen Beschläge werden an die Glasscheibe angeschraubt, wobei zwischen Glas und Metall Zwischenlager vorhanden sein müssen. Das Glas wird in dieser Anwendungsform mit dem Beschlag fest verbunden (Abb. 2.1.53).
Ganzglastüren können mit oder ohne untere Abschlussschiene geliefert werden.
Bei Ganzglastüranlagen, die aus Türflügel mit Seitenteil und Oberlicht bestehen, werden die notwendigen Beschläge an die Glasscheiben angeschraubt. Gegebenenfalls müssen aussteifende Gläser angebracht werden, um die Stabilität der Konstruktion zu erhöhen und Durchbiegungen der tragenden Glaselemente zu vermeiden. Im Bereich der Oberlichter sollen sie den Drehpunkt der Tür stabilisieren.
Ganzglastüren können als Dreh-, Schiebe- oder durchschwingende Tür (Schwingtür) ausgebildet werden. Windfanganlagen können komplett aus Glas erstellt werden.
Meterlange flexible Trennwandsysteme können als Falt-, Roll- oder Harmonikaanlagen ausgeführt werden. Bei den Rollwandsystemen ist darauf zu achten, dass bei einer fehlenden unteren Laufschiene die obere Laufwagenkonstruktion so ausgebildet sein muss, dass bei Betätigung der Anlage die Glasscheiben nicht durchschwingen und dadurch Verletzungen an den Füßen des Bedieners verursachen. Im geöffneten Zustand werden die einzelnen Glasflügel in die Platz sparende Parkposition gebracht, im geschlossenen Zustand bilden sie einen transparenten glatten Abschluss. Die Mindestglasdicke beträgt 10 mm (Abb. 2.1.54).
Für Ganzglastüranlagen kann Floatglas, klares, in der Masse eingefärbtes Glas, mit und ohne Struktur, transluzentes, einseitig emailliertes und mit geätzten oder im Siebdruck aufgebrachten Mustern versehenes Glas verwendet werden.
Türen aus Klarglas sollten durch Ätzungen oder sonstige Behandlungen sichtbar gemacht werden, um ein Dagegenlaufen zu vermeiden.


einflügelige Türen


doppelflügelige Türen


2.1.54

2.1.51 Schnitt VSG für begehbare Verglasungen
2.1.52 Befestigungsmöglichkeiten für Glasgeländer/Brüstungen
2.1.53 mögliche Anschlagarten
a Pendeltür – Öffnungsrichtung nach beiden Seiten
b Anschlagtür – Öffnungsrichtung nach einer Seite, Öffnungsart: DIN rechts
c Anschlagtür – Öffnungsrichtung nach einer Seite, Öffnungsart: DIN links
2.1.54 Ganzglastüranlagen

Treppenstufen aus Glas

Für Treppenstufen aus Glas gelten die gleichen Sicherheitsanforderungen wie für Stufen aus anderen Materialien. Treppenstufen werden nicht nur begangen, sondern sie dienen auch dem Transport schwerer und harter Gegenstände, beispielsweise von Möbeln. Für Treppenstufen muss VSG verwendet werden. Liegen die Gläser vierseitig auf, sind infolge der kleinen Stützweiten keine großen Durchbiegungen zu erwarten. Liegen sie jedoch freitragend über die gesamte Treppenbreite auf, muss die sich aus der maximalen Belastung ergebene Durchbiegung gering gehalten werden, um einen Trampolineffekt zu vermeiden. Sie sollte nicht größer als 2,5 mm sein. Gegebenenfalls muss die Stabilität durch entsprechende Versuche nachgewiesen werden.
Bei zweiseitig aufliegenden Scheiben darf bei Bruch einer Scheibe die Gesamttragfähigkeit nicht so stark reduziert werden, dass die Scheibentreppenstufe aus der Halterung herausrutscht.
Wichtig ist auch, dass die Auflagekonstruktion ausreichend stabil ist. Gegebenenfalls sind dynamische Belastungen aus der Nutzung der Treppe für das Glas und die Konstruktion zu berücksichtigen. Zur Vermeidung der Rutschgefahr sollte die oberste Scheibe auf ihrer Oberfläche bearbeitet sein (z.B. geeigneter Siebdruck), wobei jedoch auch die Reinigungsmöglichkeit zu beachten ist.

Aquariumverglasung

Bei der Verglasung von Aquarien oder der Erstellung von Ganzglasaquarien müssen insbesondere folgende Punkte beachtet werden (Abb. 2.1.55):

- die Wasserlast in einem Aquarium stellt für das Glas und die Fuge eine Dauerlast dar
- die Verteilung der Wasserlast auf das Glas entspricht einem Dreieck (die Last nimmt von oben nach unten zu). Zur einfacheren Berechnung kann eine gleichmäßig wirkende Ersatzlast angesetzt werden (Abb. 2.1.55)
- die äußere, dem Wasser abgewandte Oberfläche steht unter Zugspannung. Bei zu geringer Glasdicke und starker Zerkratzung kann es zum Bruch kommen
- Glasscheiben müssen ausreichend dick und damit biegesteif sein, um größere Durchbiegungen zu vermeiden
- die maximal zulässige Biegespannung sollte für Floatglas 8 kN/mm² nicht überschreiten

Die Glasdicke errechnet sich aus der Wasserlast und der Auflagebedingung. Es ist entscheidend, ob die Aquariumscheibe vierseitig im Rahmen liegt oder dreiseitig bzw. zweiseitig mit den Höhen- oder Breitenkanten aufliegt. Bei der hohen Wasserlast hat dies einen entscheidenden Einfluss auf die Glasdicke und Dichtigkeit der Verbindung zwischen den Gläsern.
Als Glasart bietet sich VSG aus Floatglas an. Infolge der anwendungsbedingt gering anzusetzenden Durchbiegungen ist Glas mit höheren zulässigen Spannungen meist nicht erforderlich. Bei Bruch ist die Restfestigkeit von VSG aus Floatglas größer als z.B. bei VSG aus thermisch vorgespanntem Glas. Gleiches gilt für die Bodenplatte, wenn sie nicht flächig auf einer ebenen Unterlage aufliegt. Für die Bemessung der Glasdicke ist die zulässige Spannung für Dauerlast bei Glas anzusetzen.
Die Auflager müssen so ausgebildet sein, dass die Scheiben elastisch gehalten werden und eine einwandfreie Abdichtung möglich ist. Die Breite der Randauflage der Scheiben sollte etwa der Glasdicke entsprechen.
Bei Ganzglasaquarien ist neben der Glasdicke auch die Haltbarkeit der Kantenverklebungen zu beachten (Abb. 2.1.56). Die Kräfte aus der Wasserlast werden von einer Scheibe über die Verklebung zu den anderen übertragen. Vertikale Stoßfugen sind hierbei zu vermeiden. Verklebungen über Gehrungen sind günstiger, weil sie dann nur zu 50 % auf Scherspannungen belastet werden. Es müssen hierfür Materialien verwendet werden, die eine Verklebung ermöglichen und wasserfest sind, keine Dichtstoffe.
Die Ränder der VSG-Einheiten bei Aquarienverglasungen sind hoher Feuchtigkeit ausgesetzt. Aus diesem Grunde ist, wie bereits unter »Verbundsicherheitsglas« (S. 69f.) ausgeführt, der Einfluss auf den Randbereich nicht auszuschließen.

Transparente Wärmedämmung (TWD)

Transparente Wärmedämmungen (TWD) sind oft nicht – wie es der Name erwarten lässt – klar durchsichtig, sondern diffus lichtdurchlässig. Neben der Wärmeisolation dienen sie wegen ihrer Strahlendurchlässigkeit auch dem Wärmegewinn.
Die einfachste transparente Wärmedämmung ist Isolierglas mit einem U-Wert von etwa 0,7 W/m²K. Isolierglas wird wegen seiner Transparenz für Fenster eingesetzt.
Meistens wird eine transparente Wärmedämmung aber direkt vor einer massiven Außenwand eingebaut. Diese wird dann durch Sonneneinstrahlung aufgeheizt und führt die gespeicherte Energie in den dahinter liegenden Raum ab. Bestimmte transparente Wärmedämmungen können auch direkt als Fassadenausfachungen eingesetzt werden. Damit tragen sie unmittelbar zur Tageslichtnutzung bei. Als Material für transparente Wärmedämmungen eignen sich sehr dünne Kunststoffkapillare, dünnwandige Glasröhrchen oder Aerogele (geschäumtes SiO_2-Granulat), die zwischen zwei Glasscheiben gelegt werden. Andere Elemente haben auf ihrer Rückseite zusätzliche Absorber, um mehr Sonnenenergie aufzunehmen. Im Sommer sollten TWD-Elemente von außen her abgeschattet werden.

Structural Sealant Glazing (SSG) – Last abtragende Verklebung

Beim Structural Sealant Glazing (SSG) (Abb. 2.1.57) werden die Glasscheiben nicht wie üblich mechanisch in Falzen gehalten, sondern in einen Adapterrahmen geklebt, der anschließend in die Fassade eingehängt oder anderweitig mechanisch befestigt wird. Die Technik kann für Einfach- oder Isolierglaseinheiten angewandt werden. (siehe »Structural Sealant Glazing«, S. 166).

Bei Isolierglaseinheiten besteht der Randverbund aus einem speziell für diesen Zweck entwickelten, UV-beständigen Silikon. Eine besondere Prüfung der Haftung zum Glas ist erforderlich und muss nachgewiesen werden. In Deutschland ist eine Zulassung für das gesamte System von Glas und Rahmen verbunden mit einer Fremdüberwachung während der Fertigung notwendig.

Die Klebeverbindung darf nur die Winddruck- und Sogkräfte aufnehmen. Das Glasgewicht, wenn es Schwerkräfte an der Klebefuge verursacht, muss grundsätzlich mechanisch abgetragen werden, damit die Klebeverbindung nicht dauerhaft auf Scherung belastet wird. Bei auftretenden Dauerscherkräften an den Verbindungsstellen könnte der Kleber über die Nutzungsdauer versagen. Sollten diese Scherkräfte berücksichtigt werden, müsste ein völlig anderes Sicherheitskonzept auch in Bezug auf die Verklebungsmaterialien erarbeitet werden.

SSG-Elemente werden im Werk unter den vorgegebenen Bedingungen gefertigt. Die Verarbeitungsrichtlinien des Kleberherstellers sind dabei unbedingt einzuhalten. Während des Aushärtungsvorgangs dürfen die Glaselemente nicht bewegt werden, damit die Klebefuge nicht belastet wird. Die Fertigung muss in einer sauberen und konstanten Atmosphäre erfolgen.

Für SSG-Verglasungen werden in Deutschland (Einbauhöhe über 8 m) zusätzliche Sicherungen verlangt, die dazu dienen, dass im Versagensfall des Klebers die Scheiben bei der anzusetzenden Belastung mit einer Restsicherheit, die größer als 1 ist, im Rahmen bleiben. Grundsätzlich muss eine bauaufsichtliche Zustimmung eingeholt werden. Die notwendige Breite und Tiefe der Last aufnehmenden Verklebung muss für den jeweiligen Anwendungsfall ermittelt werden und ist durch die notwendige Aushärtungszeit und andere Materialeigenschaften des Klebers begrenzt. Die Verklebungsbreite wird durch hierfür geeignete Auflagebänder vorgegeben, die ausreichend steif sind und sich bei der Herstellung infolge des Glasgewichtes nicht verformen (horizontale Fertigung mit anschließender Aushärtung). Die Aushärtung muss spannungsfrei erfolgen, d.h. die Verklebung darf bis zur endgültigen Aushärtung nicht belastet werden. Für SSG-Systeme sind allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen oder Zustimmungen *im Einzelfall* erforderlich. Auf europäischer Ebene gelten allgemeine Zulassungsbestimmungen und Prüfverfahren von der europäischen Zulassungsbehörde (EOTA). Bei der Anwendung an Fassaden muss auch der Brandschutz berücksichtigt werden.[2]

Physikalische Erscheinungen

Glas ist ein transparenter, absorbierender und reflektierender Baustoff. Aus diesem Grund werden häufig übliche, zeitweise störende, physikalisch bedingte Erscheinungen schneller sichtbar und oft fälschlich dem Material angelastet, obwohl die gleichen Effekte auch bei anderen nicht transparenten Baustoffen vorkommen, z.B. Kondensatbildung auf äußeren Flächen.

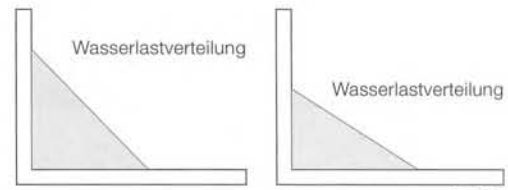
Aus- und Einbauchen von Isolierglasscheiben

Der SZR eines Isolierglases ist zur Außenluft hermetisch abgeschlossen. Der Luftdruck im SZR entspricht dem Luftdruck bei der Fertigung. Erhöht sich der äußere barometrische Luftdruck, deformieren sich die Scheiben nach innen, während sie sich bei Tiefdruck nach außen wölben (Abb. 2.1.35, S. 72). Dieser Effekt macht sich bei großen Scheiben und großen SZR stärker bemerkbar. Kleine Scheiben mit einer Kantenlänge bis etwa 70 cm sind sehr starr und krümmen sich weniger. Dafür steigt allerdings die Biegespannung im Glas an.

Das Ein- und Ausbauchen stört vor allem bei reflektierenden Gläsern, da es zu optischen Verzerrungen führt. Die Glasdicken sollten nicht ausschließlich nach statischen Erfordernissen ermittelt werden, vielmehr ist das gesamte physikalische Verhalten zu beachten. Werden die Scheibendicken allein nach der nicht linearen Methode bestimmt, wird die Elastizität ausgenutzt und größere Durchbiegungen der Scheiben in Kauf genommen. Neben den Scheibendicken haben auch die Abmessungen der Isoliergläser mit den sich ergebenden Verwerfungen einen großen Einfluss auf den ästhetischen Gesamteindruck in der Fassade. Quadratische Scheiben bauchen als Kugeloberfläche aus bzw. ein, so dass jede einzelne Scheibe für sich ein eigenes Reflexionsbild ergibt. Rechteckscheiben mit einem Seitenverhältnis >1:2 zeigen je nach ihrer Lage über die Fassade eine regelmäßige Verzerrung in vertikaler oder horizontaler Achse.

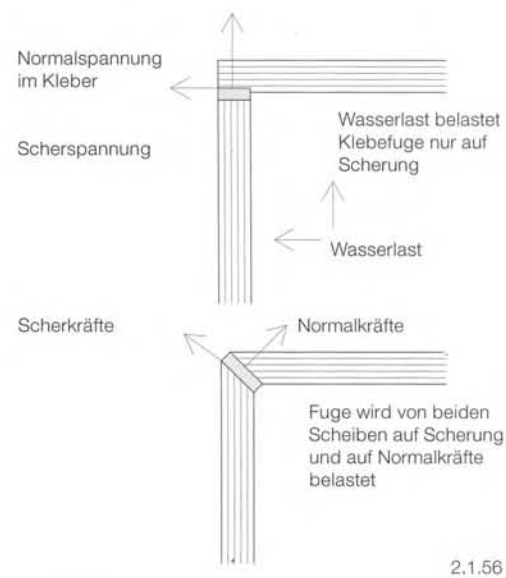
Interferenzen

Unter bestimmten Beleuchtungsverhältnissen weisen Isoliergläser gelegentlich leicht schillernde, bunte, kreisförmige bis elliptische Flächen auf. Diese Interferenzerscheinungen resultieren aus den Überlagerungen der direkt durchgehenden mit den reflektierenden Lichtstrahlen an den planparallelen Glasflächen. Der Effekt ist nicht auszuschließen und hängt sehr stark vom Winkel des einfallenden Lichtes sowie vom Beobachtungswinkel ab.

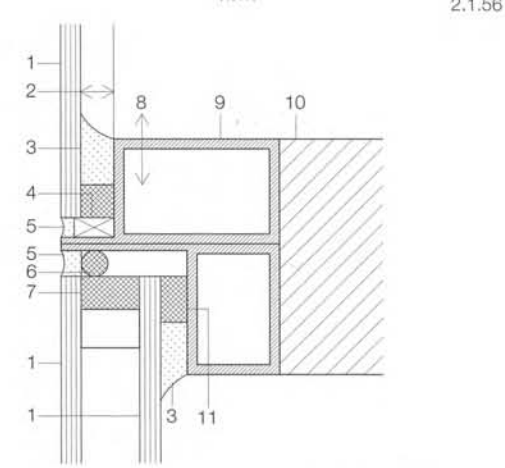


2.1.55

2.1.55 Wasserlastverteilung bei unterschiedlicher Wasserhöhe
2.1.56 Ausbildung einer Ecke bei Ganzglasaquarien
2.1.57 Glaskonstruktion mit Last abtragender Verklebung (Structural Sealant Glazing) Vertikalschnitt



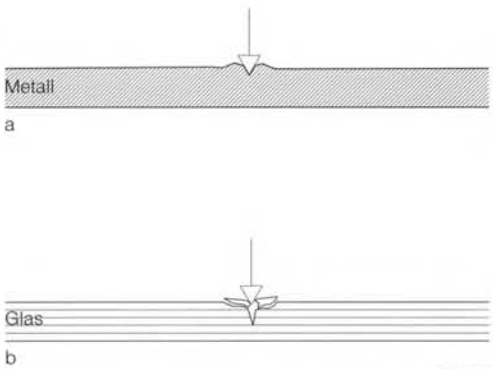
2.1.56



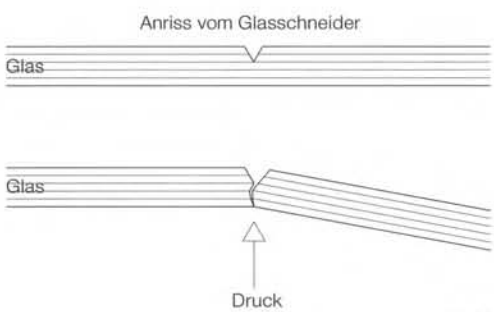
1 Glas
2 Glasfalzbreite
3 flächenbündige Verklebung
4 Tragklotz
5 Versiegelung
6 Hinterfüllmaterial
7 Randverbund
8 Glasfalzhöhe
9 Adapterrahmen
10 Bauwerk
11 Abstandhalter

2.1.57

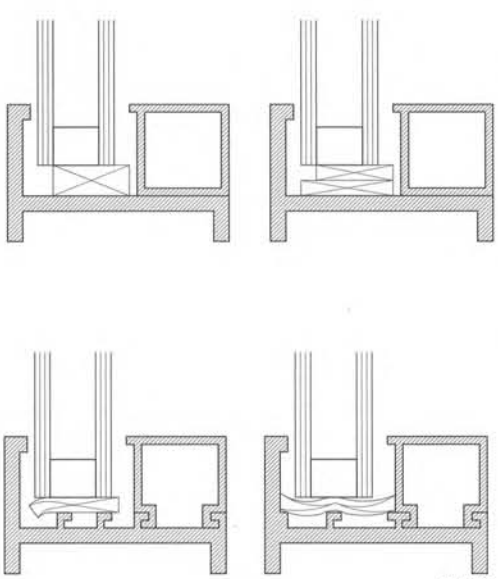
[2] Im Zuge der europäischen Norm wird als Grundlage zur Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall und einer Zustimmung durch die Europäische Zulassungsbehörde (EOTA) eine Norm prEN 13022 Teil 1–4 erarbeitet, die grundlegende Berechnungsmethoden und Anforderungen an Glas, die unterschiedlichen Glasarten und deren Verklebung definiert, ohne auf spezielle Konstruktionen einzugehen.



2.1.58



2.1.59



2.1.60

Kondensat auf den raumseitigen Scheiben

Wenn die Temperatur von Oberflächen niedriger ist als die Taupunkttemperatur der angrenzenden Luft, schlägt sich Tauwasser nieder. Das ist häufig dann der Fall, wenn feuchte warme Raumluft auf kalte Oberflächen von Außenwandbauteilen trifft. Die Oberflächentemperatur einer Scheibe hängt von dem Wert der Dämmung der Verglasung ab. Bei hoher Wärmedämmung ist die Äußere sehr kalt, die Innere sehr warm, sie nehmen die Temperaturen der Umgebung an.

Daneben sind weitere Bedingungen wie die Luftführung an der Scheibe und an deren Rändern entscheidend. Vorstehende Glasleisten, Nischen oder Vorhänge sowie die Art der Heizung können den Luftstrom örtlich unterbrechen und die Luftbewegung an der Scheibe verändern. Weichen diese Randbedingungen kurzfristig von den theoretischen Vorgaben ab, kann an der raumseitigen Scheibe einer Isolierglaseinheit kurzzeitig Kondensat entstehen, das allerdings verschwindet, wenn sich die Randbedingungen wieder anpassen.

Kondensat auf den äußeren Scheiben

Die hohe Wärmedämmung der Isoliergläser führt dazu, dass bei Temperaturdifferenzen zwischen der Innen- und der Außenluft auch große Unterschiede bei der Oberflächentemperatur an der äußeren und der inneren Scheibe auftreten. Aufgrund der Eigentemperatur findet zwischen einzelnen Körpern immer eine Wärmestrahlung statt. Bei klarem Himmel strahlt die äußere Scheibenoberfläche Energie ins Weltall, dessen Eigentemperatur sehr niedrig ist (ca. -273 °C). Somit kühlt sich die Scheibe weiterhin ab. Bei hohen Luftfeuchtigkeiten kann es dabei zum Unterschreiten der Taupunkttemperatur der äußeren Luft kommen. Auf der Oberfläche der Außenscheibe entsteht Kondensat – ein Zeichen für gute Wärmedämmung nach innen. Werden bei niedrigen Außentemperaturen die Fenster nach innen geöffnet, so tritt auf der Außenfläche der Isolierglaseinheit umgehend Kondensat auf, wenn der Wasseranteil der warmen Raumluft hoch ist und die äußere Scheibe kalt. Bei vielen anderen Baustoffen kann die Feuchtigkeit in das Material eindringen und wird nicht sichtbar, bei Glas entsteht das Kondensat auf der Oberfläche.

Benetzbarkeit

Bei feuchten Glasoberflächen, z.B. infolge von Niederschlag (äußere Glasflächen bei Isolierglas), Regen oder Reinigung, kann die Benetzbarkeit, d.h. Haftung von Tropfen oder Feuchtigkeitsfilm auf den Scheiben, über die Fläche unterschiedlich sein. Bei trockener Oberfläche sind diese Erscheinungen, z.B. als Folge von Rollenabdrücken aus der Montage, nicht erkennbar. Dies stellt keinen Mangel dar. Rückstände auf dem Glas z.B. von Reinigungsmitteln können den gleichen Effekt verursachen.

Verglasungshinweise

Eine Scheibe oder ein Glaselement ist grundsätzlich Bestandteil der Gesamtkonstruktion. Deshalb muss stets darauf geachtet werden, welche Kräfte auf das Glas einwirken. Das gilt besonders dann, wenn die Scheiben hinsichtlich ihrer Dicke und Art optimiert werden. Beispielsweise darf eine Scheibe bei deren Berechnung frei drehbare Ränder angesetzt wurden nicht eingespannt werden, denn dies führt gegenüber den Annahmen bei der Bemessung zu einer anderen Spannungsverteilung im Glas, die dann zum Bruch führen kann. Wichtig ist, dass alle Randbedingungen, die der Dimensionierung zugrunde gelegt wurden, über die gesamte Nutzungszeit eingehalten werden. Neben den statischen Belangen sind immer auch die Dichtigkeit der Gesamtkonstruktion und die Lebensdauer der Produkte zu berücksichtigen. Dichtstoffe wie z.B. Silikon allein können Planungs- und Ausführungsfehler nicht beheben, höchstens kurzfristig überdecken.

Schutzmaßnahmen für Glas

Glasscheiben müssen in der Bauphase vor Feuchtigkeit aus frischem Beton und Putz geschützt werden, da die Glasoberflächen zwar widerstandsfähig, dennoch nicht unverletzbar sind. Mit dem Angriff von basischen Lösungen auf die Oberfläche setzt eine Aufspaltung des Glasnetzwerkes (Molekülstruktur) ein. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Löslichkeit des Glases zu. Trocknen alkalische Lösungen durch Sonneneinstrahlung schnell auf der Glasscheibe ab und werden die Reaktionsprodukte nicht abgeführt, so wird durch nachdringende Feuchtigkeit immer mehr Glas zerstört. Die Folge sind sichtbare Verätzungen.

Dieser Effekt kann auch auftreten, wenn Glasstapel über einen längeren Zeitraum ungeschützt auf der Baustelle stehen. Dabei dringt Feuchtigkeit und auch Kondensation infolge Kapillarbildung tief zwischen die Scheiben ein und reagiert mit dem Glas. Die Reaktionsprodukte werden nicht abgeleitet und nachdringende Feuchtigkeit führt zunehmend zu Schäden. Glasscheiben sollten deshalb im Stapel nicht über einen längeren Zeitraum ohne Luftaustausch stehen.

Während der Nutzung treten im Laufe der Zeit an Verglasungen ebenfalls ähnliche Erscheinungen auf, wobei die Reaktionsprodukte durch Regen und durch Reinigen abgewaschen werden. Versetzte Fensteranordnung oder Abweisebleche über der Verglasung können bei Beton- oder Putzfassaden Abhilfe schaffen.

Transportgestelle sind selten für eine Dauerlagerung über Wochen oder Monate geeignet. Im Freien und unter Umständen auch im Innenbereich müssen deshalb die Scheiben vor Feuchtigkeitseinflüssen geschützt werden. Eine luftdichte Verpackung kann aber auch bei Temperaturschwankungen zu Kondensat führen, da die Feuchtigkeit nicht abgeführt werden

kann und so Schäden an den Scheiben entstehen. Transportgestelle oder Verpackungen sind meist nicht für eine längere Lagerung gerade im Außenbereich geeignet.

Verklotzung

Verglasungsklötze haben die Aufgabe, die Lage der Scheiben im Rahmen so zu fixieren, dass die Abtragung der Lasten, z.B. aus dem Eigengewicht, über die Ankerstellen oder Knoten der Festrahmen bzw. über die Aufhängepunkte der Flügel (Viergelenkrahmen) erfolgt (siehe DIN EN 14439). Berührungspunkte von Metall und Glas müssen dauerhaft ausgeschlossen werden. Die Glaskante darf im Falz nicht mit Schraubenköpfen oder anderen Konstruktionsteilen in Kontakt kommen. Die Höhe des tatsächlichen Falzgrundes muss definiert werden. Die Klötze müssen bei normalem Floatglas oder Isolierglas aus Floatgläsern mindestens 2 cm von der Ecke entfernt liegen und sollten mindestens 80–100 mm lang sein. Die Scheiben müssen in ihrer gesamten Breite auf den Klötzen aufstehen, dazu sollten die Klötze in der Praxis etwa 2 mm breiter sein als die Glaseinheit.

Grundsätzlich bieten sich imprägnierte Hartholzklötze oder Kunststoffklötze an. Die Alterungsbeständigkeit der Klötze für die Dauerdruckbelastung sowie die Verträglichkeit gegenüber den verwendeten Materialien muss nachgewiesen sein.

Schwere Einheiten (ab ca. 100 kg) sollten auf Klötzen aus Polyamid, Chloroprene, APTK/EPDM, PE (kein PVC) oder Silikon mit einer Shore-A-Härte von ca. 75° gestellt werden, um die Flächenpressung der einzelnen Scheiben an ihrer Kante, z.B. bei VSG-Einheiten auf harten Materialien, zu reduzieren. Dabei muss gewährleistet sein, dass sich Flügel und Rahmen bei Nutzung nicht verwinden oder verkanten und der Flügel gangbar ist. Dies gilt für Dreh- und Kippfenster ebenso wie für horizontal und vertikal verschiebbare Fenster. Darüber hinaus darf eine normal dimensionierte Scheibe im Rahmen keine Tragfunktion übernehmen, wenn sie nicht eigens dafür berechnet ist.

Die Klötze müssen zur Erfüllung ihrer Aufgabe unbedingt eine ebene Klotzauflage haben. Lässt dies die Profilierung im Glasfalz nicht zu, müssen geeignete Klotzbrücken verwendet werden, die den Dampfdruckausgleich nicht behindern dürfen (Abb. 2.1.60 und 2.1.61). Wird bei Glaskonstruktionen auf Klötze verzichtet, müssen andere Maßnahmen gewählt werden, die die Aufgabe der Klötze dauerhaft und nachweisbar erfüllen.

Glasauflager

Die Art der Glasrandauflager wird durch die Nutzung bestimmt. Bei senkrechtem Einbau in einen Rahmen können normale Vorlegebänder zwischen Glas und Rahmen als Vorlage zum Dichtstoff verwendet werden. Wird das Glas geklemmt, z.B. bei Punkthaltern, sind elastische Materialien erforderlich. In Schräglage müssen Auflager gewählt werden, die eine ausreichende Rückstellung bewirken, um die Dauerlast aus Glasgewicht und Schnee aufzunehmen. Sie müssen geschlossenporig sein, damit keine Feuchtigkeit eindringt, die zu Langzeitschäden führen kann.

Bei der Auswahl der Auflagersysteme ist gleichzeitig zu berücksichtigen, dass die gesamte Konstruktion dicht sein muss. Der Anpressdruck und das verwendete Material ist immer auf den jeweiligen Anwendungsfall abzustimmen. Es gilt auch hier, alle physikalischen Gegebenheiten in Betracht zu ziehen und nicht nur einzelne Teilgebiete.

Die Auflagebedingungen der einzelnen Glasarten müssen ebenso berücksichtigt werden wie die aus der Anwendung resultierenden Einschränkungen. Für Isoliergläser gilt z.B. die Begrenzung der Durchbiegung des Randverbundes bei Belastung von l/300 der Glaskante, damit bei größeren Durchbiegungen der Randverbund nicht zu stark auf Scherung belastet wird, was zu einer Undichtigkeit am Rand führen kann.

Die Grundlagen für die Anforderung in den einzelnen Anwendungsfällen werden ab S. 96ff. dargestellt und erläutert.

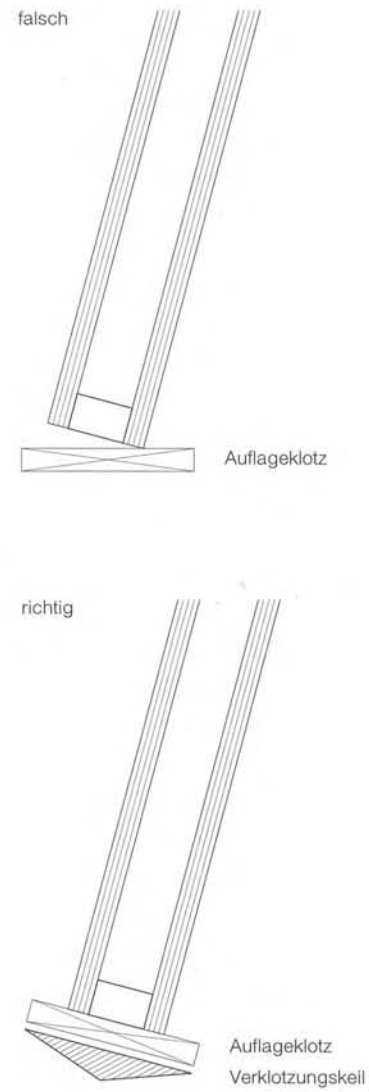
Dampfdruckausgleich, Drainage

Außer bei Floatglas als Einfachglas benötigen die Kanten der Verglasung grundsätzlich einen Falz mit Dampfdruckausgleich nach außen, also einen dichtstofffreien Falz. Dieser bewirkt, dass der Dampfdruck nicht zu hoch ansteigt und Kondensat entsteht oder von außen eingedrungene Feuchtigkeit abgeführt wird. Somit kann das Randverbundsystem, z.B. von Isolierglas, VSG, VG oder Drahtglas, chemisch angegriffen und beschädigt werden. Da eine 100-prozentige Dampfdichtung zum gesamten Falz mit seinen Stößen praktisch nicht möglich ist und da auch Leckwasser von außen eindringen kann, sind der Dampfdruckausgleich und die Drainage des Falzraums unbedingt erforderlich.

Bei allen Konstruktionen, besonders aber bei Schrägverglasungen, sollte darauf geachtet werden, dass die Dichtebene über der Wasser führenden Schicht liegt. Sind die Dichtungen lang anhaltendem Wasserdruck ausgesetzt, kann es zu Wassereinbrüchen kommen.

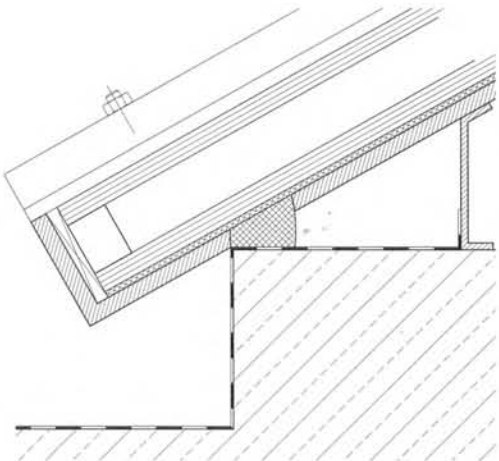
Stoßfugen

Die allgemeine Anforderung von Dampfdruckausgleich und Drainage (siehe oben) gilt ebenfalls für Stoßfugen in vertikaler oder horizontaler Lage sowie für rahmenlose Eckausbildung. So müssen Stoßfugen z.B. bei Isolierglas, VSG, Verbundglas und Drahtglas so ausgebildet werden, dass ein dauerhafter Dampfdruckausgleich gegeben ist, über den die Feuchtigkeit aus dem Falz oder Zwischenraum abgeführt werden kann. Bei einer vollen Ausfüllung des Falzes mit Dichtstoff sind Fehlstellen in der Praxis unvermeidbar, die dann als Wassersäcke wirken und den Rand zerstören (siehe »Fugen bei freien Kanten«, S. 172).

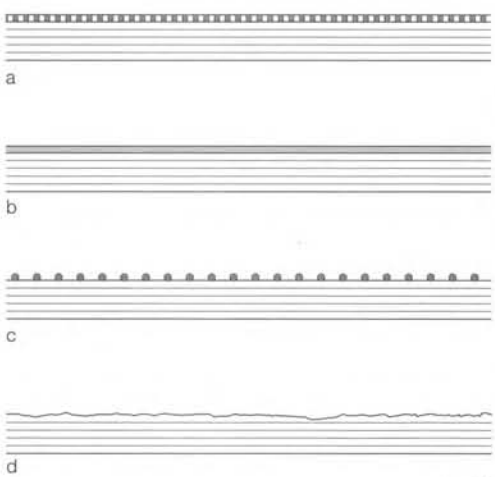


2.1.61

2.1.58 mechanische Eigenschaften von Metall und Glas
a bleibende Verformung im Metall bei punktförmiger Belastung
b aus dem Glas werden Splitter herausgeschlagen. Dies ist ein Zeichen seiner Sprödigkeit.
2.1.59 Glasschneiden
2.1.60 falsche Klotzlage
2.1.61 falsche und richtige Verklotzung



2.1.62



2.1.63

2.1.62 Traufpunkt falsch
(Isolierglaseinheit liegt sowohl im kalten als auch im warmen Bereich)

2.1.63 Reaktionen bei alkalischem Angriff auf Glas
- a alkalische Lösung: Wasserfilm auf der Glasoberfläche
- b Alkali als Reaktionsprodukt in der Lösung: Alkali diffundiert aus der Glasoberfläche ins Wasser (Auslaugung)
- c Alkali als Reaktionsprodukt in der Lösung: Alkali-Reaktionspartikel auf der Glasoberfläche nach dem Abtrocknen
- d Prinzipskizze der an Alkali verarmten Glasoberfläche (Verätzung)

Traufpunktausbildung bei Schrägverglasungen
Der Kantenbereich eines Isolierglases soll zur Vermeidung von Kondensat und thermischen Spannungen mit Bruchfolge im Raum liegen und von der Raumluft umflossen werden (Abb. 2.1.62). Eventuell kann die äußere Scheibe der Isolierglaseinheit über den eigentlichen Randverbundbereich hinausragen. Der Überstand sollte nicht größer als 20 cm sein und die auskragende Scheibe aus ESG. Der Randverbund muss dann vor Sonnenstrahlung, besonders vor UV-Licht, geschützt werden oder es muss ein Randverbundsystem verwendet werden, das für Structural-Sealant-Glazing-Anwendungen geeignet ist.

Kleben im Glasbau

Die Klebetechnik ist ein Verfahren zur Verbindung von Glas mit seiner Unterkonstruktion oder von Gläsern untereinander. Der vor Jahrzehnten eingesetzte Glaszement bezeichnet den Anfang dieser Technik, gefolgt vom Randverbund beim Isolierglas. Der Unterschied beider Verfahren ist, dass der Glaszement eine kraftschlüssige – also unelastische – Verbindung darstellt, der Randverbund des Isolierglases hingegen eine elastische. Dieser Unterschied ist bei der Verbindetechnik mit Glas auch heute noch von Bedeutung.
UV-Verklebungen, wie sie bei kleinen Glasmöbeln und Tischen verwendet werden, sind starre Verbindungen. Auch Verbund- und Verbundsicherheitsgläser sind Verklebungsprodukte im Glasbau, hier erfolgt die Verklebung flächig.

Verklebungen können Zug- und Druckkräfte gut aufnehmen, weniger gut dagegen Scherkräfte. Dies ist eine Eigenschaft, die immer beachtet werden sollte. So muss das Glasgewicht nach wie vor mechanisch abgetragen werden – es sei denn, die Verklebung wird entsprechend breit ausgeführt, was jedoch wieder gegen die Ästhetik spricht. Starre Verklebungen benötigen steifere Gläser, da die Klebestelle keine Bewegung ausführen kann, elastische Verklebungen können dagegen Verformungen aufnehmen. Glasverklebung und die mit dem Glas zu verbindenden Materialien müssen auf die Anwendung direkt abgestimmt werden. Last abtragende Verklebungen müssen sauber unter besonderen zu definierenden Bedingungen im Werk erfolgen.

Zu unterscheiden sind Verklebungsmaterialien und Dichtstoffe. Beides sind zwei völlig unterschiedliche Materialien. Nur weil Dichtstoff auch klebt, ist er noch längst kein Kleber im Sinne von Glasverbindung.

Der Begriff Structural Sealant Glazing (SSG) bezeichnet eine Verklebetechnik, bei der die Glaseinheit mit einem Adapterrahmen verklebt wird. Der Rahmen wird danach mit der Konstruktion mechanisch verbunden. Die Verklebung muss wegen der sehr hohen Anforderungen an Sauberkeit und Verarbeitung im Werk unter festgelegten Bedingungen erfolgen. Entscheidend ist, dass eine Klebefuge, die Lasten überträgt, bei ihrer Aushärtung belastungsfrei bleibt. Die Beschaffenheit der zu verbindenden Oberflächen und die Eigenschaften des Klebers haben zu gleichen Teilen Einfluss auf die Qualität der Verklebung. Der beste Kleber ist nutzlos, wenn die Oberfläche nicht sauber und auf ihn abgestimmt ist. Auch der Einfluss der verwendeten Reinigungsmittel sowie die Reinigungstechnik selbst sind nicht zu unterschätzen und müssen in die Planung mit einfließen.

Die Entwicklung verläuft heute häufig auch aus optischen Gründen dahingehend, mechanische Halterungen wie Beschläge durch Verklebungen zu ersetzen.

Im Fensterbau werden teilweise Isolierglaseinheiten in den Rahmen eingeklebt. Die Rahmenoberflächen müssen hierbei besonders beachtet werden. Bei Holz sind beispielsweise viele Einzelfaktoren wie die Lage und Art der Faserung, die Feuchtigkeitsaufnahme usw. zu berücksichtigen. Ähnlich spezielle Anforderungen gelten für Kunststoffe und Metall. Das Isolierglas muss in der Art des Randverbundes und der Glasarten auf das System abgestimmt sein. Es kann nicht das gleiche Isolierglas, das mit Glasleisten eingebaut wird auch verklebt werden. Glas und Rahmen stellt ein in sich geschlossenes System dar. Alles muss aufeinander abgestimmt werden. Es gibt dabei keine Standardglaseinheit mehr.

Allen Klebesystemen gemein ist, dass der Randverbund der Isolierglaseinheit oder der Rand der Verbundglas- oder Verbundsicherheitsglaseinheit frei von zerstörenden Einflüssen wie Dauerfeuchtigkeit und z.B. Weichmachern aus Dichtstoffen oder anderen verwendeten Materialien sein muss. Während sich beim Isolierglas durch Dauerfeuchtigkeit im Falz nur Kondensat bildet und die Durchsicht nicht mehr möglich ist, besteht beim Versagen einer Last abtragenden Klebefuge eine weitaus größere Gefahr hinsichtlich eines möglichen Versagens der gesamten Konstruktion.

Die Entwicklungen solcher Verglasungssysteme sind fast immer objektbezogen. Verklebungen sind alternative Lösungen zu mechanischen Verbindungen, bedeuten aber immer einen hohen Aufwand an Planung, Ausführung und Wartung.

Reinigung und Wartung

Glasscheiben sind an ihren Oberflächen mikroskopisch gesehen rau. Schmutz und Feuchtigkeit, die sich festsetzen, müssen regelmäßig entfernt werden. Schräg liegende Scheiben bedürfen einer häufigeren Reinigung als vertikal eingebaute. Die Reinigung der Scheiben muss mit viel Wasser erfolgen, damit Schmutz und Staub nicht trocken über die Oberfläche geführt werden und diese verkratzen und beschädigen. Ein Eischlämmen der Scheiben ist erforderlich, damit sich die Schmutzpartikel lösen. Eine breite scharfe Klinge darf nur sehr begrenzt eingesetzt werden, um örtlich festsitzende Verunreinigungen von der Oberfläche zu entfernen. Ein großflächiges Abklingen ist unbedingt zu vermeiden, denn das kann dazu führen, dass überstehende Glaspartikel aus der mikroskopisch rauen Oberfläche herausgerissen und mitgeführt werden. Beim Zurückfahren der Klinge werden diese spitzen und harten Partikel dann auf der Scheibenoberfläche verrieben und hinterlassen dünne, parallel laufende, nicht sehr tiefe Haarkratzer, die bei direktem Licht auf der Scheibe sichtbar werden. Je nach Grad der Beschädigungen kann sogar die Durchsicht beeinträchtigt werden. Beim Reinigen der Scheiben ist darauf zu achten, dass das dafür z.B. verwendete nasse Fell nicht trockene Staub- und Sandkörner vor sich herführt und damit Verkratzungen verursacht. Ein vorheriges Einschlämmen ist deshalb unumgänglich.
Die erste Reinigung auf der Baustelle sollte mit besonderer Vorsicht erfolgen, damit nicht festsitzende Putz- oder Betonspritzer zu Verkratzungen führen.
Im Schadensfall wird der Einfluss der Verkratzungen in einem Abstand von ca. 1 m bewertet, wobei immer die Durchsicht von innen nach außen bei diffusem Licht gilt. Direkte Beleuchtung und Punktstrahler können auf Scheiben weitere optische Fehler und Beeinträchtigungen sichtbar machen, die die eigentlichen Bewertung der Verkratzungen nicht mehr zulassen. Gleiches gilt für Innenverglasungen.
Bei der Reinigung der Rahmen werden häufig aggressive Reinigungsmittel verwendet. Gelangen diese auf die Scheibe und trocknen ein, kann sie ein späterer Regen wieder aktivieren und die Glasoberfläche angegriffen werden. Horizontale Verglasungen verschmutzen stärker als geneigte oder vertikale. Stehendes Wasser kann hier zu Auslaugungen führen (Abb. 2.1.63). Bei der Planung von horizontalen Konstruktionen sollte dieser chemisch-physikalischen Effekt unbedingt berücksichtigt werden. Die verwendeten Reinigungsmittel dürfen auch nicht die Versiegelungsfugen beschädigen.

Selbstreinigung von Glas

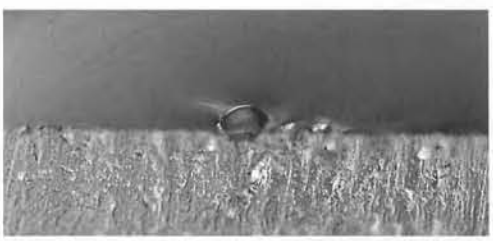
Bei der Selbstreinigung von Gläsern wird unterschieden zwischen der hydrophoben Eigenschaft, bei der das Wasser abperlt und der hydrophilen, bei der das Wasser als Film abfließt und die Verschmutzung mitnimmt. Der Lotuseffekt – d.h. geringe Benetzbarkeit einer Oberfläche – beruht auf einer mikroskopisch kleinen und geeigneten Struktur der Oberfläche, wodurch diese superhydrophob wird.
Die heute auf Gläsern verwendeten Schichten, die den Selbstreinigungseffekt erhöhen, nutzen den hydrophilen Effekt. Die Aufbringung der fotokatalytischen Schichten erfolgt in der Regel durch Pyrolyse während der Glasherstellung. Titandioxyd (TiO_2) wird in Kristallstruktur des Anatas aufgebracht und hat die Eigenschaft unter UV-Bestrahlung organische Stoffe zu zersetzen, sie werden abgebaut.
Als Film von der Glasoberfläche ablaufendes Wasser nimmt mit dem hydrophilen Effekt auch den vorhandenen Schmutz mit. Dies entspricht der normalen Glasreinigung, wobei mit viel Wasser der Schmutz vom Glas gelöst werden kann.
Auf Oberflächen, die mit hydrophoben Schichten behandelt werden, reduziert sich die Haftung von Schmutz. Das auftreffende Regenwasser läuft nicht als Film, sondern als Perlen oder Streifen ab. Es verbleiben jedoch Konzentrate von Schmutz an verschiedenen Stellen auf der Glasoberfläche. Dabei ist die Schichtdicke des aufgebrachten Materials entscheidend.
Bei der Verarbeitung und Montage der Gläser mit zusätzlichem Selbstreinigungseffekt ist es unbedingt erforderlich, die Montagehinweise zu befolgen und besonders darauf zu achten, dass die verwendeten Dichtstoffe für diese Schichten vom Hersteller der Gläser zugelassen sind. Gegebenenfalls sollte der Hersteller hierzu gefragt werden.
Die Praxis hat gezeigt, dass Glasoberflächen zunehmend ohne Wasser, dafür aber mit chemischen Hilfsmitteln bearbeitet werden. Diese können Fette und sonstige Rückstände zwar lösen, aber nicht vollständig von der Oberfläche entfernen. Statt dessen werden sie im gelösten Zustand verteilt und führen zu einer sehr dünnen Filmbildung, die sich bei bestimmten Beleuchtungsverhältnissen als bläulicher Belag zeigt.
Auch Mikrofasertücher sollen ohne Wassereinsatz kleine Partikel wie Sand und Staub aufnehmen können und somit von der Oberfläche entfernen. Dabei werden diese beim Reinigungsvorgang jedoch über die Glasoberfläche gezogen und führen so zu Verkratzungen. Abhilfe schaffen nur Reinigungsmaßnahmen, die den Schmutz mit ausreichend Wasser von der Oberfläche wegspülen. Geeignete Tücher sind ebenfalls erhältlich. Bei großflächigen Verglasungen sollte die Reinigung – analog zu Teppich- und Parkettreinigung – Teil der Bauplanung sein. Nur so kann der hochwertige Baustoff Glas geschützt werden. Gegebenenfalls muss während der Bauphase zu einer Zeit, in der noch viel Wasser verwendet werden kann, eine Zwischenreinigung erfolgen, die den groben Schmutz entfernt. Wenn die Oberflächen erst später behandelt werden und ist dann ein Wassereinsatz nicht mehr möglich, sind Verkratzungen und Beschädigung der Glasoberfläche unvermeidbar.

Einfluss auf Funktionsdaten

Alle Funktionsdaten werden entsprechend der festgelegten Aufbauten nach den in den Normen angegebenen Abmessungen und unter den definierten Randbedingungen ermittelt. Diese Werte werden bei den Produktdarstellungen zugrunde gelegt und sind so bei Berechnungen und Messungen mit den Daten anderer Baustoffe vergleichbar.
In der Praxis weichen die Randbedingungen und Abmessungen von den normierten ab. Das führt zu leichten Veränderungen gegenüber den theoretischen Werten. Bei Isolierglas kommt beispielsweise die Pumpbewegung des SZR hinzu, die ebenfalls einen wenn auch nur kurzfristigen Einfluss auf die Funktionsdaten hat. Diese allgemeinen Feststellungen gelten nicht nur für Glas, sondern auch für andere Baustoffe. Bei Glas können sich diese Einflüsse unter Umständen stärker bemerkbar machen als bei anderen weniger komplexen und vielfältigen Materialien.
Vor Übergenauigkeit bei Rechnungen muss gewarnt werden. Viele Parameter helfen die unterschiedlichen Einflussgrößen gesamtheitlich zu betrachten und Fallstudien durchzuführen. Dennoch kann die Praxis von diesen Ergebnissen abweichen, was sich allerdings oft erst später zeigt.
Beispielhaft hierfür sind die auf Seite 172f. aufgeführten Details für rahmenlose Stöße und Ecken. Allein durch die geometrische Anordnung von rahmenlosen Glasstößen und Glasecken ergeben sich wesentliche Unterschiede gegenüber den idealen Randbedingungen (z.B. der Luftbewegung), die Einfluss auf die raumseitige Temperatur ausüben. Das Material Glas bzw. Isolierglas an sich hat sich dabei nicht verändert.

Konstruieren mit Glas – Festigkeit und Tragverhalten

Werner Sobek mit Mathias Kutterer, Steffen Feirabend und Wolfgang Sundermann



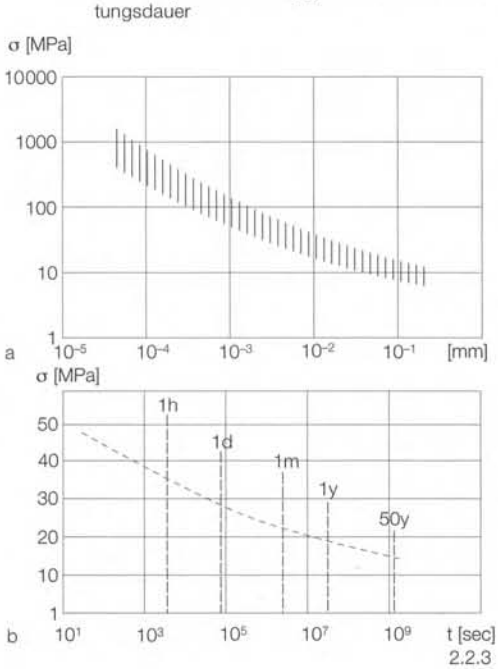
2.2.1

2.2.2

2.2.1 Blick auf den Bruchursprung (Mikroanriss und Bruchspiegel) an einer polierten Glaskante, 20fach vergrößert

2.2.2 Griffith-Risse an der Oberfläche von Glas
Solche Risse, die durch Bedampfen mit Natrium nachgewiesen werden, können beispielsweise durch Abrieb an der Oberfläche entstehen.

2.2.3 Abminderung der Glasfestigkeit
a Glasfestigkeit in Abhängigkeit von der Risstiefe
b Glasfestigkeit in Abhängigkeit von der Belastungsdauer



2.2.3

Bauen mit Glas

Konstruieren mit Glas

Zahlreiche technische Entwicklungen in den vergangenen Jahren haben es ermöglicht, Gebäudehülle und Bauteile durch den Einsatz von Glas immer stärker zu entmaterialisieren. Durch wesentlich verbesserte mechanische und bauphysikalische Eigenschaften kann dieser Werkstoff in den unterschiedlichsten Bereichen und mit einer Vielzahl von Funktionen eingesetzt werden. Besonders hervorzuheben ist hierbei die Verwendung von Glas als konstruktiver Werkstoff.

Konstruieren mit Glas verlangt eine genaue Kenntnis der mechanischen Eigenschaften dieses hochfesten, aber sprödbrechenden Materials. Da der Werkstoff sich nahezu vollkommen elastisch verhält und über keinerlei Plastifizierungsreserven verfügt, wird die Beanspruchbarkeit von Glas durch diejenigen lokalen Spannungsspitzen bestimmt, die an Kerben, Kantenausbrüchen oder am Rissgrund von Kratzern entstehen. Von einer Festigkeit des Glases als Werkstoffkenngröße an sich kann man also nur bedingt sprechen. Vielmehr ist die ausnutzbare Festigkeit, die Beanspruchbarkeit als eine vom Grad der Vorschädigung und damit natürlich auch von der Bauteilgröße abhängige statistische Größe aufzufassen. Diese Erkenntnis erforderte die Entwicklung bis dahin im Bauwesen nicht vorhandener Methoden für die Bemessung von Bauteilen aus Glas, andererseits aber auch die Erarbeitung und Befolgung einer ganzen Reihe von Konstruktionsprinzipien.

Umhüllende oder tragende Funktion?

Glas wird im Bauwesen wie auch in anderen Gebieten, z.B. dem Fahrzeugbau oder dem Behälter- und Apparatebau, am häufigsten als durchsichtiges (transparentes) oder lediglich lichtdurchlässiges (transluzentes) Element eingesetzt, das einen klimatisch, akustisch oder andersartig definierten Innenraum von einem Außenraum trennt. Die Verglasung erfüllt hierbei die Funktion eines Filters zwischen den beiden Volumina, der bestimmte physikalische Ströme passieren lässt oder entsprechend zurückhält bzw. reflektiert. Die Verglasung der Außenwand eines Gebäudes schützt vor Feuchtigkeit und reduziert sowohl Wärmeströme als auch die Schalltransmission, transmittiert jedoch gleichzeitig Licht im sichtbaren Bereich.

Bis vor wenigen Jahren wurde Glas hauptsächlich für statisch untergeordnete, so genannte tertiäre Elemente eines Tragwerks eingesetzt. Die Gründe hierfür lagen einerseits darin, dass man den Werkstoff Glas im Bauwesen von Seiten der Ingenieure über Jahre hin nahezu vollkommen außer Acht gelassen hatte und man demzufolge über keine hinreichenden Kenntnisse zum Werkstoffverhalten und die darauf abzustimmenden sicherheitstechnischen Behandlungen verfügte, um Glas als primäres oder sekundäres Bauteil einzusetzen. Glas galt als zu zerbrechlich, um tragende Funktionen übernehmen zu können. Erst die zunehmende Verwendung von immer größer werdenden Glastafeln verbunden mit einer steten Ausweitung der Anwendungsbereiche bis hin zu begehbaren Gläsern führte zu einer sorgfältigen Erforschung von Glas als tragendem Baustoff. Gleichzeitig galt es zu analysieren, welche mögliche Art der Verwendung als Tragwerk oder Teil eines Tragwerks das Glas aufgrund seines baustoffspezifischen Tragverhaltens zulässt. Dieser Prozess ist mittlerweile zwar weit gediehen, doch trotz großer Fortschritte in Theorie und Praxis sind noch längst nicht alle Zusammenhänge hinreichend erforscht.

Werkstoff

Gefüge und Bruchverhalten

Glas entsteht durch das Erhitzen eines Gemenges aus Siliziumoxid, Alkali- und Erdalkalioxiden auf eine Temperatur von mehr als 1100 °C. Die Schmelze hat die Besonderheit amorph – also im Wesentlichen ohne Kristallbildung – zu erstarren. Aufgrund dieser amorphen Struktur besitzt Glas keinen festen Schmelzpunkt. Es ist bei hohen Temperaturen dünnflüssig und wird umso zähflüssiger, je tiefer die Temperatur fällt. Der Strukturzustand von Glas ist in etwa dem Zustand von Flüssigkeiten und Schmelzen vergleichbar, die wie Glas keine richtungsabhän-

gigen Eigenschaften besitzen. Glas wird daher oft als unterkühlte Schmelze bezeichnet. Die Transformationstemperatur – d.h. der Übergangsbereich zwischen Schmelze und Feststoff – liegt bei vielen Glasarten bei ca. 600 °C. Glas mit ungestörtem Gefüge und perfekt glatter Oberfläche besitzt aufgrund seiner großen atomaren Bindungskräfte eine sehr hohe mechanische Festigkeit.

Durch Gefügestörungen im Bauteilinneren und durch Anrisse oder Kratzer an der Oberfläche entstehen bei einer mechanischen Beanspruchung des Bauteiles Kerbeffekte (Abb. 2.2.1) mit extrem hohen Spannungsspitzen. Im Gegensatz zu vielen anderen Werkstoffen können diese Spannungsspitzen bei Glas nicht durch plastische Verformung abgebaut werden. Da sich Anrisse auf einer Glasoberfläche am Rand oder im Bereich von Bohrungen faktisch niemals vermeiden lassen, sind nur Bruchteile der eigentlichen Materialfestigkeit in einem Bauteil ausnutzbar (Abb. 2.2.2).

Am Grund einer Kerbe oder eines Ausbruches beginnt bei Überschreitung einer so genannten kritischen (Zug-)Spannung ein Wachstum des Risses. Dieses Wachstum erfolgt unter Umständen nur in kleinen Schritten und kommt dabei immer wieder zum Stillstand. In der Bruchmechanik bezeichnet man dieses langsame oder stabile Risswachstum als subkritisch. Das subkritische Risswachstum wird vor allem durch die Belastungsdauer bestimmt. Unter Kurzzeitbelastungen werden dabei höhere Beanspruchbarkeiten als unter Dauerbelastungen erreicht. Das subkritische Risswachstum wird von chemischen Vorgängen am Rissgrund beeinflusst, z.B. wirkt eine hohe Umgebungsfeuchte Riss beschleunigend, andererseits sind aber auch Riss heilende Effekte bekannt. Oberhalb der kritischen Risswachstumsgeschwindigkeit breitet sich ein Riss instabil, d.h. mit schnell ansteigender Geschwindigkeit aus. Es kommt dann zum schlagartigen Versagen des Glasbauteils.

Das subkritische Risswachstum nimmt bei lang anhaltender, mechanischer Beanspruchung sowie infolge chemischer Vorgänge im Bereich des Rissgrundes zu. Dies ist ein Grund für die starke Abminderung der tatsächlichen Beanspruchbarkeit eines jahrelang im Einsatz befindlichen Bauteils gegenüber den im Kurzzeitversuch ermittelten Werten (Abb. 2.2.3).

Oberflächenstruktur

Infolge der im Bauwesen vorkommenden vielfältigen Beanspruchungen muss während der langen Einsatzdauer eines Glasbauteils mit vielerlei mechanischen Beschädigungen, z.B. durch Kratzer, Reinigungsspuren und Windschliff, gerechnet werden (Abb. 2.2.4). Auch durch mechanische oder chemische Behandlungen wie Schneiden, Schleifen, Sandstrahlen, Ätzen, Beschichten oder Bedrucken wird die Oberflächenstruktur und damit die Festigkeit beeinflusst. Insbesondere an Kanten und Bohrungswandungen werden stärkere Vorschädigungen erzeugt, die auch durch nachträgliches Polieren nicht zu beseitigen sind, da die für das Versagen maßgebenden tiefen Risse, von denen der Bruch der Scheibe ausgeht, durch die Politur nicht vollständig erfasst werden.

Durch eine aufgebrachte Druckvorspannung, die im Einzelnen im Kapitel »Vorspannung« erläutert wird (siehe S. 92), können Risse an der Glasoberfläche überdrückt werden. Erst unter äußeren Belastungen werden die günstig wirkenden Druckvorspannungen durch Zug- bzw. Biegezugspannungen vermindert. Somit wird das Risswachstum begrenzt und die ausnutzbare Glasfestigkeit gesteigert. Diese aufgebrachte Druckspannung an der Glasoberfläche kann durch äußere Vorspannkräfte oder durch thermische oder chemische Vorspannung der Gläser erfolgen.

Das im Bauwesen am häufigsten verwendete Basisglasprodukt – Floatglas aus Kalk-Natron-Glas – besitzt aufgrund seines Herstellungsverfahrens planparallele und verzerrungsfreie Oberflächen. Floatglas wird laut DIN 1249-3 als Spiegelglas bezeichnet. Beim Floatglasverfahren läuft das flüssige Glas kontinuierlich über ein Zinnbad. Dabei entstehen sowohl auf der dem Zinnbad als auch auf der der Luft zugewandten Seite Glasoberflächen von hoher Güte.

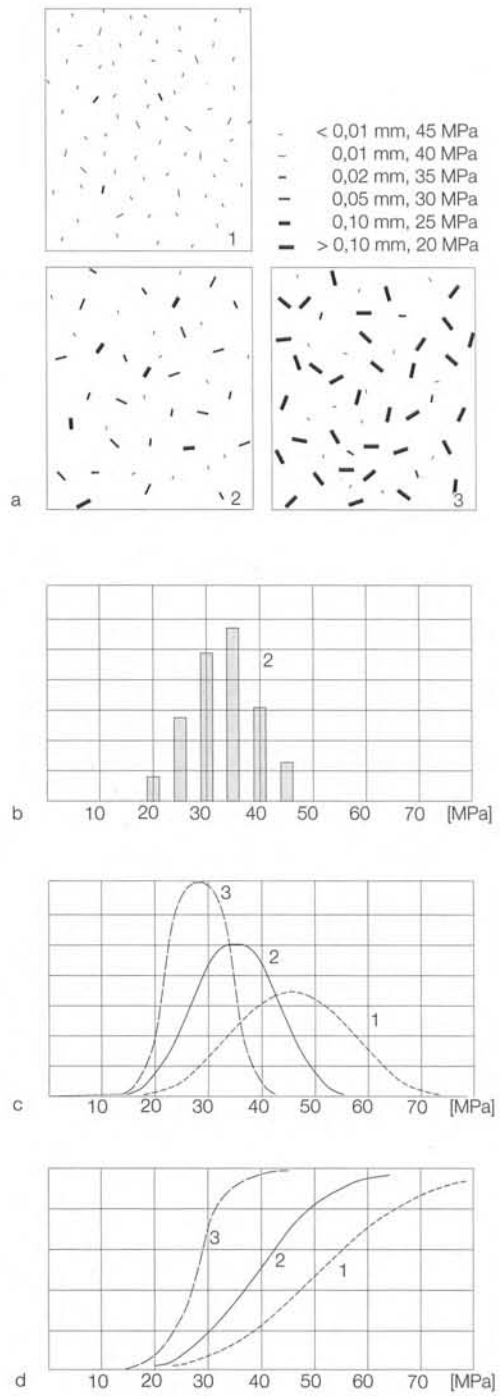
Beim späteren Herstellungsprozess von Verbundsicherheitsglas (VSG) muss gegebenenfalls auf die zu verwendende Glasoberflächenseite (d.h. Zinn- bzw. Luftseite) geachtet werden. So wird bei der Verwendung von SentryGlas Plus Interlayer stets die Zinnseite mit der Zwischenschicht laminiert, wohingegen die wärmedämmende oder strahlungsreflektierende Beschichtung bei Floatglas auf der Luftseite erfolgt, um farbliche Unregelmäßigkeiten bei den beschichteten Glasscheiben zu vermeiden. Das bei UV-Licht leicht milchige Erscheinungsbild der Zinnseite gilt als Indikator für die unterschiedlichen Oberflächen.

Wird Floatglas thermisch vorgespannt, so tritt eine geringe Oberflächenwelligkeit des Glases auf: Das aus dem Ofen kommende Glas wird beim Vorspannprozess schnell abgekühlt und dabei auf Rollen und Walzen transportiert, was zur Bildung von leichten Oberflächenwellen führt. Zusätzlich verursachen die starken Gebläse mit kalter Luft zur Abkühlung Verdichtungen, die sich bei bestimmten Lichtverhältnissen als dunkle Flecken auf der Scheibe zeigen können.

Festigkeit

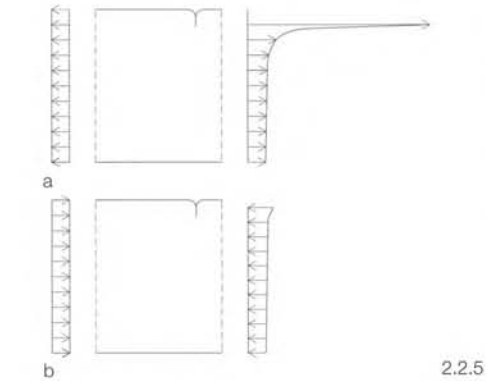
Wie bereits erläutert, ist die ausnutzbare Festigkeit eines Bauteils aus Glas kein reiner Materialkennwert, sondern eine vom Grad der Schädigung der Glasoberfläche (einschließlich Kanten und Bohrungen) abhängige Größe. Die Wahrscheinlichkeit mit der unter einer mechanischen Beanspruchung die örtliche Spannung auf eine kritische Vorschädigung (Risstiefe) trifft, kann nur durch die Anwendung statistischer Methoden bei der Bemessung erfasst werden.

Ein entsprechendes Bemessungsverfahren,

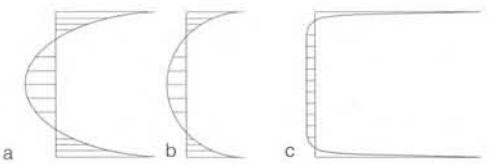


2.2.4

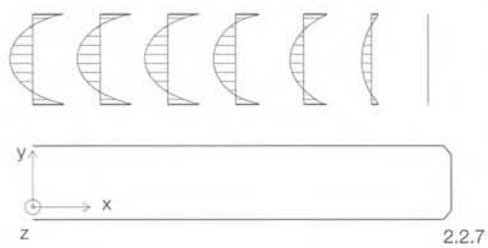
2.2.4 statistische Verteilung der Glasfestigkeit aufgrund von Oberflächenschäden
- a Verteilung der Oberflächenschäden bei
  - 1 neuem Glas
  - 2 gealtertem Glas
  - 3 vorgeschädigtem Glas
- b Häufigkeitsverteilung der im Bruchversuch ermittelten Festigkeiten von gealtertem Glas
- c Vergleich der Häufigkeitsverteilung der im Bruchversuch ermittelten Festigkeiten
- d Summenhäufigkeit (Integral der Verteilung)



2.2.5



2.2.6



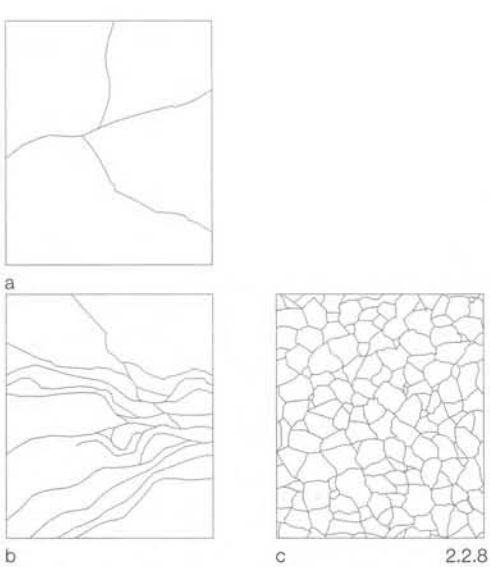
2.2.7

2.2.5 Spannungsverteilung an einer Glasscheibe mit Ausbruchkrater und Anriss bei
- a Zugbelastung
- b Druckbelastung

2.2.6 Spannungsverteilung bei vorgespanntem Glas
- a ESG
- b TVG
- c chemische Vorspannung

2.2.7 radiale Spannungsverteilung (in x-Richtung) an der Kante bzw. am Bohrungsrand

2.2.8 Bruchbild (unmaßstäblich) von
- a Normalglas
- b teilvorgespanntem Glas TVG
- c vorgespanntem Glas ESG



2.2.8

basierend auf der Bruchwahrscheinlichkeit, besteht für viele baupraktisch relevante Fälle. Der Größe und Verteilung der Mikrorisse kommt eine zentrale Bedeutung zu. Dies wird auch bei der Auswertung von Bruchversuchen deutlich. Bereits bei fabrikneuen Gläsern sind die Festigkeiten weit gestreut, im Mittel aber relativ hoch. Bis zum Einbau und während der gesamten Standzeit des Bauwerks werden von den Scheiben Oberflächenschäden angesammelt, so dass die Wahrscheinlichkeit eines kritischen Anrisses immer größer wird. Vorgeschädigte Gläser haben deshalb im Vergleich zu fabrikneuen Gläsern eine geringere mittlere Festigkeit, aber auch wesentlich kleinere Streubreiten der Festigkeiten. Derselbe Zusammenhang gilt für die Größe der betrachteten (Prüf-)Flächen: Bei der experimentellen Bestimmung der Glasfestigkeit werden zwar häufig fabrikneue Scheiben verwendet, für die Zuverlässigkeit der Festigkeitsprognose ist es jedoch wesentlich günstiger, bereits vorgeschädigte Scheiben zu untersuchen. Wenn die Vorschädigung wirklichkeitsnah ist, also der größten zu erwartenden Oberflächenverletzung entspricht, erhält man im Versuch sehr realistische Festigkeitswerte. Der gefundene Mittelwert liegt dann niedrig und streut nur noch wenig (Abb. 2.2.4). Die Festigkeitsminderung eines Glasbauteils infolge einer im Lauf der Zeit zunehmenden Beschädigung der Oberfläche ist von der zuvor beschriebenen, auf ein subkritisches Risswachstum unter Dauerlast zurückzuführenden Festigkeitsminderung deutlich zu unterscheiden.

Vorspannung

Anrisse und Kerben führen natürlich nur bei einer Zugbeanspruchung der Glasoberfläche zu den soeben beschriebenen Rissausbreitungsmechanismen. Ausschließlich druckbeanspruchte Scheiben sind demnach wesentlich weniger kritisch zu betrachten (Abb. 2.2.5). Sobald eine Zugbeanspruchung an der Glasoberfläche auftritt, lässt sich die nutzbare Festigkeit oder Beanspruchbarkeit des Glasbauteils nur durch eine zuvor aufgebrachte Druckvorspannung dieser Glasoberflächen erhöhen. Diese Druckvorspannung bewirkt ein Überdrücken der Oberflächenanrisse und -schädigungen. Die Rissufer bleiben geschlossen. Zugbeanspruchungen des Bauteils oder der Bauteiloberfläche führen bei einer auf Druck vorgespannten Scheibe also zunächst zu einem Abbau der Druckvorspannung. Erst wenn die Druckvorspannung auf der Zugseite abgebaut ist, entsteht eine Zugspannung im Glas. Die ausnutzbare (Zug-)Festigkeit des Glasbauteils wird also genau um den Betrag der Oberflächendruckvorspannung erhöht.
Bei einer so genannten mechanischen Vorspannung wird dabei der gesamte Glasquerschnitt überdrückt, was beispielsweise durch ein Zusammendrücken der Scheibe mittels Ballast (Eigengewicht) oder durch Federmechanismen bewirkt werden kann. Bei einer thermischen oder einer chemischen Vorspannung wird auf den Scheibenoberflächen eine Druckspannung, im Kern der Scheibe eine Zugvorspannung erzeugt. Die induzierten Druck- und Zugkräfte stehen dabei im ausgeglichenen Verhältnis (Abb. 2.2.6 und 2.2.7).
Bei thermisch vorgespannten Scheiben werden die auf ihre endgültige Geometrie zugeschnittenen und gegebenenfalls gebohrten Scheiben zunächst auf ca. 620 °C erhitzt und danach durch Abblasen mit kalter Luft abgeschreckt. Die Oberflächen des Glases erhärten dabei sofort, während der Kern der Scheibe noch heiß bleibt. Im Verlauf des nachfolgenden Abkühlens des Kerns tendiert dieser dazu, sich – wie nahezu alle Baustoffe beim Abkühlen – zusammenzuziehen, was jedoch durch die bereits erstarrten Oberflächen der Scheibe verhindert wird. Durch die entstehende Zwängung werden der Kern auf Zug, die Oberflächen auf Druck vorgespannt.
Produktionsbedingt unterliegt das Eigenspannungsniveau bei vorgespannten Scheiben gewissen Schwankungen. Die Streuungen werden dabei im Wesentlichen durch Luftmenge, Lufttemperatur und Luftverteilung beim Abblasen bedingt. Je nach Grad der eingeprägten thermischen Vorspannung wird zwischen teilvorgespanntem Glas (TVG) und vollvorgespanntem Einscheibensicherheitsglas (ESG) unterschieden. Die maximalen Druckspannungen an der Glasoberfläche liegen bei vollvorgespanntem Glas (ESG) im Bereich von 90–120 N/mm², bei teilvorgespanntem Glas (TVG) im Bereich von 40–75 N/mm². An den Kanten der Gläser streuen diese Werte noch stärker. Der Übergang von ESG zu TVG ist durch eine markante Veränderung des Bruchbildes gekennzeichnet. ESG weist im Bruchzustand ein feinkrümeliges Bruchbild auf, wohingegen TVG in größeren Glasschollen bricht. Ob ein Glasprodukt als ESG oder als TVG zu bezeichnen ist, kann im Nachhinein auch durch Auszählen der Krümel einer gebrochenen Scheibe innerhalb eines definierten Zählfeldes festgestellt werden (siehe Abb. 2.1.26, S. 66).
Bei ESG besteht die Gefahr eines Spontanbruchs infolge von sich ausdehnenden Nickel-Sulfid-Einschlüssen. Diese Einschlüsse im Glas sind selten. Sie können jedoch, insbesondere wenn sie sich in der Zugspannungszone des ESG befinden, zum spontanen Versagen führen (siehe »Heißgelagertes thermisch vorgespanntes ESG«, S. 67). Um diese Gefahr zu minimieren, kann ESG dem so genannten Heißlagerungstest unterzogen werden. Dabei müssen die Scheiben gemäß DIN 18516 bei einer mittleren Glastemperatur von 290 ± 10° C mindestens vier Stunden in einem Ofen gehalten werden. Die Gläser, die diese oft als »Heat Soak Test« bezeichnete Prüfung bestehen, werden als ESG-H zertifiziert.
Chemisch vorgespanntes Glas wird durch eine Behandlung der Scheiben in einer Salzlösung erzeugt. Bei diesem Glastyp können Druckvorspannungen an der Oberfläche von bis zu 300 N/mm² erreicht werden, allerdings nur in einer sehr dünnen Schicht, die durch Kratzer

leicht durchdrungen werden kann. Die chemische Vorspannung wird hauptsächlich bei dünnen Glasscheiben eingesetzt.

Beständigkeit

Aufgrund ihrer silikatreichen Zusammensetzung besitzen Gläser gegenüber verschiedenen Materialien eine sehr gute chemische Beständigkeit. Daher ist bauübliches Kalk-Natron-Glas sehr resistent gegenüber den meisten Säuren und Laugen. Es ist aber in geringem Umfang wasserlöslich. Deshalb kann es unter ungünstigen Umständen (z.B. bei horizontal angeordneten Scheiben, auf denen Regenwasser stehen bleibt) infolge Auslaugung von Alkalien fleckig erblinden. Durch stehendes Wasser oder permanente Feuchte werden vor allem Natriumionen aus dem Glasgefüge herausgelöst. Dieser Vorgang wird in alkalischem Milieu begünstigt.
Flusssäure hat eine stark angreifende Wirkung auf Glas, daher wird sie oft zum Satinieren (Ätzen) von Glasoberflächen genutzt.
Bei der Montage von Verglasungen ist der Kontakt mit jungem Beton und Mörtel wegen deren hoher Alkalität zu vermeiden. Auch Schweißarbeiten sollten nicht in der Nähe von Glas durchgeführt werden, um Beschädigungen des Glases bei Funkenflug zu vermeiden.

Rezyklierbarkeit

Als ein Werkstoff, der ohne Qualitätsverlust einschmelzbar ist, eignet sich Glas prinzipiell zum Recycling. Bei der Herstellung von Glas wird im Produktionsprozess anfallender Glasbruch der Schmelze wieder zugegeben. Um die hohen Reinheits- und Qualitätsansprüche zu erfüllen, wird Altglas in der Praxis nicht vollständig in den Kreislauf zurückgeführt. Jedoch wird Altglas bei der Erzeugung von Glasprodukten wie Blähglas oder Glaswolle zur Einsparung von Energie und Rohstoffen verwendet.

Konstruktionsdetails

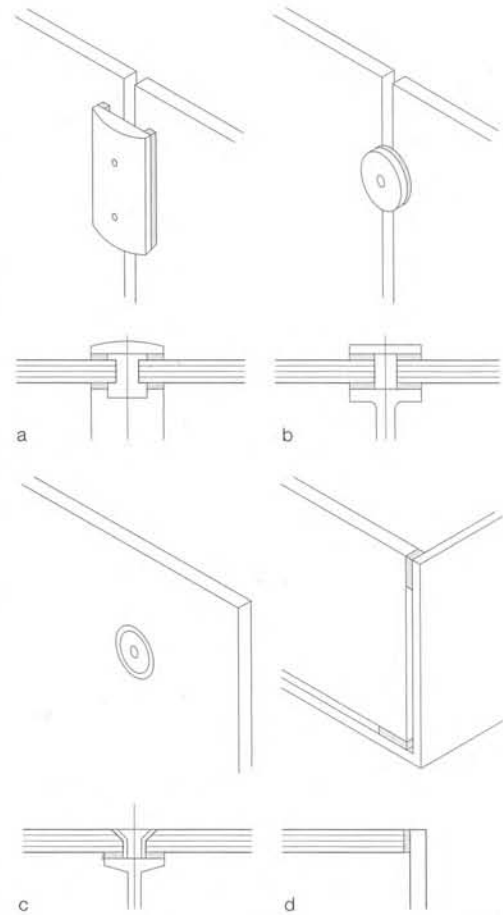
Wie die meisten Baustoffe können Bauteile aus Glas nur in begrenzten Abmessungen vorgefertigt zur Baustelle geliefert werden. Dort werden die Glasbauteile entweder einzeln auf einer tragenden Unterkonstruktion befestigt oder kraftschlüssig zu einer selbst tragenden Struktur zusammengesetzt. Die Glasbauteile müssen dabei stets so gefügt werden, dass die Filter- bzw. Dichtungsfunktionen optimal erfüllt werden. Wegen der Transparenz des Baustoffs wird die Diskontinuität an der Fügestelle besonders augenfällig. Alle konstruktiven Maßnahmen erfordern daher besondere Sorgfalt.

Krafteinleitungen

Bei der Befestigung und bei der kraftübertragenden Verbindung von Bauteilen aus Glas werden Kräfte entweder an der Glaskante oder in der Glasfläche selbst eingeleitet. Um übermäßig große Spannungsspitzen zu vermeiden, ist hierfür immer ein Krafteinleitungsbereich mit einer bestimmten Mindestabmessung erforderlich.
Lokale Spannungsspitzen, z.B. durch unbeabsichtigten Kontakt mit anderen, oberflächenharten Bauteilen (Stahl, Glas) oder durch ein Verkanten im Lagerungsbereich, müssen im Glasbau auf alle Fälle vermieden werden.
Nachfolgend werden die Mechanismen der Krafteintragung in Bauteile aus Glas sowie die zugehörigen typischen Versagensformen erläutert.

Kontakt

Über Kontakt können ausschließlich Druckkräfte, die senkrecht zur Kontaktfläche wirken, übertragen werden (Abb. 2.2.9). Äußere Zugkräfte können bis zur Dekompression über eine auf Druck vorgespannte Kontaktfläche aufgenommen werden.
Die Kontaktflächen müssen so groß sein, dass die im Krafteinleitungsbereich auftretenden Spannungen hinreichend klein bleiben. Bei harten Auflagerungen (Kontakt Glas-Stahl oder Glas-Glas) oder wenn Bewegungen und konstruktive oder geometrische Imperfektionen absorbiert werden müssen, sind elastische Zwischenschichten erforderlich.
Eine Kontaktverbindung kann nur dann versagen, wenn die Kontaktmaterialien selbst infolge ihrer Druckbeanspruchung versagen oder wenn die Kontaktflächen durch Erschütterungen oder starke Verformung verschoben werden, z.B. wenn eine durchgebogene Glasplatte aus der Halteleiste gleitet.



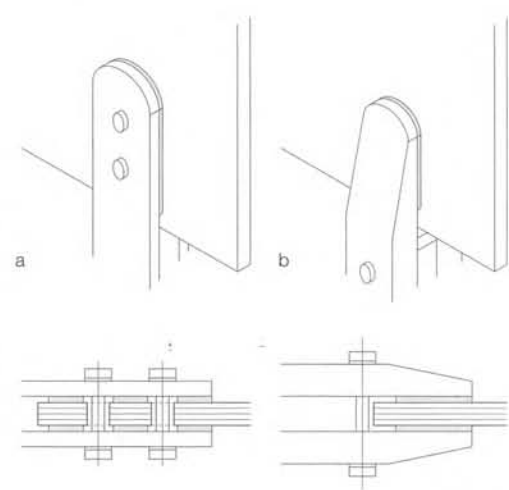
2.2.9

Reibung

In ein Glasbauteil können Kräfte über Reibung durch mechanische Verzahnung der Mikrorauigkeiten beider Kontaktflächen übertragen werden (Abb. 2.2.10). Der Zusammenhang zwischen einer vorhandenen Normalkraft und der über Reibung in das Glasbauteil eintragbaren Schub-/Scherkraft ist ungefähr linear. Da Glas nicht direkt auf Stahl gesetzt werden kann, sind für die Qualität der Reibverbindung die Elastizität und die Dauerstandfestigkeit der Zwischenschicht von ausschlaggebender Bedeutung. Als Zwischenschichten kommen Weichmetalle (reines Aluminium, enthärtet), Kunststoffe (Silikon, EPDM) oder natürlich gewachsene, teilweise weiterverarbeitete Materialien (Kork, Leder, Pappe) infrage. Alle diese Werkstoffe müssen im Gebrauch stets im elastischen Bereich der Spannungs-Verformungsbeziehung verbleiben.
Reibverbindungen können aus unterschiedlichen Gründen versagen. Ein Herausgleiten der Glasscheiben ist aufgrund von Veränderungen der Reibungseigenschaften in den Kontaktflächen möglich. Diese Reibung vermindert sich durch eindringende Feuchte oder nachlassende Klemmpressung, z.B. durch Kriechen der Zwischenschicht in einem VSG oder durch Relaxation der Schraubenvorspannung am Klemmteller bzw. an der Klemmleiste. Äußere Zugkräfte begünstigen zusätzlich das Herausgleiten. Glasbruch bei Temperaturdehnung

2.2.9 Krafteinleitung über Kontakt
- a Pressleiste
- b Klemmteller
- c Punkthalter
- d Halte- und Distanzklötze

2.2.10 Krafteinleitung über Reibung am Klemmteller
- a mit Bohrung
- b ohne Bohrung



2.2.10

2.2.11

aufgrund zu steifer Verbindungen oder durch zu hohe Klemmpressung bei zu weichen, zu steifen oder auch geometrisch ungünstig geformten Klemmplatten führt zum Versagen dieser Verbindung.

Stofflicher Verbund

Eine Übertragbarkeit von Kräften kann auch durch einen stofflichen Verbund zwischen zwei Glasbauteilen bzw. zwischen Glas- und Rahmenbauteil erfolgen. Dieser stoffliche Verbund kann durch Schweißen (Glas an Glas) oder Löten (Metall an Glas) erfolgen und wurde früher z.B. beim Ganzglasrandverbund von Isoliergläsern eingesetzt. Derzeit werden jedoch Schweiß- und Lötverfahren bei tragenden Bauteilen aus Glas im Bauwesen nicht angewandt. Ursache hierfür sind die schwer beherrschbaren Probleme, die infolge der ungleichförmig verteilten Temperaturbeaufschlagung der zu fügenden Bauteile sowohl bei der Herstellung als auch im Einbauzustand entstehen.

Das Kleben ist der heute am häufigsten angewandte stoffliche Verbund im Glasbau. Die Klebung kann flächig erfolgen wie z.B. bei Verbund(sicherheits)glas (VG, VSG) oder punkt- und linienförmig, z.B. bei Isolierglas und Structural-Sealant-Glazing-Fassaden (SSG).

Bei Verklebungen werden auf der Basis von Adhäsions- oder Kohäsionsmechanismen Kräfte senkrecht oder parallel zur Verbindungsfläche übertragen. Die Molekularkräfte zwischen den Molekülen eines Stoffes bezeichnet man allgemein als Kohäsionskräfte. Zwischen den Molekülen verschiedener Stoffe existieren ebenfalls molekulare Wechselwirkungen. In diesem Fall spricht man von Adhäsionskräften. Klebeverbindungen werden häufig mit relativ großen Klebeflächen unter Benutzung von elastischen Klebern eingesetzt. Die meisten Klebeverbindungen weisen eine deutliche Abhängigkeit der übertragbaren Kräfte von der Temperatur, der Feuchte und der Belastungsdauer auf. Im Brandfall versagen üblicherweise die Verbindungen.

Geklebte Ganzglasfassaden, die als »Structural-Glazing-Fassaden« (SG) oder auch »Structural-Sealant-Glazing-System« (SSG) bezeichnet werden, besitzen Verklebungen (meist Silikone) zur planmäßigen Abtragung von Windbelastungen. In Deutschland verfügen einige dieser Fassadensysteme über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Um die Qualität der Verklebung sicherzustellen, definieren diese Zulassungen die kontrollierte werkseitige Herstellung der Verklebung auf bestimmten Oberflächen, z.B. Glas auf Aluminium. In Deutschland muss im Gegensatz zu den meisten europäischen Ländern und den USA ab einer Einbauhöhe von mehr als 8 m die Glasscheibe zusätzlich durch mechanische Halterungen gesichert werden. Aufgrund der Vielzahl von bauaufsichtlichen Einschränkungen bei der Anwendung dieser Fassadensysteme hat sich diese Bauweise in Deutschland bisher kaum durchgesetzt. Neben der Verklebung auf Aluminium werden derzeit aus Gründen der Bauphysik und der Gewichtseinsparung Verklebungen von Glas mit glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) erforscht. Im Bereich der Glas-Klebstoff-Forschung werden auch Versuchsbauwerke ohne (metallische) Verbindungsmittel realisiert. Durch stumpfe Verklebungen mit minimaler Breite lassen sich neue Wege beim Entwerfen und Bauen mit Glas beschreiten. Die dominanten metallischen Verbindungselemente verschwinden und die linienförmige Lagerung stumpf verklebter Glasscheiben ermöglicht eine werkstoffgerechte Lastabtragung, insbesondere bei Bogen- und Schalentragwerken (Abb. 2.2.11).

Erforscht und weiterentwickelt werden zur Zeit Klebstoffe aus den vier großen Klebstoffgruppen: Polyurethane, Acrylate, Silikone und Epoxidharze. In der Praxis werden derzeit am häufigsten Silikonklebstoffe verwendet. Sie besitzen jedoch eine relativ geringe Festigkeit. Neben der Entwicklung von Klebstoffen mit hoher Festigkeit, Dauerhaftigkeit und guter Verarbeitbarkeit ist auch die Transparenz der Klebstoffe von Bedeutung. Hochtransparente Klebstoffsysteme ermöglichen eine Entmaterialisierung von Gebäudehüllen. Ein weiteres Kriterium ist das unterschiedliche Temperaturausdehnungsverhalten von Glas und Klebstoff, das zu erheblichen Spannungen in der Klebefuge bis hin zum Versagen führen kann. Daneben gilt es ebenso die Anwendbarkeit von Klebebandsystemen und deren Vor- oder Nachteile gegenüber Nassklebersystemen zu erforschen. In den Lasteinleitungsbereichen eingespannter Glasgeländer und gebohrter Punkthalter werden meist quasi starre Kleber verwendet. Ein derartiger Anschluss gleicht Montagetoleranzen und Bauungenauigkeiten durch Injektion oder Verfüllungen aus. Nach dem Aushärten des Klebstoffs entsteht ein kraftschlüssiger Verbund. Nachteilig ist, dass zwischen den verbundenen Bauteilen nur sehr kleine Verformungen aufgenommen werden können und daher unter Umständen Zwängungen auftreten.

Ein Versagen bei stofflichem Verbund wird meist durch eine unzureichende Vorbehandlung der Kontaktflächen oder die Inkompatibilität der verwendeten Materialien, wie z.B. zwischen PVB (Polyvinyl-Butyral) und bestimmten Silikonen bedingt. Beides ist insbesondere bei Klebeverbindungen der Fall. Bei Gläsern, die über eine Silikonklebung an andere Bauteile angeschlossen werden sollen, genügt beispielsweise ein Berühren der Glasfläche mit der Hand, um die Haftfestigkeit der Klebung herunterzusetzen. Bei sehr steifen Klebern kann die Verbindung auch durch Temperaturdehnungen überlastet werden.

Fügung

Die Verglasungselemente müssen an ihren Übergängen mit Klebstoffen, Dichtungen etc. gefügt werden. Fügen bedeutet nichts anderes als die Herstellung einer funktionalen Verkettung, d.h. alle Funktionen, die die Elemente jeweils für sich erfüllen, müssen auch an der konstruktionsbedingten Fuge erfüllt werden.

2.2.11 Stuttgarter Schale, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Universität Stuttgart
2.2.12 Kontaktdichtung, Bewegungsmöglichkeit durch Gleiten und Verformung der Lippen
2.2.13 Verkittung mit Profil in der Fuge, geringe Bewegungsmöglichkeit
2.2.14 Dichtung mit dauerelastischen Klebstoffen (Silikon), Bewegungsmöglichkeit durch Stauchung bzw. Streckung des Materials
2.2.15 Überlappung, freie Beweglichkeit, eingeschränkte Dichtigkeit
2.2.16 Funktionsverknüpfung bei einer Pressleistenkonstruktion
2.2.17 Doppelfunktion der Silikonfuge bei SSG-Verglasungen
2.2.18 Funktionstrennung bei Punkthaltern

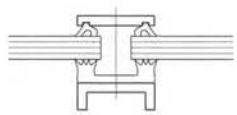
Die beste Verglasung ist also die, deren Fugen ebenso wasser-, luft- und schalldicht und dabei gleichzeitig so transparent sind wie die Glasbauteile selbst. Dies ist allerdings praktisch nicht zu erreichen: Fugen stellen immer Schwachstellen dar, z.B. in Bezug auf die Dichtigkeit, den Wärmeübergang oder die Übertragbarkeit von Kräften.
Für die Herstellung des Dichtungsanschlusses stehen die folgenden Prinzipien zur Verfügung:

Kontaktdichtung
Die Abdichtung zur Glasfläche wird häufig mit vorgefertigten Dichtungsprofilen aus dauerelastischem Material hergestellt (Abb. 2.2.12). Man unterscheidet Blockprofile und Lippenprofile.
Die Dichtigkeit der Kontaktfläche erfordert einen gewissen Anpressdruck zwischen Glas und Dichtungsprofil sowie glatte Glasoberflächen. Im Allgemeinen sind die Dichtungsprofile so gestaltet, dass der Kontakt nicht vollflächig, sondern über lineare Lamellen oder Lippen erfolgt.
Verformungen der Glasscheiben werden durch Verformungen der Lamellen oder Gleiten zwischen Lamelle und Glasfläche aufgenommen. Die Lamellen müssen dauerelastisch sein und eine Rückstelleigenschaft besitzen, damit sie den Verformungen der Scheibe stets ohne Verlust der Dichtungseigenschaft folgen können. Die detaillierte Ausformung der Lamellen ist abhängig von der Scheibengröße und der Glasdicke. Dickere Scheiben besitzen größere Dickentoleranzen, die durch entsprechend gestaltete Lamellen aufzunehmen sind.

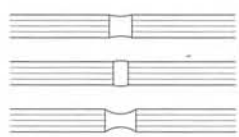
Verkittung
Bei der traditionellen Verglasung mit Kitt im Falzraum entsteht die Dichtigkeit an der Kontaktfläche Kitt/Glas durch deren vollflächigen Kontakt (Abb. 2.2.13). Die Verbindung ist relativ steif, so dass in der Praxis meist feine Risse in der Verkittung auftreten, die zur kapillaren Durchfeuchtung führen. Montagetoleranzen und Bauungenauigkeiten werden durch die Verfüllung mit Kitt in der Einbaulage ausgeglichen. Über die Verkittung können Druckkräfte, jedoch keine Zugkräfte übertragen werden. Zwischen den verbundenen Bauteilen können nur sehr kleine Verformungen aufgenommen werden.

Klebedichtung
Durch Verkleben mit vollflächigem Verbund können Dichtungsanschlüsse ohne äußeren Anpressdruck ausgeführt werden (Abb. 2.2.14). Die Verbindung basiert auf Adhäsion und funktioniert deshalb auch unter Zugbelastung. Die Verklebung kann auch zur Kraftübertragung (siehe »Stofflicher Verbund, S. 94«) herangezogen werden.
Durch die gewählte Elastizität des Klebstoffs und die gewählte Fugenbreite ist die Nachgiebigkeit der Verbindung gezielt einstellbar. Bewegungen zwischen den verbundenen Glasbauteilen werden durch elastische Dehnungen der Klebung längs und quer zur Fuge aufgenommen. Treten größere Verformungen der Scheiben relativ zueinander auf, so sollte ein eingeklebtes und entsprechend elastisches Profil zur Überbrückung der Fugen eingesetzt werden.

Überlappungen
Durch Überlappungen, z.B. bei Glasschindeln oder Labyrinthdichtungen, können lediglich nicht drückendes Wasser abgehalten bzw. Luftbewegungen gebremst werden (Abb. 2.2.15).
Da bei Überlappungen kein Kontakt zwischen den Elementen erforderlich ist, können auch große Relativbewegungen der Bauteile zueinander aufgenommen werden. Sehr geeignet ist dieses Dichtungsprinzip deshalb für den Einsatz als Schlagregenschutz bei flexiblen Konstruktionen oder als Bewegungsfuge zwischen Bauwerksabschnitten.


2.2.12

2.2.13


2.2.14

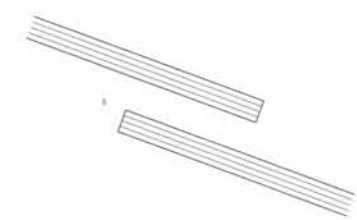
Verglasungen
Verglasungssysteme beschreiben die Werkstoffe und Bedingungen, unter denen das Glas in einen Rahmen bzw. in ein Last übertragendes Element eingebettet ist sowie die Funktionen der einzelnen Bauteile. Dabei wird der Teil des Rahmens oder der Einfassung, in den die Glasscheibe eingesetzt wird, als Glasfalz bezeichnet. Der Falzraum kann mit Dichtstoffen voll ausgefüllt oder als belüftetes und entwässertes System ausgeführt werden.

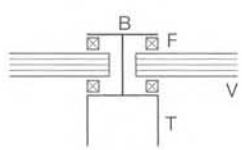
Prinzipieller Aufbau von Verglasungen
Beim Aufbau der Verglasungen können vier wesentliche Funktionselemente unterschieden werden, die in unterschiedlicher Weise miteinander verknüpft werden:

- V = Verglasungselement: Die einfache Glasscheibe, das Isolierglaselement, ein Raum abschließendes Element inklusive Rahmen mit weiteren integrierten Funktionen wie Sonnenschutz, Schallschutz, Sichtschutz, transparenter Wärmedämmung, Photovoltaik etc.
- T = Tragkonstruktion: Die Unterkonstruktion, auf der die Glasscheiben und die Verglasungselemente befestigt werden und an die alle Lasten weitergegeben werden
- B = Befestigung: Last übertragende Elemente
- F = Fuge: Elemente des Dichtungsanschlusses

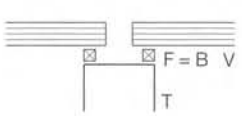
Die grundsätzlichen Möglichkeiten einer Kombination sind:

Funktionsverknüpfung
z.B. klassische Pressleistenverglasung:
Die beiden Funktionsketten sind miteinander verknüpft und können nicht separat montiert bzw. gelöst werden (Abb. 2.2.16).
Kette der Dichtungsfunktion: V-F-B-F-V
Kette der tragenden Funktion: V-F-B-T

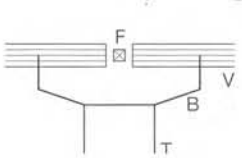

2.2.15



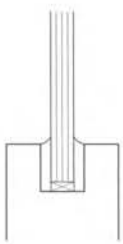
2.2.16

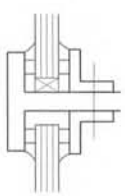


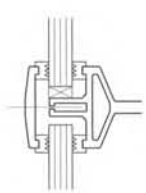
2.2.17



2.2.18







2.2.19 Bleiverglasung
2.2.20 Falz mit Kittfase
2.2.21 Falz mit Glashalteleiste
2.2.22 Verglasungsprofil mit Pressleiste

Doppelfunktionen
z.B. Structural Sealant Glazing:
Befestigungs- und Fügungselement sind identisch, der Silikonklebstoff erfüllt also eine Doppelfunktion (Abb. 2.2.17).
Kette der Dichtungsfunktion: V-FB-T-FB-V
Kette der tragenden Funktion: V-FB-T

2.2.19 Funktionstrennung
z.B. Punkthalterverglasung:
Die Funktionen sind getrennt und können separat montiert bzw. gelöst werden (Abb. 2.2.18).
Kette der Dichtungsfunktion: V-F-V
Kette der tragenden Funktion: V-B-T

Bleiverglasung

2.2.20 Die Bleiverglasung stellt die älteste Technik dar, mit der aus kleinen handgefertigten Scheiben größere, zusammenhängende Glastafeln hergestellt werden (Abb. 2.2.19). Die Einzelscheiben werden dabei in H-förmige Bleiruten eingelegt und festgeklopft. Der feste Zusammenhalt der Verglasung beruht auf den teilweisen Hinterschneidungen der Einzelscheiben sowie auf der satten Einbettung der Scheiben in der Bleirute, die zum Teil durch nachträgliches Ausschlämmen mit einer Kittmasse
2.2.21 zusätzlich verbessert wird.

Falz mit Kittfase

Eine weitere tradierte Verglasungstechnik ist die Einbettung der Glasscheiben in einen offenen Falz mithilfe einer Kittfase (Abb. 2.2.20). Dabei wird zunächst der Falzraum bei einem Mauerwerk oder bei einem Rahmen aus Holz,
2.2.22 Kunststoff oder Metall ausgespart.
Bei der Montage wird die Scheibe eingerichtet und fixiert. Danach wird der Falzraum mit einer Kittfase vollsatt verfüllt. Auf diese Weise wurden lange Zeit einfache und anspruchslose Werkstatt- und Gewächshausverglasungen hergestellt, die wegen der kleinformatigen Ausfachung mit dünnen Scheiben billig und einfach zu reparieren waren.
Bei dem beschriebenen Konstruktionsprinzip des Falzes mit Kittfase handelt es sich um eine ausfachende Bauweise, bei der die Verkittung einerseits die Befestigung der Glasscheiben, andererseits abdichtende Funktionen erfüllt. Bei dieser Art der Verglasung wurden die Glasscheiben meist empirisch-intuitiv auch zum Aussteifen der tragenden Profile herangezogen.

Falz mit Glashalteleiste

Die zeitlich auf die Bleiverglasung sowie den Falz mit Kittfase folgende Entwicklung ist durch eine immer stärkere Differenzierung der Befestigungs- und Dichtungsfunktionen gekennzeichnet (Abb. 2.2.21). So wurde als Nächstes zur zuverlässigen Befestigung der Glasscheiben an der Unterkonstruktion bei Windsog eine Glashalteleiste eingeführt. Damit ergab sich zwangsläufig die Differenzierung von äußerer und innerer Dichtungsebene und damit die Entstehung des Falzraumes. Man unterscheidet ausgefüllte und dichtstofffreie Falzräume. Ausgefüllte Falzräume werden nur noch bei Einscheibenglas verwendet. Bei allen anderen Verglasungen ordnet man dichtstofffreie Falzräume an. Diese besitzen stets eine Drainage, um das Fugen- bzw. Kondenswasser im Falzraum gezielt abführen zu können.

Verglasungsprofil mit Pressleiste

Mit der fortschreitenden Entwicklung vom klassischen Fensterbau hin zum modernen Fassadenbau, bzw. von der Lochfassade zur Vorhangfassade, treten an die Stelle der im Mauerwerk eingelassenen Rahmen mit Glashalteleiste spezielle, auf einer Unterkonstruktion montierte Verglasungsprofile (Abb. 2.2.22). Sie ermöglichen großflächige Verglasungen. Anstatt einer Glashalteleiste wird eine Pressleiste verwendet, die zwei aneinander grenzende Fassadenelemente fasst.
Bei einer Verglasung mit Pressleisten werden die beiden Dichtungsebenen im Allgemeinen durch vorgeformte, dauerelastische Profile aus Silikon, EPDM (Ethylen-Propylen-Dien vom Typ M) oder ähnlichen Werkstoffen geformt. Die Profile werden durch die Pressleiste auf das Glas gedrückt. Eindringen von Wasser wird durch die Form des Dichtungsprofils mit Lippen oder hintereinander gestellte Lamellen verhindert.
Durch die großflächige Verglasung entsteht die Notwendigkeit, vertikale und horizontale Fugen zu differenzieren und zu einem kommunizierenden Drainagesystem zu verbinden. Die Drainage muss mit der Außenluft kommunizieren und nach außen entwässern. In der horizontalen Fuge muss die Auflagerung der Scheiben auf einer Verklotzung erfolgen, die den Wasser führenden Falzraum freihält. Entsprechende Verknüpfungen sind an den Ecken bzw. Kreuzungspunkten herzustellen.
Weitere Differenzierungen ergeben sich bei der Verwendung von Isoliergläsern: Die Pressleiste muss vom Verglasungsprofil thermisch getrennt werden. Öffenbare Elemente mit ihren beweglichen Teilen und Bedienelementen werden zumeist in einem festen Rahmen in das Verglasungssystem eingesetzt.

Zweiseitige Linienlagerung mit freien Glasrändern

Bei manchen Horizontal- bzw. Vertikalverglasungen werden die Scheiben nur zweiseitig gelagert. Die freien, nicht gelagerten Ränder können in diesen Fällen flächenbündig mittels einer geklebten Silikonfuge geschlossen werden. Bei VSG ist darauf zu achten, dass hierbei nur PVB-verträgliches Silikon eingesetzt wird oder dass die PVB-Folie durch ein entsprechendes Vorlegeband vor dem Kontakt mit der Silikonverklebung geschützt wird. Wird ein Vorlegeband verwendet, so ist der mit dem Vorlegeband geschaffene Luftraum zu entwässern, da sonst Feuchteansammlungen zum Erblinden der PVB-Folie im Randbereich und zum Verlust der Haftfestigkeit der PVB-Folie auf dem Glas führen können (Delamination). Bei Isoliergläsern sollte mit zwei Dichtungsebenen gearbeitet werden, wobei die Silikonfuge von bei-

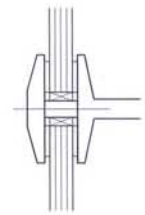
den Seiten auf einem Vorlegeband aufgebracht wird. Der mit dem Vorlegeband geschaffene Luftraum ist zu entwässern. Bei manchen Konstruktionen werden die Scheiben vierseitig kontinuierlich aufgelegt, gegen Windsog jedoch nur bereichsweise mit Pressleisten oder Klemmtellern gehalten. Bei Windsog oder anderen abhebenden Belastungen liegt somit ein anderes statisches System als bei Winddruck, Eigengewicht oder Schnee vor.

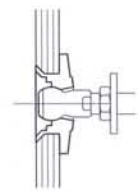
Punktlagerung am Glasrand
Reduziert man das System aus tragendem Profil und durchgeschraubter Pressleiste auf nur einzelne Stellen entlang der Glasränder, so erhält man im Extremfall nur noch punktuell am Rand gelagerte Glasscheiben (Abb. 2.2.23). Schmale Auflagerkonsolen für die Klotzung dienen zur Aufnahme der In-Plane-Beanspruchung (Beanspruchung in der Scheibenebene) und eine Klemmtellerbefestigung zur Aufnahme der Out-of-Plane-Beanspruchung (Beanspruchung senkrecht zur Scheibenebene). An den freien Rändern findet keine Kraftübertragung mehr statt; nur die Dichtungsfunktionen müssen hier erfüllt werden.

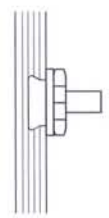
Punktlagerung mit Bohrung
Die Befestigung der Glasscheibe über Bohrungen innerhalb der Glasfläche bezeichnet man allgemein als Punkthalterung (Abb. 2.2.24). Die tragende Funktion (Befestigung) ist hier von der Dichtungsfunktion getrennt. Die punktuelle Befestigung erfolgt in der Glasebene, die Dichtungsfunktionen übernimmt der freie Rand. Durch diese konsequente Funktionstrennung wird eine weitreichende Optimierung der einzelnen Funktionen und damit ein erweiterter Gestaltungsspielraum möglich. Natürlich muss die Dichtungsqualität im Bereich der Punkthalterung derjenigen des freien Scheibenrandes qualitativ ebenbürtig sein.
Neben den bekannten, durchgebohrten Punkthaltersystemen sind auch Hinterschnittanker (Abb. 2.2.25) möglich. Im Unterschied zu den bisherigen Systemen für die punktuelle Befestigung von Glaselementen erfolgt hier die Befestigung direkt im Glas mittels eines hinterschnittenen Bohrlochs. Damit minimieren sich die Probleme der Abdichtung und Wärmebrückenbildung im Bereich der Punkthalterung. Derzeit werden auch geklebte Punkthalterungen erforscht, die auf jegliche Glasbohrung verzichten.

Geklebte Befestigung
Die Befestigung von Glasscheiben auf der Unterkonstruktion bzw. auf den Rahmenelementen durch Kleben ermöglicht den Verzicht auf sichtbare Pressleisten (Abb. 2.2.26). Die Bezeichnung Structural Glazing (SG) oder besser Structural Sealant Glazing (SSG – tragende und dichtende Klebeverglasung) verweist auf die strukturelle (Last abtragende) Bedeutung der Klebefuge. Dabei ist zu betonen, dass durch die SSG-Verklebung nur kurzzeitig wirkende Lasten z.B durch Wind oder Erdbeben abgetragen werden dürfen. Das Eigengewicht der Scheiben muss in Deutschland auch bei SSG durch zumeist verdeckte, mechanische Halterungen aufgenommen werden.
Bei einer stumpfen Verklebung der einzelnen Glasscheiben miteinander übernimmt die Klebefuge selbst die Funktionen der Befestigung, Lastübertragung und Dichtung. Durch die stumpfe Verklebung sind die Glasscheiben linienförmig gelagert (Abb. 2.2.27 und 2.2.29). Die Lastabtragung sollte bei solchen Konstruktionen in der Glasebene durch Membrankräfte erfolgen. Bei druckbeanspruchten Tragsystemen – insbesondere bei Bogen- und Schalentragwerken – ist dies für das Glas und den Klebstoff ein werkstoffgerechtes Konstruktionsprinzip.

Integralprofil
Das Verglasungsprofil, die Pressleiste sowie die zugehörigen Dichtungsgarnituren können durch ein einziges umlaufendes und vorgeformtes Profil ersetzt werden, welches das Verglasungselement einfasst und das bauseits mit der Tragkonstruktion verzahnt oder verklebt ist (Abb. 2.2.28). Ein derartiges Integralprofil besteht üblicherweise aus dauerelastischem Kunststoff. Im Automobilbau ist diese Fügetechnik bei der Befestigung von Wind-

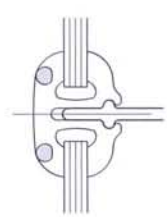

2.2.23


2.2.24


2.2.25

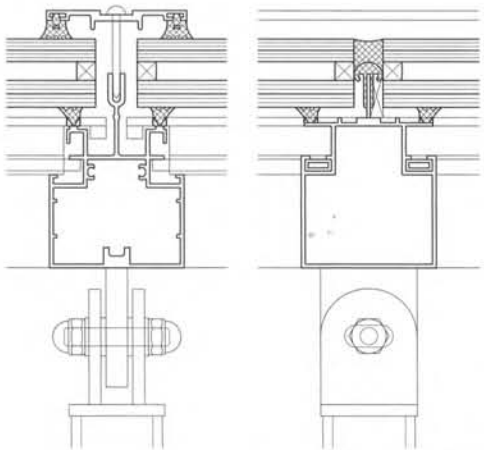
2.2.26

2.2.27


2.2.28

2.2.29

2.2.23 Punktlagerung am Glasrand
2.2.24 Punktlagerung mit Bohrung
2.2.25 Hinterschnittanker
2.2.26 geklebte Befestigung (SSG)
2.2.27 stumpfe Verklebung
2.2.28 Integralprofil
2.2.29 Stuttgarter Schale, ILEK, Universität Stuttgart



2.2.30

2.2.31

schutzscheiben erprobt und weit verbreitet. Im Bauwesen wird die Technik vereinzelt im Fassadenbau eingesetzt. Gegenüber dem Automobilbau ist im Bauwesen wegen der wesentlich längeren Einsatzzeiten des Produktes sorgfältig auf eine saubere Drainage der Profile zu achten.

Horizontalverglasungen

Von einer Horizontalverglasung spricht man, wenn die Neigung der Glasflächen so gering ist, dass Regenwasser bei einer vierseitigen Pressleistenkonstruktion nicht vollständig abfließen kann. Vollkommen horizontale Verglasungen werden wegen der bei stehendem Wasser auftretenden Verätzungsgefahr der Scheiben nur in Ausnahmefällen realisiert. Es sollte zumindest eine leichte Neigung von wenigstens 1–2° vorgesehen werden, so dass das Wasser in kontrollierter Weise abfließen kann.

Die Oberfläche einer Verglasung darf an keiner Stelle Barrieren für das abfließende Wasser aufweisen. Deckleisten senkrecht zur Fließrichtung sollten an der Bergseite so stark abgeflacht werden, dass die entstehende Kante keinen größeren Rückstau bilden kann (horizontal oder zur Talseite geneigt). Sollte dies nicht einzuhalten sein, muss auf eine Deckleiste quer zur Fließrichtung völlig verzichtet werden. Als Lösung empfiehlt sich dann die Anordnung als zweiseitig liniengelagerte Scheibe mit Deckleisten in Fließrichtung und geklebten Silikonfugen quer dazu. Punktförmige Halterungen führen ebenfalls nicht zu einer Barrierewirkung.

Eine ausreichende Selbstreinigung ist bei flachen Verglasungen mit weniger als 10° Dachneigung bei normaler Bewitterung nicht mehr gewährleistet. Staub und Laub bleiben auf der Glasfläche liegen. Durch eine Bedruckung oder eine mattierte und Licht streuende Glasoberfläche kann der negative Eindruck einer verschmutzt aussehenden Glasfläche jedoch deutlich entschärft werden.

Das Anschmutzverhalten kann durch eine Oberflächenveredelung der Glasscheiben mit Schmutz abweisenden Beschichtungen wesentlich verbessert werden. Diese Beschichtungen haben entweder hydrophoben oder hydrophilen Charakter. Die hydrophilen Beschichtungen besitzen meistens photokatalytische Effekte, um organischen Schmutz auf der Glasscheibe zu lösen. Bedingt durch eine geringe Oberflächenspannung sind diese Glasscheiben nach einem Regenschauer von einem dünnen Wasserfilm bedeckt, der den zuvor gelösten Schmutz abspült.

Hydrophobe Oberflächen hingegen besitzen einen sehr hohen Perleffekt. Als Vorbild aus der Natur dient die Oberfläche von Blättern und Blüten der Lotuspflanze. Diese weisen eine Mikrorauigkeit auf und sind zusätzlich mit hydrophoben Substanzen bedeckt. Durch die daraus resultierende hohe Oberflächenspannung perlen Tropfen schnell ab, aufliegende Schmutzpartikel werden sehr leicht weggespült. Dieser so genannte Lotuseffekt wird bei vielen Fassadenbauteilen genutzt. Die Dauerhaftigkeit dieser Beschichtungen ist derzeit leider noch begrenzt.

Isolierverglasungen

Bei Isolierverglasungen muss auf die UV-Beständigkeit des Randverbunds geachtet werden. Die Primärversiegelung dient als Wasserdampf- und Gasdiffusionssperre und hat damit vornehmlich die Aufgabe, die Einheit vor dem Eindringen von Luftfeuchtigkeit und dem Entweichen von Gas zu schützen. Hierzu wird heutzutage am häufigsten das Elastomer Polyisobutylen bzw. Butyl verwendet. Dazu wird eine Butylschnur auf beide Seitenflächen des metallischen Abstandhalters (Edelstahl, Aluminium) aufextrudiert. Diese besitzt eine sehr gute Haftung an Glas und Metall und ist zudem leicht zu verarbeiten. Die Sekundärdichtung wird auf dem Rücken des Abstandhalterprofils mit integriertem Trockenmittel und zwischen den Glasscheiben verklebt. Sie schließt somit das Randverbundsystem hermetisch ab. Für die Sekundärdichtung eignen sich besonders Polysulfid- oder Silikondichtstoffe. Die Silikone sind UV-beständig, besitzen allerdings eine erhöhte Diffusionsrate, so dass die Befüllung einer solchen Isolierglasscheibe mit Edelgas nicht sinnvoll ist. Derzeit werden allerdings gasdichte Silikone erforscht und entwickelt.

Im Gegensatz dazu sind Isolierglasscheiben mit Polysulfiddichtstoffen gasdicht, jedoch nicht UV-beständig. Daher muss deren Randverbund von außen opak verdeckt werden. Dort, wo Deckleisten konstruktiv oder gestalterisch nicht möglich oder unerwünscht sind, kann der Randverbund durch eine Bedruckung oder eine vergleichbare Maßnahme vor UV-Bestrahlung geschützt werden.

Werden die Fugen zwischen den Isolierglaseinheiten mit Silikon gefüllt, so sollte die Klebung stets auf einer Montageunterlage oder einem Vorlegeband erfolgen. Besteht die Isolierverglasung teilweise aus VSG, so ist darauf zu achten, dass der gewählte Silikonwerkstoff mit der Zwischenschicht (meist PVB) kompatibel ist. Sollte dies nicht möglich sein, so ist die PVB-Folie z.B. durch ein entsprechendes Vorlegeband vor dem Kontakt mit der Silikonverklebung zu schützen.

Bei der Anordnung von Silikonfugen bei Isolierverglasungen ist darauf zu achten, dass durch anfallendes Kondensat und/oder Leckwasser in der Fuge weder der Randverbund noch eine eventuell vorhandene PVB-Folie geschädigt werden dürfen. Dies ist in der Praxis nicht leicht zu erfüllen. Bei Isoliergläsern sollte mit zwei Dichtungsebenen gearbeitet werden, wobei die Silikonfuge von beiden Seiten auf einem Vorlegeband aufgebracht wird. Der mit dem Vorlegeband geschaffene Luftraum ist zu entwässern.

Bei hohen Anforderungen an die Dichtigkeit ist eine offene Drainage unterhalb der Fuge die beste Lösung und einer beidseitigen Fugenverklebung vorzuziehen (Abb. 2.2.30 und 2.2.31).

2.2.30 Horizontalverglasung, Verwaltungsgebäude in St-Germain-en-Laye, Architekten: Brunet & Saunier, Paris
2.2.31 Falzraumbelüftung einer Isolierverglasung auf Holzunterkonstruktion
2.2.32 Materialkennwerte gängiger Baustoffe

Sicherheit und Bemessung

Verformungs- und Spannungsermittlung

Glas ist ein Werkstoff, der sich bei bauüblichen Temperaturen vollkommen elastisch verhält. Zwar wird Glas häufig auch als eine unterkühlte Schmelze bezeichnet (siehe »Werkstoff«, S. 90ff.), die Viskosität von Glas ist jedoch so hoch, dass in baupraktisch relevanten Zeiträumen kein Fließen auftritt. Glas zeigt somit auch kein nennenswertes Kriechen und keine Relaxation (Abb. 2.2.32).

Für die Berechnung der Schnittkräfte in einer Glasscheibe unter äußerer Belastung wird häufig die Theorie kleiner Verformungen (Theorie 1. Ordnung) angewendet. Auf der Basis dieser Theorie lassen sich die infolge äußerer Lasten auftretenden Spannungen für zweiseitig gelagerte Rechteckscheiben ermitteln. Für vierseitig gelagerte Rechteckscheiben erfolgt die Spannungsermittlung nach Tafelwerken oder nach der Bach'schen Formel. Für Kreisscheiben und Dreiecksscheiben liegen ebenfalls Tafelwerke vor. Die Berechnung für Glasscheiben ist heute mit der Methode der Finiten Elemente (FE) üblich.

Die nach der Theorie kleiner Verformungen (Theorie 1. Ordnung) ermittelten Spannungen sind bei größeren Glasscheiben üblicherweise höher, als dies eine Berechnung nach der Theorie großer Verformungen ergibt. Der Grund hierfür liegt bei den nach der Theorie 2. Ordnung berücksichtigten Membraneffekten in der Scheibenebene, die normalerweise mit niedrigeren Biegebeanspruchungen einhergehen. Diese in ihrer Wirkung für das Glas günstigen Membraneffekte werden bei der Ermittlung der Spannungen nach der Theorie 1. Ordnung nicht berücksichtigt. Da die Biegezugspannungen bei der Glasbemessung meistens dominieren, führt demnach eine Berechnung nach der Theorie 1. Ordnung zu größeren Glasstärken.

Die Ermittlung der Spannungsverteilung an Lasteinleitungsbereichen ist aufgrund der dort vorhandenen komplexen Lagerungs- und Spannungssituationen von Hand so gut wie nicht mehr möglich. Die Anwendung von Finite-Elemente-Berechnungen ist deshalb ein gangbarer und üblicher Weg, um Krafteinleitungsfragen, aber auch ganze Bauteile aus Glas zu analysieren und zu bemessen. Bei der Anwendung von Finite-Elemente-Berechnungen im Glasbau sind eine Reihe von Grundsätzen streng zu beachten. Insbesondere müssen Bereiche mit Spannungskonzentrationen durch die Modellierung sorgfältig erfasst werden. Lasteinleitungen sind nur durch entsprechend detailliert, modellierte Bereiche simulierbar; nachgiebige Zwischenschichten wie z.B. Klotzungen müssen stets mitmodelliert werden.

Für einige standardisierte Halterungsarten, Scheibenformate und Scheibenbelastungen existieren vertafelte Lösungen, die zumindest eine grobe Vorstellung von der Größe der Spannungskonzentration vermitteln. Wie bei allen nicht plastifizierenden Werkstoffen sind bei Glasbauteilen am Rand von Bohrungen natürlich stets Spannungsspitzen in der Größe des 2,5–3fachen der Grundspannung vorhanden. Für Lochbohrungen in Glasscheiben ist eine Begrenzung der Lage der Bohrung festgesetzt, wodurch Mindestabstände zwischen Bohrung und Glaskanten und zwischen Bohrungen untereinander definiert werden. Insbesondere vorgespannte Glasscheiben haben aufgrund der physikalischen Vorgänge im Vorspannofen und bei der Abkühlung in Kanten- und Lochbereichen einen im Vergleich zur Scheibenfläche veränderten Vorspannungszustand (Abb. 2.2.7).

Bemessungsverfahren

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das mechanische Verhalten von Glas zu beschreiben und hieraus ein Bemessungsverfahren abzuleiten. Die drei nachfolgend erläuterten Verfahren sind jeweils von einem spezifischen Betrachtungsansatz geprägt, stehen aber zueinander nicht im Widerspruch und können deshalb auch kombiniert angewendet werden. Derzeit gibt es keine allgemeine deutsche Norm für die Bemessung von Glasscheiben. Allerdings ist eine Bemessungsnorm in der Entwicklung und liegt als Normentwurf (prEN 13474-1) vor. Analog zur heutigen Stahl-, Holz- und Stahlbetonbemessung soll darin das Bemessungsprinzip mit Teilsicherheitsfaktoren auf Einwirkung- und Widerstandseite angewendet werden, um den realen Werkstoffeigenschaften einzelner Glaserzeugnisse und der Auftretungswahrscheinlichkeit einzelner Lastfallkombinationen gerecht zu werden. Heute erfolgt die Bemessung von Verglasungen in Deutschland hauptsächlich auf Grundlage von technischen Regelungen, die auf dem Bemessungsprinzip der zulässigen Spannungen basieren. Dabei darf bei VSG-Systemen ein günstig wirkender Schubverbund nicht angesetzt werden.

Bemessung nach zulässigen Spannungen

Die Bemessung wird auf der Basis von zulässigen Spannungen durchgeführt. Der Vorteil dieser Betrachtungsweise ist in der Anpassung an vorhandene Verfahren und in ihrer Einfachheit zu sehen. Das Verfahren wird allerdings dem Werkstoffverhalten nicht gerecht und führt deshalb in vielen Fällen zu Ergebnissen, die die Realität nur ungenau erfassen. Um alle Streuungen und Unwägbarkeiten zu berücksichtigen und um gleichzeitig ein ausreichendes Sicherheitsniveau zu erreichen, sind relativ hohe Sicherheitsbeiwerte erforderlich. Bei den üblichen Glasarten liegen diese Sicherheitsbeiwerte bei 2,4 gegenüber den im Biegeversuch ermittelten Mindestbiegezugspannungen. Dieses Bemessungsverfahren findet sich in den in Deutschland geltenden technischen Regelwerken wieder. Die »technische Regel für die Verwendung von linienförmig gelagerter Verglasung (TRLV)« und die noch im Entwurf befindliche »technische Regel für die Bemessung und Ausführung punktförmig gelagerter Verglasung (TRPV)« geben die maximalen

		Glas Kalk-Natron-Glas	**Beton** C25/30	**Stahl** S355	**Edelstahl** 1.4301	**Aluminium** EN AW-6060
E-Modul [N/mm²]		70000	26700	210000	200000	70000
Querdehnzahl		0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Festigkeit [N/mm²]	Streckgrenze	–	–	360	190	160
	Zugfestigkeit	45	2,6	510	500–700	215
	(Druck)	(700)	(25)			
Bruchverhalten		spröde	spröde	zäh	zäh	zäh
Wichte [kN/m³]		25	25	78	78	27
Wärmeausdehnungskoeffizient α [K⁻¹]		$0{,}9 \times 10^{-5}$	$1{,}0 \times 10^{-5}$	$1{,}2 \times 10^{-5}$	$1{,}6 \times 10^{-5}$	$23{,}5 \times 10^{-6}$

2.2.32

zulässige Biegezug-spannungen [N/mm²]	Überkopf-verglasung	Vertikal-verglasung
ESG aus Spiegelglas	50	50
emailliertes ESG aus Spiegelglas (Email auf Zugseite)	30	30
ESG aus Gussglas	37	37
TVG aus Spiegelglas	29	29
emailliertes TVG aus Spiegelglas (Email auf Zugseite)	18	18
Spiegelglas (Floatglas)	12	18
Gussglas	8	10

2.2.33

2.2.33 zulässige Biegezugspannungen

Hauptzugspannungen für die verwendeten Glasarten vor (Abb. 2.2.33). Die Spannungen, die sich aus den charakteristischen Werten wie Eigengewicht und den äußeren Einwirkungen von z.B. Schnee-, Wind-, Verkehrs- oder Klimalasten ergeben, stehen den jeweils maximalen zulässigen Spannungswerten gegenüber.

Bemessung nach Bruchwahrscheinlichkeiten
Bei diesem Verfahren, das wesentlich auf Arbeiten von Blank zurückgeht, werden der statistische Charakter der ausnutzbaren Festigkeit und die Einflüsse von Belastungszeit, beanspruchter Fläche und Umgebungsfeuchte mithilfe der Bruchmechanik erfasst und beschrieben. Im Verfahren nach Blank werden für jeden Lastfall die Bruchwahrscheinlichkeiten über die belastete Glasfläche und die jeweilige Einwirkungszeit summiert. Hierdurch wird der ungünstige Einfluss von Spannungen, die über lange Zeit und auf großen Flächen wirken, korrekt erfasst.
Dieses Verfahren wird dem Materialverhalten von Glas gerecht und ist wesentlich genauer, in der Anwendung aber leider auch komplizierter als eine Bemessung nach zulässigen Spannungen. Für Standardbauteile wie Rechteckplatten unter Wind- und Schneelast kann das Verfahren anwenderfreundlich in Tabellenform aufbereitet werden.

Bemessung nach Grenzzuständen
Die Methode der Bemessung nach Grenzzuständen geht in differenzierter Weise auf die statistischen Streuungen auf der Materialseite (Festigkeit) und auf der Lastseite (z.B. Wind und Schnee) ein. Darüber hinaus berücksichtigt sie verschiedene Grenzzustände oder Versagensszenarien der Konstruktion. Es werden dabei sowohl die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Lastfalls und dessen Dauer wie auch die Rolle des Bauteils für die Standsicherheit der Konstruktion insgesamt, d.h. auch die Auswirkung eines Bauteilversagens, berücksichtigt.
In der amerikanischen Norm »Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings (ASTM E1300-00)« geht die Lastfalldauer in die Glasbemessung mit ein. Dort werden bei der Glasbemessung kurzzeitig wirkende Lasten, z.B. Wind, mit einem günstigen Faktor bedacht. Besteht die Verglasung aus VSG, so findet darüber hinaus auch der Schubverbund in Abhängigkeit der Lastdauer Eingang in die Bemessung. Die bisher im Bauwesen bei den Werkstoffen Stahl, Holz oder Stahlbeton verwendeten Bemessungskonzepte basierten alle auf der Forderung nach unbedingter Ausfallsicherheit des einzelnen Bauteils unabhängig von der Rolle dieses Bauteils innerhalb der Gesamtkonstruktion. Die strikte Voraussetzung und Anwendung einer derartigen im Flugzeugbau als »safe-life-concept« bezeichneten Bemessungsphilosophie, d.h. ein einheitlich hohes Sicherheitsniveau aller Bauteile einer Konstruktion entspricht eigentlich nicht mehr dem Stand der Technik. Darüber hinaus ist ein »safe-life-concept« bei Glasbauteilen nicht durchzuhalten. Aufgrund der starken Streuungen der Glasfestigkeiten, der Möglichkeit von Spontanbrüchen bei thermisch vorgespannten Gläsern und wegen der vergleichsweise einfachen Zerstörung von Glasbauteilen durch Gewalteinwirkung fällt Glas aber genau in die Gruppe von Baustoffen und Bauteilen, die nicht auf unbedingte Ausfallsicherheit dimensioniert werden können. Es sind demnach beim Bauen mit Glas Bemessungsstrategien zugrunde zu legen, die den Ausfall einzelner Glasbauteile berücksichtigen. Alternativ hierzu ist das Glasbauteil selbst so zu gestalten, dass Ausfallsicherheit möglichst gegeben ist, wobei eine unbedingte Ausfallsicherheit eines Glasbauteils mit den heute zur Verfügung stehenden Möglichkeiten jedoch fast nicht erreicht werden kann.
Bemessungsstrategien, die den Ausfall einzelner Bauteile berücksichtigen, waren im Bauwesen bisher weitgehend unbekannt. Entsprechend groß waren die Schwierigkeiten bei der Entwicklung eines dem Werkstoff Glas angemessenen Bemessungskonzepts. Im Flugzeugbau hingegen hat man schon relativ früh – auch aufgrund von möglichen Gewichtseinsparungen und damit verbundenen Wirtschaftlichkeitsaspekten – eine Unterscheidung in Bauteile, von denen eine unbedingte Ausfallsicherheit (safe-life-concept) gefordert wird und solche mit zugelassenem Versagen, das aber nicht zu einem Versagen der Konstruktion insgesamt führen durfte, eingeführt (fail-safe-concept).
Ein fail-safe-concept erfordert neben der Betrachtung des intakten Tragwerks auch die gezielte und systematische Betrachtung des Ausfalls einzelner Glasbauteile innerhalb eines Tragwerks in Form so genannter Szenarien. In jedem Szenarium wird dabei der Ausfall eines oder mehrerer Glasbauteile angenommen, und es wird gezeigt, dass die Gesamtkonstruktion auch ohne dieses Bauteil noch standsicher ist, d.h. über eine so genannte Reststandsicherheit verfügt. Da sich eine Konstruktion nur temporär im geschädigten, durch Bauteilausfall gekennzeichneten Zustand befindet, können beim Nachweis der Reststandsicherheit größere Verformungen der Konstruktion beziehungsweise ein etwas geringeres Sicherheitsniveau akzeptiert werden. Dieses Konzept findet sich bei Überkopfverglasungen in der »technischen Regel für die Verwendung von linienförmig gelagerter Verglasung (TRLV)« wieder. Demnach darf sich die zulässige Biegezugspannung für die untere Scheibe eines VSG-Systems aus Spiegelglas beim Lastfall »Versagen der oberen Scheibe« um 50 % erhöhen.
Das Verfahren der Bemessung nach Grenzzuständen beinhaltet die im Bauwesen üblicherweise erbrachten Nachweise für die Konstruktion im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit – alle Bauteile des Tragwerkes sind intakt. Dabei muss die Aufnehmbarkeit der im Bauteil herrschenden Spannungen sowie die Einhaltung der Verfor-

mungsbeschränkungen sichergestellt werden. Ebenso ist auch der Nachweis im Bruchzustand (eines oder mehrere Bauteile aus Glas sind geschädigt) zu führen. Dabei muss die Resttragfähigkeit des geschädigten Glasbauteils selbst und dessen vordefiniertes Versagensverhalten nachgewiesen werden. Darüber hinaus ist die Reststandsicherheit des Gesamttragwerks bei Ausfall von Einzelbauteilen zu betrachten. Große Verformungen des geschädigten Bauteils und des Gesamttragwerks sind dabei zulässig.

Resttragfähigkeit

Die Tragfähigkeit einer einzelnen, geschädigten Glasscheibe kann lediglich durch Abstützung und Verkantung der einzelnen Bruchstücke untereinander erfolgen. Diese Resttragfähigkeit einer Einzelscheibe ist daher sehr begrenzt bzw. fast nicht vorhanden.
VSG besteht aus zwei oder mehreren Glasscheiben, die ganzflächig durch zähelastische Zwischenschichten miteinander verbunden sind. Nach eingetretenem Bruch der Glasscheiben besitzen VSG-Systeme zumeist eine gewisse Resttragfähigkeit. Die Zeitdauer, die ein gebrochenes VSG-System in der Lagerung verbleibt, wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst und ist daher vorab sehr schwierig abzuschätzen. Zu diesen Einflussfaktoren zählen die Art der verwendeten Glasscheiben (Floatglas, TVG, ESG), die Art der Lagerung des VSG-Systems, die Geometrie des Schichtaufbaus, die Art der zähelastischen Zwischenschicht(en) (PVB-Folie, Gießharz, SentryGlas Plus Interlayer), die Art und die Geschwindigkeit der Lasteintragung, die Temperatur der einzelnen Schichten des VSG-Systems sowie das Bruchbild infolge der Glasschädigung. Bei einer ungünstigen Überlagerung dieser Faktoren besteht die Gefahr, dass keine hinreichende Resttragfähigkeit der Verglasung vorhanden ist. Diese ist jedoch insbesondere für den Einsatz von Verglasungen im Überkopfbereich sowie bei den begeh- und betretbaren Verglasungen zwingend erforderlich. Ein geschädigtes Glasbauteil darf sich deshalb nicht aus der Konstruktion lösen und z.B. als Ganzes herabstürzen. Dies trifft bei Überkopfverglasungen, bei begeh- und betretbaren Verglasungen oder auch bei Vertikalverglasungen oberhalb von Verkehrsflächen zu. In diesen Fällen muss das einzelne Glasbauteil deshalb selbst eine Resttragfähigkeit besitzen, was beispielsweise im Fall der Überkopfverglasungen üblicherweise zum Einsatz von VSG führt. Die Einzelscheiben dieser VSG müssen dabei so dimensioniert werden, dass jede der Scheiben in der Lage ist, das Gewicht der anderen gebrochenen Scheibe und die gleichzeitig wirkenden äußeren Lasten abzutragen. Dabei sind größere Verformungen und reduzierte Sicherheiten akzeptabel. Für den Fall, dass beide Scheiben einer VSG-Überkopfverglasung gebrochen sind, muss nachgewiesen werden, dass sich eine derart geschädigte VSG-Scheibe innerhalb eines definierten Zeitraums nicht aus ihrer Auflagerung lösen kann bzw. im Bereich der Punkthalterung versagt.

Resttragfähigkeit im Überkopfbereich

Verglasungen, deren Systemebene um mehr als 10° von der Vertikalen abweicht, werden als Überkopfverglasungen bezeichnet. Personen, die sich unterhalb versagender Überkopfglasbauteile befinden, können durch herabfallende Glasbruchstücke erheblich gefährdet werden. Bauteile aus Glas im Überkopfbereich müssen deshalb bei Glasbruch eine zeitlich begrenzte Resttragfähigkeit unter vollem Eigengewicht und einer reduzierten Schneelast gewährleisten.
In den »technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerter Verglasung (TRLV)« und in den noch im Entwurf befindlichen »technischen Regeln für die Bemessung und Ausführung punktförmig gelagerter Verglasung (TRPV)« werden für linienförmig gelagerte Scheiben entsprechende Vorgaben formuliert, bei deren Einhaltung die Notwendigkeit einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) vermieden werden kann. Für eine Glasscheibe im Überkopfbereich kommen im Normalfall nur VSG aus Spiegelglas und/oder TVG bzw. ein Drahtglas infrage. Drahtglas ist nur bei einer Stützweite in Hauptrichtung von bis zu 0,70 m zulässig. Im Definitionsbereich der Richtlinie sind dabei VSG-Scheiben bei Stützweiten >1,20 m allseitig zu lagern, dabei darf das Seitenverhältnis nicht größer als 3:1 sein. Bei Isoliergläsern muss die unten liegende Scheibe des Isolierglases die soeben geschilderten Anforderungen erfüllen. Die oben liegende Scheibe kann ohne Weiteres aus Floatglas bestehen, soweit sie nicht betret- bzw. begehbar ist. Die aktuelle Entwurfsfassung der neuen TRLV sieht zudem noch eine Mindestanforderung an die PVB-Foliendicke von VSG-Systemen vor. Demnach sollen grundsätzlich nur noch PVB-Folien mit 0,76 mm Mindestdicke verwendet werden. Dies soll die Resttragfähigkeit im Überkopfbereich zusätzlich sicherstellen. Lediglich bei allseitiger Lagerung und maximaler Stützweite von 0,80 m ist eine PVB-Folie mit 0,38 mm Dicke ausreichend.
Für punktförmig gelagerte Überkopfverglasungen war bisher aufgrund fehlender bautechnischer bzw. bauaufsichtlicher Regelungen stets die Einholung einer »Zustimmung im Einzelfall (ZiE)« bzw. die Erlangung einer »Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung« erforderlich. Nun sollen die noch im Entwurf befindlichen »technischen Regeln für die Bemessung und Ausführung punktförmig gelagerter Verglasung (TRPV)« Standardfälle abdecken. Das Anforderungsprofil an Überkopfverglasung ist bei punktförmig gelagerter Verglasung höher. So fordert das neue Regelwerk bei Einfachverglasungen immer ein VSG-System aus TVG mit einer Mindestfoliendicke von 1,52 mm. Bisher haben bereits einzelne Bundesländer (z.B. Baden-Württemberg) »Bekanntmachungen über den Verzicht auf Zustimmung im Einzel-

2.2.34

2.2.35

2.2.34 Vergleich der Resttragfähigkeit von bewehrtem und unbewehrtem VSG-System aus ESG
2.2.35 Kohlefaser bewehrtes VSG-System
2.2.36 Glastreppe, Apple Store SoHo, New York
Architekten: Bohlin Cywinski Jackson
Ingenieure: Dewhurst Macfarlane and Partners
2.2.37 Einwirkungen und Verformungen f einer vertikalen Isolierverglasung
a Winddruck W_D
b Überdruck im SZR
c Unterdruck im SZR

fall für die Verwendung bestimmter nicht geregelter Verglasungskonstruktionen« wie z.B. punktförmig gelagerte Überkopfverglasungen veröffentlicht. Bei einem Zustimmungsverfahren im Einzelfall (ZiE) weist man in der Regel experimentell die Stoßsicherheit und die Resttragfähigkeit der Glaskonstruktion nach. Dabei wird ein 40 kg schwerer Stoßkörper aus 80 cm Höhe abgeworfen. Der Stoßkörper darf die Verglasung nicht vollständig durchdringen. Die Resttragfähigkeit der geschädigten Verglasung gilt als nachgewiesen, wenn die Standzeit unter halber Verkehrslast mindestens 30 Minuten beträgt.

Steigerung der Resttragfähigkeit
Um die niedrige Resttragfähigkeit zu verbessern, werden derzeit bewehrte VSG-Systeme entwickelt, die auch bei ungünstigen Bedingungen im Bruchzustand ausreichend belastbar sind. Um die Resttragfähigkeit zu steigern, wird der Bereich der Zwischenschicht, der in den bisherigen Anwendungen meistens aus einer homogenen PVB-Folie besteht, in seiner Dehnsteifigkeit und Zugfestigkeit verbessert. Entweder wird hierfür in die Zwischenschicht eine bewehrungsähnliche Verstärkung eingebettet oder die Zwischenschicht selbst weist eine erhöhte Dehnsteifigkeit und Zugfestigkeit auf, wie z.B. bei einem SentryGlas Plus Interlayer. Als mögliche Bewehrungen eignen sich Gewebe aus hochfesten Synthesefasern oder Edelstahldrähten sowie dünne gelochte Bleche. Auch Glas- und Kohlefaserprodukte lassen sich als Bewehrungselemente in der Zwischenschicht einbetten. Je nach Abstand des Betrachters ist diese Gewebestruktur mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmbar. Durch eine geeignete Auswahl von Drahtdicke und Maschenweite lässt sich sowohl die Gewebefestigkeit als auch die Transparenz des Gewebes steuern, d.h. die Bewehrung kann zusätzlich auch die Funktion des Sonnenschutzes übernehmen und als gestalterisches Element genutzt werden (Abb. 2.2.34 und 2.2.35).

Vertikalverglasungen oberhalb von Verkehrsflächen
Bei stehenden Verglasungen oberhalb von Verkehrswegen, z.B. bei einer mehrgeschossigen Fassade, die direkt an einen Gehweg anschließt, besteht eine ähnliche Art der Gefährdung wie bei den oben genannten Überkopfverglasungen. Die Belastungssituationen der Glasscheiben sind gegenüber denjenigen von Überkopfscheiben jedoch etwas weniger kritisch zu bewerten, da keine permanente Biegebeanspruchung durch Eigengewicht vorliegt. Für einen Spontanbruch kommt deshalb zumeist nur gewaltsame Einwirkung als Bruchursache infrage. Hinweise und Richtlinien für die Konstruktion und die verwendbaren Glasarten geben die »technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Vertikalverglasungen« und DIN 18516 Teil 4 »Außenwandverkleidungen, hinterlüftet – Einscheibensicherheitsglas«. Die technischen Regeln müssen nicht angewendet werden für Verglasungen von Gewächshäusern und für nicht absturzsichernde Vertikalverglasungen, deren Oberkante nicht mehr als 4 m über einer Verkehrsfläche liegt. Damit fallen die meisten Schaufensterverglasungen nicht unter das oben genannte Regelwerk.
Die meisten Verglasungen mit gebohrten, geklebten, gebogenen oder aussteifenden Scheiben sind in den oben genannten Vorschriften derzeit nicht geregelt. Sie benötigen eine Zustimmung im Einzelfall oder eine bauaufsichtliche Zulassung.

Resttragfähigkeit von Bauteilen mit absturzsichernder Wirkung
Fassaden, Fenster, Türen, Brüstungen, Geländerausfachungen und Zwischenwände haben eine absturzsichernde Funktion, wenn sie eine Verkehrsfläche gegen eine tiefer gelegene Ebene abgrenzen. Bei einem Niveauunterschied von mehr als einem Meter zwischen der Verkehrsebene und der tiefer gelegenen Ebene wird für die Scheiben eine genau definierte absturzsichernde Wirkung gefordert. Für Glasbauteile mit absturzsichernder Wirkung gelten die »technischen Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen (TRAV)«, die die Anforderungen an die Verglasung und die Durchführung der Versuche regeln.

Absturzsichernde Verglasungen lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- A Absturzsicherung nur durch die Verglasung ohne tragenden Brüstungsriegel oder vorgesetzten Holm
- B Absturzsicherung durch die Verglasung, deren Einzelscheiben durch einen aufgesteckten, durchgehenden Handlauf verbunden sind
- C Absturzsicherung, die nicht zur Abtragung von Horizontallasten in Holmhöhe, sondern lediglich zur Ausfachung dient. Diese Kategorie ist in die Gruppen C1, C2 und C3 unterteilt

Für Kategorie A können bei Einfachverglasung nur VSG, bei Isolierverglasungen als innere, d.h. der stoßzugewandten Seite ebenfalls VSG oder ESG zur Anwendung kommen. Besteht bei Isolierverglasungen die Angriffsseite aus VSG, so dürfen für die äußere Scheibe alle Glasprodukte verwendet werden. Für alle Einfachverglasungen der Kategorien B und C darf nur VSG benutzt werden. Lediglich bei allseitiger linienförmiger Lagerung dürfen bei den Untergruppen C1 und C2 auch ESG-Verglasungen eingesetzt werden. Für Isolierverglasungen gelten die Regeln der Kategorie A. Für alle Kategorien A–C ist die Tragfähigkeit unter statischen Einwirkungen und stoßartigen Belastungen nachzuweisen. Die Nachweisführung der Tragfähigkeit unter stoßartigen Einwirkungen erfolgt meist im Pendelschlagversuch. Hierbei trifft ein Pendel gegen die Ver-

glasung, wobei die Pendelfallhöhe und die Auftreffstelle je nach Kategorie variieren. Beim experimentellen Nachweis ist die Verglasung mit ihren unmittelbaren Befestigungen, z.B. Klemmleisten, Verschraubungen, zu verwenden. Das eingesetzte Pendel besteht aus einem Zwillingsreifen unter 4 bar Druck. Analog zur TRLV wird z.B. in der amerikanischen Norm »American National Standard for Safety Glazing in Buildings (ANSI Z97.1)« der Pendelschlagversuch mit einem gefüllten Lederball definiert, um den weichen Stoß abzubilden.

Betretbare und begehbare Glasflächen

Bei betretbaren Glasflächen handelt es sich um Flächen, die ausschließlich zu Reinigungs- und Wartungsarbeiten betreten werden. Dies erfolgt unter Einhaltung einer Höchstlast nur von entsprechend eingewiesenem Personal und in größeren zeitlichen Abständen. Das Betreten der Verglasung erfolgt üblicherweise nur von einer Person mit geeignetem gereinigtem Schuhwerk und mitgeführtem Werkzeug von höchstens 4 kg und wassergefülltem 10-Liter-Kunststoffeimer. Daher muss ein statischer Nachweis einer Einzellast von 1,5 kN auf einer Aufstandsfläche von 10 x 10 cm in ungünstiger Laststellung erbracht werden. Weitere Anforderungen wie Absturz- und Seilsicherung des Wartungspersonals, Rutschsicherung und Schutz des Verkehrsraums sind den Regelungen der Berufsgenossenschaften zu entnehmen. Betretbarkeit, d.h. Zugänglichkeit zu Wartungszwecken, sollte bei allen Horizontalverglasungen ermöglicht werden.

Bei begehbaren Glasflächen handelt es sich um Flächen, die allgemein zugänglich sind und die deshalb sowohl höhere Lasten als auch entsprechende Verschmutzungen bzw. Kratzer aufnehmen müssen. Meistens handelt es sich dabei um begehbare Überkopfverglasungen wie z. B. Treppenstufen, Podeste oder Glasfußböden (Abb. 2.2.36). Um den Anforderungen zu genügen, bestehen diese Verglasungen in der Regel aus VSG mit mindestens drei Glasschichten, wobei die oberste lediglich als dünne Verschleißscheibe dient und meist als statisch nicht tragend angesetzt wird. Im gebrochenen Zustand ist eine zeitlich begrenzte Resttragfähigkeit mit reduziertem Sicherheitsniveau nachzuweisen.

Bei begehbarem Glas sind die Rutschsicherheit – insbesondere bei feuchten Umgebungsbedingungen – sowie Abnutzungseffekte zu beachten. Auf die oberste Glasplatte sollte deshalb stets eine rutschfeste Bedruckung oder eine aufgeraute Oberfläche aufgebracht werden.

Bemessung von Isolierverglasung

Isolierverglasungen besitzen infolge des eingeschlossenen Gasvolumens zwischen den beiden Glasscheiben eine zusätzliche statische Einwirkungsgröße. Die Wirkung infolge Druckdifferenzen, die sich aus Veränderung der Temperatur, des meteorologischen Luftdrucks sowie aus der Differenz der Ortshöhe zwischen Herstellungs- und Einbauort ergeben, ist nicht zu vernachlässigen. Diese zusätzliche – oft als Klimalast bezeichnete – Einwirkungsgröße muss bei der Bemessung mit den äußeren Lasten überlagert werden. Dabei ist für allseitig rechteckig gelagerte Glasscheiben die Lastabtragung der inneren und äußeren Scheibe gemäß ihrer Anteile an der Gesamtbiegesteifigkeit und in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses aufzuteilen. Werden nun VSG- bzw. VG-Scheiben im Isolierglasaufbau verwendet, so muss zur Bestimmung der Biegesteifigkeiten jeweils voller und kein Schubverbund zwischen den Einzelscheiben angesetzt werden. Beide Grenzzustände des Schubverbunds sind bei der Nachweisführung zu berücksichtigen. Die Frage der Anteile an der Lastabtragung bei punktgehaltenen Isolierglasscheiben mit nicht rechteckiger Geometrie ist derzeit noch nicht geregelt. Die Schubkopplung über den Randverbund von Isolierglasscheiben darf bei Trag- und Gebrauchssicherheitsnachweisen laut TRAV nicht berücksichtigt werden. Die Durchbiegungsbegrenzungen der Isolierglashersteller sind zu beachten, um die Dauerhaftigkeit und die Dichtigkeit des Randverbundes sicherzustellen und somit ein Erblinden der Isolierglasscheibe oder ein Entweichen der Edelgasfüllung zu verhindern. Eine Isolierglasscheibe bezeichnet man als blind, wenn Feuchtigkeit in den Scheibenzwischenraum (SZR) eindringt, sich dort als Kondensat niederschlägt und somit die Durchsicht beeinträchtigt. Bei weichen Unterkonstruktionen ist daher auf die maximal zulässige Verformung und Verwindung der einzelnen Isolierglasscheiben zu achten, damit der Randverbund nicht übermäßig belastet wird (Abb. 2.2.37).

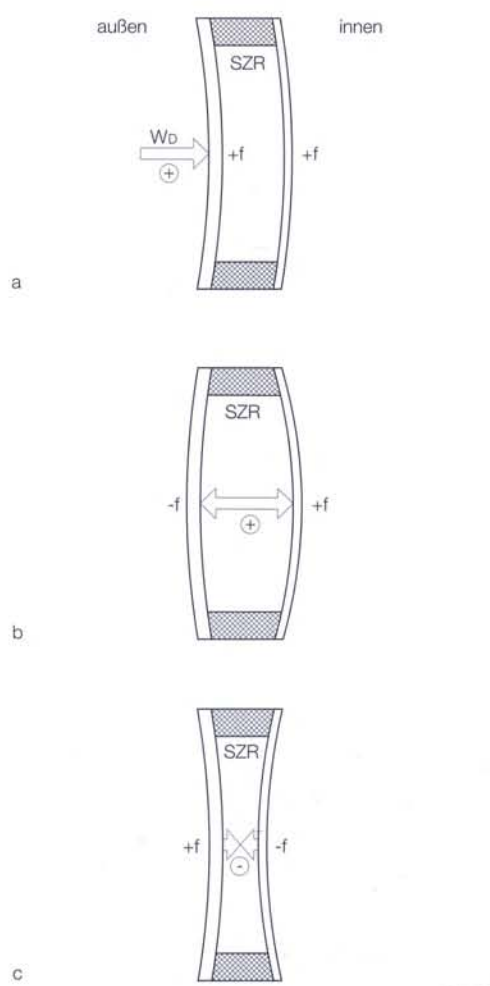
Angriffshemmende Verglasungen

Das wachsende Bedürfnis vieler Bauherren nach Schutz vor Bedrohungen und dem gleichzeitigen Wunsch nach Transparenz fördert die Entwicklung von angriffshemmenden Verglasungssystemen. Dabei unterscheidet man die Verglasungen hinsichtlich einer mutwilligen zerstörerischen Einwirkung in folgende Widerstandsklassen gemäß EN:

- Durchwurfhemmende Verglasung – Widerstandsklasse P
- Durchbruchhemmende Verglasung – Widerstandsklasse P
- Durchschusshemmende Verglasung – Widerstandsklasse BR
- Sprengwirkungshemmende Verglasung – Widerstandsklasse ER

In Abhängigkeit von der Belastung besteht eine angriffshemmende Verglasung aus einem mehrschichtigen, meist asymmetrischen VSG, das sich z.B. aus vorgespannten Glasscheiben, Kunststoffscheiben und zähelastischen Zwischenschichten zusammensetzt. Die Rahmenkonstruktionen müssen den gleichen Anforderungen genügen. Tiefe Glaseinstände

2.2.36



2.2.37

und Klammervorrichtungen werden verwendet um das Glas im Rahmen halten zu können. Auch weit entfernt vom Explosionsort sind die Verletzungsgefahren infolge von umherfliegenden Glassplittern sehr hoch. VSG-Systeme sind geeignet diesen Splitterflug zu minimieren und eine gewisse Resttragfähigkeit zu erzielen. Einerseits versucht man den enormen Belastungen durch Verstärkungen der Glasaufbauten und Rahmensysteme zu trotzen, andererseits haben gerade flexible und nachgiebige Seil- und Seilnetzfassaden sehr viel versprechende Ergebnisse bei Explosionsversuchen geliefert. Die Energie der Druckwelle wird hier in Bewegungsenergie der Fassade umgewandelt, die wiederum gleichzeitig dämpfend wirkt. Generell kann ein entsprechendes Verglasungssystem die Folgen eines Angriffs nur minimieren, aber nicht verhindern.

Tragwerke

Tragwerkstypen

Jedes Bauteil innerhalb eines Gebäudes hat die Fähigkeit und manchmal auch die Funktion, Lasten und Kräfte abzutragen. Eine leichte Trennwand trägt ihr Eigengewicht und eventuelle Anpralllasten, eine Fensterscheibe trägt eine Windlast auf ihren Rahmen ab. Ein Gebäudekern wird im Wesentlichen zur Abtragung der auf ein Bauwerk wirkenden Wind- und Erdbebenlasten sowie eines Anteils der Eigengewichtslasten herangezogen. Die Summe aller tragenden und miteinander gekoppelten Einzeltragwerke bildet somit ein sehr komplexes System.

Hierarchische Systeme

Zum leichteren Verständnis und zur besseren Analysierbarkeit dieses komplexen Systems strukturiert man ein Gesamttragwerk in einzelne, hierarchisch aufgebaute Teilsysteme. Das so genannte Primärtragwerk besteht dabei aus der Summe derjenigen Teile, die für die Abtragung aller an einem Gebäude wirkenden Kräfte einschließlich des Eigengewichtes herangezogen werden. Ein Versagen des Primärtragwerks ist mit einem Einsturz des Gesamtbauwerks verbunden. In das Primärtragwerk ein- oder angebaut ist eine Reihe von Sekundärtragwerken. Deren Versagen bewirkt jeweils nur einen Teileinsturz, das Gesamtbauwerk bleibt jedoch standsicher. Je nach Größe und Komplexität des Bauwerks können die Tragwerke noch weiter bis hin zu Tertiärtragwerken hierarchisiert werden.
Im Hochbau besteht die typische Hierarchie aus folgenden Bestandteilen: Primär, Sekundär- und Tertiärtragwerk.
Unter Primärtragwerk versteht man z.B. den tragenden Kern und alle zur Abtragung von Horizontal- und Vertikallasten herangezogenen Stützen, Scheiben, Decken und Auskreuzungen.
Das Sekundärtragwerk setzt sich aus BAuteilen zusammen, die nicht Bestandteil des Primärsystems sind, z.B. Einbauten, Trennwände, Dachaufbauten, Anbauten und Fassadenelemente.
Zu Tertiärtragwerken gehören alle Konstruktionen, die Teile der Sekundärtragwerke sind und von deren Standsicherheit die Standsicherheit der Sekundärtragwerke selbst nicht abhängt, also z.B. das Fenster innerhalb eines Fassadenelements.

Arbeitsteilige Systeme

Man kann Tragwerke so entwerfen, dass bestimmte Elemente dieser Tragwerke nur zur Abtragung ganz bestimmter Lasten herangezogen werden. Einzelne Teile oder Teilstrukturen übernehmen jeweils ganz eindeutig definierte Aufgaben; dies wird als arbeitsteiliges System bezeichnet. Im Hochbau wird beispielsweise sehr häufig die Abtragung der Vertikallasten von Stützen, die Abtragung von Horizontallasten von Wänden geleistet. In einer durch vertikale Glasschwerter ausgesteiften abgehängten Glasfassade werden die (vertikalen) Eigengewichtslasten durch die Glasscheiben, die (horizontalen) Windlasten durch die Schwerter abgetragen.
Im Glasbau werden arbeitsteilige Systeme sehr häufig realisiert. Die Lastabtragung der Einzelbauteile ist klar definiert, dadurch werden Zwangsbeanspruchungen für das Glas vermieden. Zwar kann die Konstruktion nach einem Teilversagen nicht mehr alle Lasten aufnehmen, für kurze Zeiträume – beispielsweise bis zu einer Reparatur – ist dies aber in der Regel hinnehmbar. Nutzungseinschränkungen sind dabei unter Umständen zu akzeptieren. Daher ist eine definierte Restragfähigkeit für solche Bauteile unabdingbar.

Redundante Systeme

Ein System ist redundant, wenn beim Ausfall eines Elements dessen Aufgaben von anderen Elementen übernommen werden können. Der Versagensmechanismus entspricht also dem »fail-safe-concept«.
Dabei ist der gezielte Einbau von Redundanzen bzw. der gezielt auf Herstellung von Redundanzeffekten ausgerichtete Entwurf bei Strukturen mit Bauteilen aus Glas von elementarer Bedeutung.

Sonstige Systeme

Wenn sich weder eine Hierarchie noch eine Arbeitsteilung der Teilstrukturen etablieren lässt, ist eine optimierte Auslegung der Bauelemente sehr schwierig. Die statisch unbestimmten Tragwerke sind ein gutes Beispiel hierfür: Die Beanspruchungen der einzelnen Elemente können für die verschiedenen Lastsituationen und Versagenszustände nur durch sehr aufwendige Berechnungen ermittelt werden. Darüber hinaus ist die Empfindlichkeit gegenüber Zwangsbeanspruchungen aus Temperatur- und Verformungslastfällen groß. Glasbauteile ziehen aber wegen ihrer großen Steifigkeit Zwangsbelastungen geradezu an, um diesen anschließend infolge von Sprödbruchempfind-

lichkeit zum Opfer zu fallen. Es ist also darauf zu achten, dass bei statisch unbestimmten Konstruktionen mit einzelnen Bauteilen aus Glas keine Zwangsbeanspruchungen in die Glasbauteile eingeleitet werden und dass keine ungewollte bzw. unkontrollierbare Redundanz in der Konstruktion entsteht, die zu einer Überbelastung der Glasbauteile führt.
Als Ausnahme der soeben aufgestellten Regel seien die filigranen eisernen Gewächshauskonstruktionen des 19. Jahrhunderts genannt. Ihr filigranes Primärtragwerk aus Metall wird durch zahllose kleine Glasscheiben ausgesteift. Hierdurch entsteht ein leistungsfähiges, komplexes, statisch hochgradig unbestimmtes und rechnerisch eigentlich nicht simulierbares Tragwerk. Die Einzelscheiben dieser Konstruktionen sind mit einem quasi festen, aber dennoch etwas nachgiebigen Kitt eingefasst und bilden so eine Unzahl von miteinander vernetzten Lastwegen. Tragwerke wie diese eisernen Gewächshauskonstruktionen erscheinen aus heutiger Sicht etwas abenteuerlich, weil in statisch undurchschaubarer Weise ein Metallgerippe durch Glas und Kitt stabilisiert wird. Trotzdem gibt es eine Erklärung für diese überaus sinnvolle und bisher ja auch erfolgreiche Konstruktionsart, wenn man ergänzend auf die Begriffe der Redundanz und der Reststandsicherheit zurückgreift. Die Redundanz ist gegeben, da beim Versagen einer Einzelscheibe nur eine statisch unbedeutende Fehlstelle in der Schale entsteht. Die Reststandsicherheit dieser Tragwerke ist ausgezeichnet, da die kleinen Scheiben beim Bruch in der Kittfase haften bleiben und kaum eine Gefährdung im Überkopfbereich darstellen. Der Nachweis, dass infolge einer derartigen Schädigung keine Kette von Folgebrüchen auftritt, wäre allerdings rechnerisch oder experimentell nur mit großem Aufwand zu erbringen.

Tragende Bauteile aus Glas

Stäbe und Stützen

Stäbe sind lineare Bauteile, deren Abmessungen in zwei Richtungen klein und in einer, der Längenrichtung, groß sind und die ausschließlich axial, also durch eine Normalkraft, beansprucht werden. Das können z.B. auf Druck oder Zug beanspruchte Fachwerkstäbe sein. Druckstäbe in seilverspannten Tragwerken bezeichnet man als Spreizen, vertikal stehende Druckstäbe oft als Stützen. Bei der Bemessung von Druckstäben ist in der Regel die Stabilität des Bauteils maßgebend, bei Zugstäben hingegen meist die Festigkeit des Werkstoffs, insbesondere im Bereich des Anschlussdetails.

Glasstäbe mit einteiligem Querschnitt

Aus Floatglas bestehende Streifen haben eine maximale Dicke von 19 mm, in Sonderfällen bis zu 25 mm. Druckstäbe mit einer maximalen Schlankheit von 1:50 können also aus einfachem Floatglas nur bis zu einer Höhe von ca. 1 m ausgeführt werden. Für Druckstäbe bietet sich also der Einsatz von Glasrohren oder von massiven gegossenen Glasstangen an.

Glasstäbe aus zusammengesetzten Querschnitten
Durch Kombination einzelner Glasstreifen oder -teile lassen sich interessante und leistungsfähige Druckstützen herstellen.

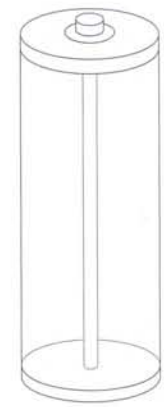
Die Fügung der einzelnen Streifen zu einem zusammengesetzten Querschnitt erfolgt entweder über das Kleben von Glas an Glas, das Kleben der Glasstreifen an metallische Verbindungsprofile oder die punktförmige Verbindung der Streifen über Punkthalter.

Glasstäbe in Kombination mit anderen Werkstoffen
Trotz der in den vergangenen Jahren erzielten Fortschritte ist die Verwendung von Glas für Zug- und Druckstäbe immer noch eingeschränkt. Dies liegt an der begrenzten Stückgröße der Halbzeuge und an den Tragfähigkeitsverlusten bei Glasbruch. Es bietet sich deshalb an, durch die Kombination von Glas mit Kunststoff, Metall oder auch Holz die spezifischen Nachteile einer Nur-Glas-Konstruktion zu umgehen und so wesentlich leistungsfähigere Konstruktionen zu ermöglichen. Das zentrische Vorspannen von monolithischen oder aus gebogenen Tafeln bestehenden Glasrohren ist eine weitere sehr elegante Möglichkeit, die Anwendungsgrenzen des Baustoffs hinauszuschieben. Durch die zentrische Vorspannung (Abb. 2.2.38) wird dabei der gesamte Glasquerschnitt unter Druck gesetzt, wodurch ein stumpfer Stoß der einzelnen Teile lediglich über Kontakt möglich wird. Eine axiale Zugbeanspruchung wird durch Abbau der Druck(vor)spannung abgetragen. Diese vorgespannten Glasrohre kamen bereits bei einer Atriumfassade und als Fachwerkstäbe bei Glasbrücken und Tensegrity-Strukturen zum Einsatz (Abb. 2.2.39)

Träger und Balken

Träger, die im Fall einer massiven Ausführungsform auch als Balken bezeichnet werden, entsprechen geometrisch den Stäben. Im Gegensatz zu diesen werden Träger und Balken aber auf Biegung und Querkraft beansprucht. Zusätzlich können auch Normalkräfte in der Stabachse wirken. Je nach Richtung der Lasteinwirkung unterscheidet man zwischen Längs- und Querbiegung, wobei beide Beanspruchungsarten natürlich auch gleichzeitig auftreten können. Bei exzentrischer Belastung wird der Träger zusätzlich auf Torsion beansprucht.

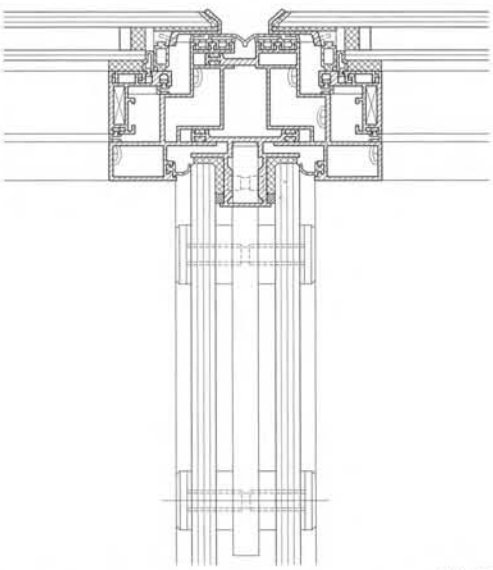
Ebene Glasträger – Glasschwerter
Bei Glasträgern erfolgt die Hauptbeanspruchung meistens durch die Biegung um die starke Achse. Hierdurch werden vor allem die Glaskanten beansprucht. Bei normal bearbeitetem Floatglas ist die Festigkeit an der Kante im Allgemeinen noch geringer als in der Fläche. Es wird deshalb meist mit vorgespanntem Glas gearbeitet. Zwar kann man durch eine Vergrößerung der Bauhöhe die auftretenden Biege-



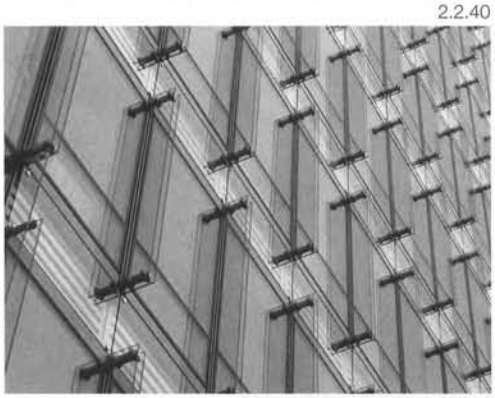
2.2.38

2.2.38 zentrisch vorgespanntes Glasrohr
2.2.39 Atriumfassade, Tower Place, London
Architekten: Foster and Partners, James Carpenter
Ingenieure: Ove Arup& Partners

2.2.39

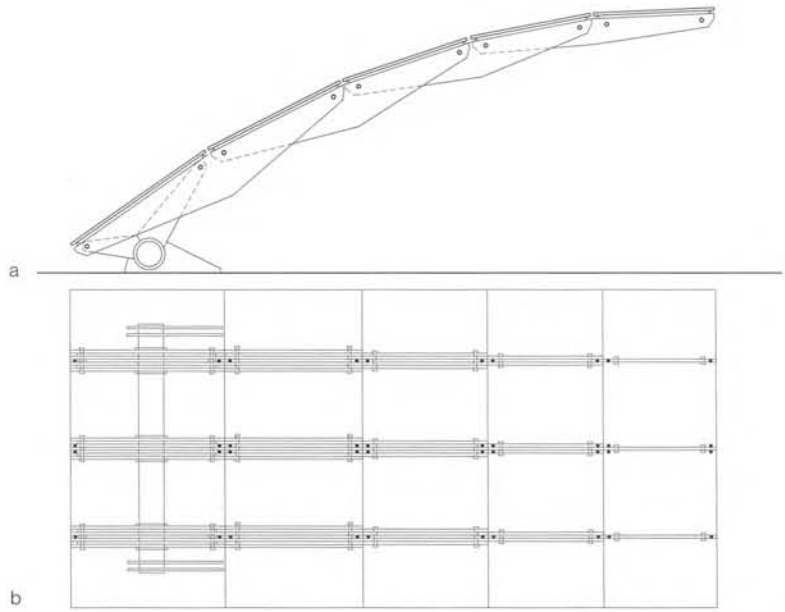


2.2.40



2.2.41

2.2.42



2.2.43

2.2.40 außen liegende Glasschwerter, Ministeriumsgebäude der EU, Brüssel
Architekten: Murphy/Jahn
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

2.2.41 Isolierglasfassade mit tragenden Glasschwertern, Ministeriumsgebäude der EU, Brüssel
Architekten: Murphy/Jahn
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

2.2.42 Glasschwertfassade kombiniert mit Stahlprofilen, Façade Ville, Flughafenterminal Charles de Gaulles, Paris
Architekten: ADP
Ingenieure: Rice Francis Ritchie (RFR)

2.2.43 Glasdach ca. 9 m auskragend, Tokyo International Forum
Architekt: Rafael Viñoly
Ingenieure: Dewhurst Macfarlane and Partners
a Grundriss, Maßstab ca. 1:125
b Schnitt, Maßstab ca. 1:125

zugspannungen reduzieren, gleichzeitig erhöht man dabei aber die Gefahr eines Stabilitätsversagens durch Wegdrehen des Querschnitts (Trägerkippen).
Sehr lange Glasschwerter müssen aus mehreren Teilen zusammengefügt bzw. gestoßen werden. Dies erfolgt z.B. mit Reibverbindungen, mit Punkthaltern oder Verklebungen (Abb. 2.2.40 und 2.2.41).
Eine hohe Reststandsicherheit lässt sich insbesondere durch die Eröffnung einer möglichen Kräfteumlagerung im Gesamtsystem erzielen, z.B. durch die Kombination einer Fassade mit Glasschwertern und schlanken Stahlquerschnitten. Die »Façade Ville« am neuen Flughafenterminal Charles de Gaulle in Paris wird von 12 m hohen Glasschwertern gehalten. Sie bestehen aus drei je 19 mm starken ESG-Elementen, die mit Klemmplatten verbunden sind. Diese Primärstruktur wird ergänzt durch eine äußerst filigrane Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Stahl (Abb. 2.2.42). Bei Glasbruch verformt sich das System sehr stark, dennoch können das Eigengewicht und eine mittlere Windlast weiterhin abgetragen werden. Bei Winddruck wird die außen liegende freie Kante auf Druck beansprucht. Es handelt sich hier nicht um ein Festigkeits-, sondern ausschließlich um ein Stabilitätsproblem. Über die horizontalen Traversen (Riegel) wurde deshalb eine Einspannung des Glasschwerts realisiert, wodurch die charakteristische wellenförmige Knickfigur entsteht.

Glasträger aus zusammengesetzten Querschnitten

Durch Zusammensetzen einzelner monolithischer Glasquerschnitte können äußerst effektive und leistungsfähige Querschnitte hergestellt werden (Abb. 2.2.43). Auf diese Weise lassen sich die zur Abtragung von Biegung sehr geeigneten Querschnitte oder auch Hohlkastenquerschnitte zusammensetzen. Derartige Querschnitte verfügen nicht nur über wesentlich mehr Material in der zugbeanspruchten Zone, sondern sie sind aufgrund ihrer Breite und ihrer wesentlich höheren Querbiege- bzw. Torsionssteifigkeit weit weniger stabilitätsgefährdet als die aus Glas herstellbaren einteiligen Querschnitte. Die Auflagerung erfolgt bei Glasträgern aus zusammengesetzten Querschnitten über ein Drucklager mit Kontakt über eine elastische und dauerhafte Zwischenlage, über Punkthalterung oder Reibungsschlussverbindungen insbesondere der Stege.

Glasträger in Kombination mit anderen Werkstoffen

Wenn das druckfeste, spröde Glas durch einen zugfesten, duktilen Werkstoff ergänzt wird, können die im Träger auftretenden Zugkräfte – insbesondere im Bruchzustand – sicher aufgenommen werden. Hierdurch werden viele Glastragwerke überhaupt erst möglich. Das Glas übernimmt im Wesentlichen die Druckkräfte in der Druckzone des Trägers sowie die in den Stegen herrschenden Zug- und Druckspannungen. Durch Vorspannung des Glasquerschnitts bleibt dessen Tragfähigkeit auch im Risszustand erhalten. Eine Vielzahl unterschiedlicher Ausführungsformen ist möglich (Abb. 2.2.44).
Einerseits lassen sich die Träger in einzelne punktförmig verbundene Glasscheiben mit einer Unterspannung aus Metall oder faserarmiertem Kunststoff auflösen. Andererseits eignen sich auch Träger aus mehrlagigem VSG mit gekrümmter Unterkante und einem in einer Nut verlaufenden Seil oder einem auf einer Zwischenlage aufgelegten bandförmigen Zugelement aus Metall oder CFK. Bei den letztgenannten Trägern liegen die Glasstege ohne Verbund auf dem Zugelement auf. Die Zugkraft wird erst im Auflagerbereich verankert. Besonderes Augenmerk gilt der Einleitung dieser Kräfte in den Glasträger (selbstverankerter Träger) oder in das Auflager (auflagerverankerter Träger). Die vertikalen Auflagerkräfte werden üblicherweise über ein Drucklager (Kontakt über eine Zwischenlage) mit Kippsicherung (Gabellagerung) in die Unterkonstruktion abgetragen.

Die Herstellung von Verbundträgern aus Glas und anderen Werkstoffen wird derzeit erforscht. So werden beispielsweise Verbundquerschnitte mit Hochleistungsbeton (HPC), Holz, Edelstahl, Titan oder Kunststoffen (z.B. GFK) erprobt.

Platten

Unter einer Platte versteht man ein ebenes Tragwerk, dessen Abmessungen in zwei Richtungen groß und in einer – der Dicke – klein sind. Sie wird durch Kräfte senkrecht zur Plattenebene beansprucht. Platten haben also die gleiche geometrische Erscheinungsform wie Scheiben, unterscheiden sich von diesen jedoch durch die Richtung der Lasteinwirkung und besitzen infolgedessen ausgeprägte Biegebeanspruchungen.

Einlagige Platten

Die einlagige Platte, also eine einzelne Scheibe aus Floatglas, ESG oder TVG, ist die am häufigsten verwendete Glasscheibe mit Plattentragwirkung. Jede Fensterscheibe wirkt unter Windbelastung als Platte und nicht als Scheibe. Sie überträgt die äußeren (Wind-)Lasten über Biegung auf die linienförmigen Auflager des Fensterrahmens. Als biegebeanspruchte Bauteile sind Glasscheiben jedoch außerordentlich dünn: Eine Fensterscheibe aus Floatglas mit den Abmessungen 1 × 1 m ist bei einer mittleren Windbelastung von 0,8 kN/m² nur 6 mm dick. Dies entspricht einem Verhältnis von Bauteildicke zu Spannweite von 1:160.

Vierseitig linienförmig gelagerte Rechteckplatten, deren Abmessungen das Seitenverhältnis 1:2 nicht unterschreiten, tragen äußere Belastungen noch zweiachsig ab. Ab einem Seitenverhältnis von ungefähr 1:2 beginnt im mittleren Bereich der Platte eine einachsige Lastabtragung mit entsprechend höherer statischer Beanspruchung derselben.

Aus tragwerksplanerischer Sicht sollten demnach bei vierseitiger Linienlagerung Plattenformate mit Seitenverhältnissen von 1:2 nicht unterschritten werden.

Wenn die Durchbiegung einer vierseitig gelagerten Platte sehr groß wird, d.h. größer als die Plattendicke, dann bildet sich in der Scheibe eine Membrantragwirkung aus. Im Randbereich entsteht dabei eine ringsumlaufende Druckzone – ein so genannter Druckring – in der Glasplatte. Die Platte wird dann nicht länger ausschließlich auf Biegung beansprucht, sondern die Lasten werden zunehmend, wie bei einer gespannten Membran oder einem hängenden Tuch, über Normalkräfte abgetragen (Abb. 2.2.45). Gleichzeitig nehmen die Verformungen nicht mehr so stark zu: Die Platte wird scheinbar steifer, sobald sie in eine Membrantragwirkung übergeht.

Bei derartigen Platten liefert eine Berechnung mithilfe der linearen Plattentheorie Spannungsergebnisse, die zu weit von der Realität abweichen. Die zu großen Biegezugspannungen führen zu relativ großen Bauteildicken. Hess hat dies erstmals und umfassend dargelegt und gezeigt, dass man insbesondere bei größeren bzw. relativ dünnen Scheiben durch Anwendung der Theorie großer Verformungen zu schlankeren Abmessungen und einer sehr wirtschaftlichen Bauteilauslegung gelangt.

Bei zweiseitiger Lagerung kann sich keine Membrantragwirkung ausbilden, solange die Glasplatte nicht beidseitig unverschieblich (senkrecht und parallel zu ihrem Rand) gehalten wird, was man jedoch aufgrund der mit einer Temperaturänderung einhergehenden Effekte vermeiden sollte. Bei verschieblicher Lagerung wird die Platte ausschließlich auf Biegung beansprucht.

Bei der punktförmigen Lagerung einer Platte werden gegenüber einer linienförmig gelagerten Platte gleicher Abmessungen die Biege- und Querkraftbeanspruchungen sowie die Verformungen größer. Die großen Querkräfte treten im Bereich der Punkthalterung auf und bestimmen unter anderem die Größe des Punkthalters.

Eine punktförmige Lagerung führt im Vergleich zur Linienlagerung generell zu größeren Glasdicken.

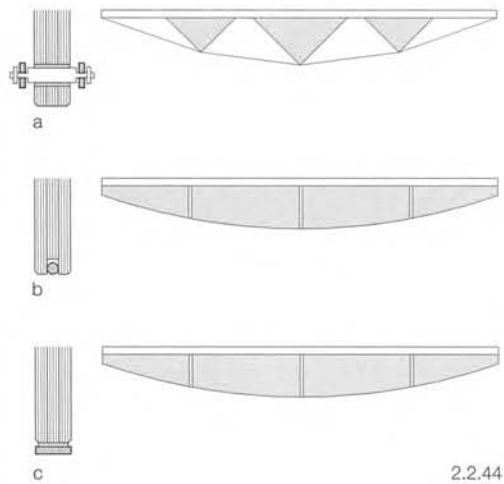
Mehrlagige Platten

Mehrlagige oder geschichtete Platten bestehen aus Einzelplatten, die lose übereinander gelegt oder flächig verklebt werden (Abb. 2.2.46). Das mechanische Verhalten schubfest verbundener Glasscheiben hängt, ähnlich wie bei anderen Verbundkonstruktionen (Holzbau, Sandwichkonstruktionen im Leichtbau), entscheidend von der Schubsteifigkeit und der Schubtragfähigkeit der Zwischenschicht ab. Dabei sind die Anforderungen an die Zwischenschicht teilweise gegenläufig: Eine möglichst hohe Steifigkeit wirkt sich günstig auf das Biegetragverhalten aus, während beim Bruch einer oder mehrerer Scheiben eine hohe Zähigkeit der Zwischenschicht – und damit ein Zusammenhalt der teilweise gebrochenen Scheiben – vorteilhaft ist.

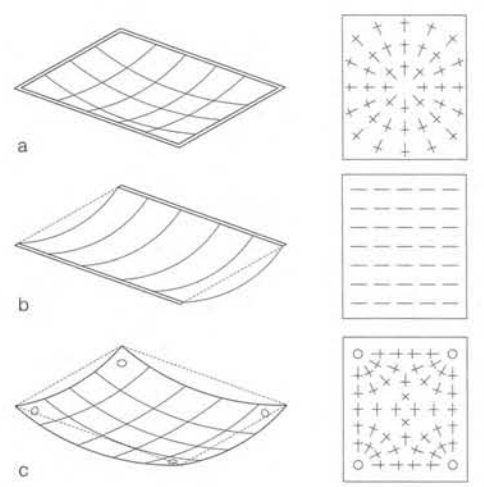
Man spricht von Verbundsicherheitsglas (VSG) nur dann, wenn durch das Verbundbauteil bestimmte Anforderungen an die Haftung und Splitterbindung erfüllt werden. Ist dies nicht der Fall, so werden die Laminate als Verbundgläser (VG) bezeichnet.

Die Eigenschaften der üblicherweise transparenten Zwischenschichten sind in weiten Bereichen steuerbar, generell jedoch ist eine hohe Steifigkeit mit einer Abnahme der Schlagzähigkeit und damit der Splitterbindung verbunden. Die für die Herstellung von VSG am häufigsten verwendete Folie besteht aus Polyvinyl-Butyral (PVB). Da es sich bei dieser Folie um einen Thermoplast handelt, hängt das Tragverhalten der Folie und damit das Tragverhalten des Verbundbauteils stark von der Lasteinwirkungsdauer und der Bauteiltemperatur ab.

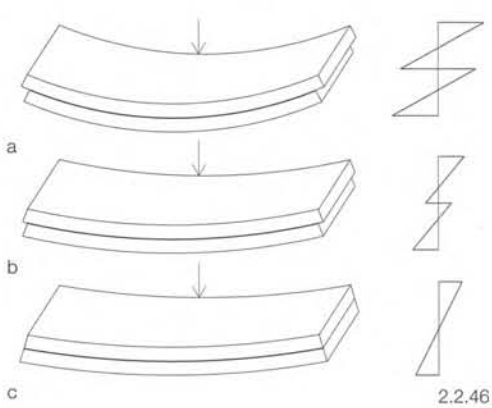
Sollten die Platten ohne Verbund nur lose übereinander geschichtet sein, so würde jede Platte einen ihrer Biegesteifigkeit entsprechenden Anteil aus der Gesamtbelastung abtragen. Zwischen zwei übereinander liegenden, einachsig über die Länge l gespannten Platten der Dicke



2.2.44



2.2.45



2.2.46

2.2.44 zugverstärkter Glasträger
- a aufgelöst
- b Zugelement in Nut
- c Zugelement bandförmig

2.2.45 Verformungsverhalten und Hauptspannungsrichtungen bei
- a vierseitig
- b zweiseitig
- c punktförmig gelagerten Platten

2.2.46 Verformungsverhalten und Spannungsverlauf bei
- a lose aufeinander liegenden Platten
- b elastischem Verbund von VSG-Platten
- c starrem Verbund bzw. monolithischer Platte

t_1 und t_2 würde eine äußere Last q also im Verhältnis $(t_1/t_2)^3$ aufgeteilt werden. Die maximale Spannung (symmetrischer Aufbau $t_1 = t_2 = t/2$) wäre dann $\sigma = 1{,}5\ q\ (l/t)^2\ N/mm^2$.
Ohne Verbund werden z.B. transluzente oder opaleszierende Gläser mit einer lose eingelegten Papier- oder Gazeeinlage hergestellt, die nur am Rand verklebt sind.
Würde man zwei übereinander liegende Platten schubfest miteinander verbinden, so könnten diese die Belastung nicht mehr separat und anteilig, sondern integral abtragen. Die maximale Spannung wäre dann $\sigma = 0{,}75\ q\ (l/t)^2\ N/mm^2$, die Verformungen würden um den Faktor 4 reduziert werden, was einer enormen Effektivitätssteigerung gleichkäme.
Das ursprüngliche Ziel, das mit der Einführung von VSG erreicht werden sollte, bestand in der Schaffung einer Reststandsicherheit für den Fall des Versagens einer einzelnen Scheibe. Durch die Verklebung wird zusätzlich auch eine integrale Tragwirkung wie oben geschildert möglich. So gibt es bereits Bemessungsverfahren für Verbundglasplatten, die das Zusammenspiel von temperatur- und zeitabhängigem Schubverbund und Membrantragwirkung beinhalten. Dies führt zu einer wirtschaftlicheren Bauteilauslegung. Während allerdings in Deutschland eine integrale Tragwirkung der durch eine PVB-Folie miteinander verbundenen Scheiben prinzipiell nicht angesetzt werden darf, machen andere Länder von dem wissenschaftlich nachgewiesenen Effekt umfassend Gebrauch. Gerade im Bereich von Überkopfverglasungen, die in Deutschland zwingend aus VSG auszuführen sind, könnte bei Übernahme dieser Regelungen bzw. bei Zugrundelegung einer von der Bauteiltemperatur und der Lasteinwirkungsdauer abhängigen Schubübertragung zwischen den Scheiben die Dicke der einzubauenden Gläser reduziert werden. Der Bereich der Zwischenschicht in einem VSG-System besteht in den bisherigen Anwendungen meistens aus einer homogenen PVB-Folie, deren Resttragfähigkeit durch eingebettete bewehrungsähnliche Verstärkung gesteigert werden kann. Um die Dehnsteifigkeit und Zugfestigkeit der zähelastischen PVB-Zwischenschicht zu erhöhen, können z.B. Gewebe aus Edelstahl einlaminiert werden. Auch die Verwendung von neueren Zwischenschichten, die eine erhöhte Dehnsteifigkeit und Zugfestigkeit aufweisen, wie z.B. SentryGlas Plus Interlayer, ist eine Möglichkeit zur Verbesserung der Resttragfähigkeit.
Im Gegensatz zu übereinander gelegten oder flächig verklebten mehrlagigen Systemen werden mehrschalige Platten durch einen linienförmigen Randverbund hergestellt, der gleichzeitig einen Hohlraum zwischen den Platten (Scheibenzwischenraum, SZR) erzeugt. Dieser kann mit einem gasförmigen oder flüssigen Medium gefüllt werden.

Mehrschalige Platten mit Randverbund
Durch den Randverbund werden zweierlei mechanische Wirkungen hervorgerufen. Zum einen entsteht eine Art flacher Hohlkasten, der statisch zwar günstig wirkt, dessen Randverbund aber auf Verformungen der Unterkonstruktion – insbesondere Verwindungen – sehr empfindlich reagiert. Daher werden heute neue flexible Randverbundsysteme aus Kunststoffen ebenfalls hinsichtlich ihrer Verformbarkeit und Dichtigkeit erforscht. Somit lassen sich auch filigrane Seilfassaden mit ihren größeren Verformungen mit Isolierglasscheiben realisieren.
Zum anderen wirkt das entstehende Luftpolster statisch mit – in günstiger wie in ungünstiger Weise. So ist bei Isolierglasscheiben eine Kopplung der Lastabtragung durch Kopplung der Einzelscheiben über das eingeschlossene Luft- bzw. Gasvolumen im SZR möglich. Dies wird als Kathetereffekt bezeichnet und basiert letztlich auf dem Gesetz von Boyle-Mariotte, nach welchem das Produkt aus Druck und Volumen des zwischen den Einzelscheiben befindlichen Gases bei unveränderter Temperatur konstant ist. Der Kathetereffekt ist unabhängig von der Belastungsgeschwindigkeit, könnte also für eine ganze Reihe von Dimensionierungsfragen genutzt werden.
Wetterbedingte Druck- und Temperaturschwankungen sowie geographische Höhendifferenzen zwischen Herstellungs- und Einbauort bewirken bei hermetisch geschlossenen Isoliergläsern erhebliche Zusatzbeanspruchungen für die Einzelscheiben. Diese Druckschwankungen im SZR werden durch die Elastizität des Systems abgemindert. Bei kleinen Scheibenformaten, bei großen Glasdicken und bei großem SZR werden diese Klimalasten für die Dimensionierung maßgeblich. Bei gebohrten Punkthaltern wird die Situation noch verschärft, da die innere und äußere Scheibe an dieser Stelle starr verbunden sind und große Zwängungen erfahren.
Auch bei Windlasten treten sehr hohe Beanspruchungen im Bereich der Punkthalter auf. Sind die Isolierglasscheiben lediglich am Rand durch Punkthalter ohne Bohrung fixiert, so treten dort höchstwahrscheinlich sehr hohe Spannungskonzentrationen für die Scheibe und den Randverbund bzw. den meist metallischen Abstandhalter auf.

Platten mit Rippen und Steifen
Größere Spannweiten – die natürlich durch die herstellbaren Tafelformate beschränkt sind – oder effektivere Konstruktionen lassen sich durch die Kombination einer ebenen Platte mit Rippen oder Steifen erzielen.
Die Anordnung von Rippen bewirkt eine Vergrößerung der Bauhöhe und damit eine drastische Verkleinerung der im Bauteil vorhandenen Spannungen bzw. der Bauteilverformungen.
Eine kontinuierliche Kraftübertragung in der Fuge erzeugt die integrale Tragwirkung einer Rippenplatte. Die Erzeugung einer kontinuierlichen Kraftübertragung durch Verkleben, Verschweißen oder Verlöten von Rippen und Platte ist relativ schwierig, dennoch wird die Ver-

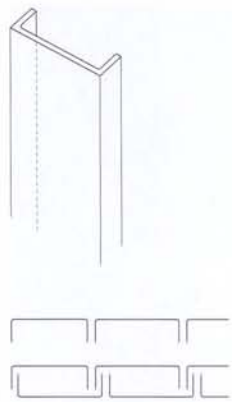
2.2.47 Profilglasplatten
2.2.48 beidseitig unterspannte Platte
2.2.49 einseitig unterspannte Platte, Glasdach über einer Burgruine in Südtirol
Architekt: Robert Danz
Ingenieure: Delta-X
2.2.50 Lasten und ihre Wirkungsrichtung
2.2.51 Lagerung der Glasscheibe
a und c in der Ebene
b und d senkrecht zur Ebene, Krafteinteilung
a und b am freien Rand
c und d am Bohrungsrand

klebung von Rippen bzw. Trägern mit der Platte immer häufiger angewendet. Durch den Verbund von Glas und aufgeklebten Profilen, z.B. GFK, entstehen selbsttragende Glasbauelemente hoher Festigkeit und Steifigkeit.
Auch punktuelle Kraftübertragung von Glasplatte auf Glasträger durch metallische Befestigungen wird bei Fassaden ausgeführt. Oft bezeichnet man Glasträger oder Rippen als Glasschwerter.
Eine sehr erfolgreiche Herstellungsform von Platten mit Rippen ist das Profilbauglas, bei der Rippe und Platte aus einem Stück Flachglas durch Warmverformung hergestellt werden (Abb. 2.2.47). Die Vorteile dieser Bauweise sind die großen Spannweiten ohne Unterkonstruktion, die einfache additive Montage sowie die Möglichkeit zu mehrschaligen Isolierquerschnitten. Sie werden vor allem bei transluzenten Industrieverglasungen genutzt, dagegen wurden durchsichtige Profilglasplatten bislang noch kaum angewendet.

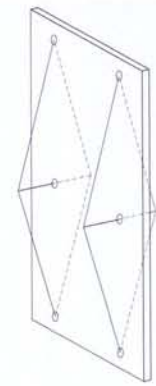
Unterspannte Platten
Bei dieser Konstruktionsart wird der Glasplatte die Abtragung der Druckkräfte zugewiesen und der Unterspannung, die ein- oder zweiachsig ausgeführt werden kann, die Abtragung der Zugkräfte (Abb. 2.2.48). Die Unterspannung ist über Pfosten oder über Stege aus Glas mit der Glasplatte verbunden. Wird die Unterspannung auf beiden Seiten der Glasscheibe angeordnet, so lassen sich Lasten mit positiver oder auch negativer Wirkungsrichtung abtragen.
Eine interessante Lösung für eine einseitig unterspannte Platte stammt von Robert Danz (Abb. 2.2.49 und Beispiel 37, S. 322f.). Dabei wurden Platten aus VSG mit einer einachsig angeordneten Unterspannung aus Zugstangen und Druckpfosten eingesetzt. Die Pfosten sind mit Punkthaltern an den Scheiben befestigt. Die Unterspannung ist ebenfalls über Punkthalter an die Scheibe angeschlossen, so dass eine selbstverankerte Konstruktion entsteht. Die der Biegebeanspruchung überlagerte Druckbeanspruchung ist für das Glas günstig, vorausgesetzt, dass hierdurch kein Knickproblem induziert wird.

Scheiben
Unter Scheiben versteht man ebene Tragwerke, deren Abmessungen in zwei Richtungen groß und in einer, der Dicke, klein sind. Scheiben werden durch Kräfte, die in der Scheibenebene wirken, beansprucht, d.h. es entstehen ausschließlich Normalspannungen.
Eine reine Scheibenbeanspruchung einer großen Glastafel kommt im Bauwesen nur relativ selten vor. Bei den Raum abschließenden Scheiben im Außen- oder im Innenwandbereich sind zumeist die Beanspruchungen senkrecht zur Scheibenebene und die dadurch bewirkte Plattentragwirkung für die Dimensionierung maßgebend. In größerem Umfang tritt eine reine Scheibenbeanspruchung lediglich bei den zum Glasträger mutierten länglichen Scheiben auf. Auch wenn eine Scheibentragwirkung zumeist in Kombination mit einer Plattentragwirkung auftritt, so erscheint es doch wichtig, die alleinige Scheibentragwirkung zu diskutieren und zu verstehen.
Ausschließlich zugbeanspruchte Scheiben stellen dabei die am einfachsten zu erfassende Gruppe dar. Bei einer zu fordernden Reststandsicherheit wird man dabei stets VSG-Scheiben aus mindestens zwei Einzelscheiben verwenden. Die Krafteinleitung in zugbeanspruchte Scheiben ist natürlich schwierig, da neben Kleben nur punktförmige Halterungen oder Reibschlussverbindungen infrage kommen. Punktuelle Krafteinleitungen führen dabei immer zu Spannungskonzentrationen im Krafteinleitungsbereich. Für ein- oder zweiachsig zugbeanspruchte Scheiben sind deshalb Reibschlussverbindungen entlang der Scheibenränder besonders vorteilhaft.
Ein- oder zweiachsig druckbeanspruchte Scheiben sind einfach zu lagern; die Kräfte werden über Kontakt eingetragen, bei geringen Belastungen genügt eine Verklotzung. Die Druckbeanspruchung führt jedoch zu einem Stabilitätsproblem der Scheibe. Die verwendbaren Tafelgrößen werden hierdurch stark eingeschränkt. Aus Gründen der Reststandsicherheit werden auch bei druckbeanspruchten Scheiben VSG-Systeme aus mindestens zwei Einzelscheiben verwendet.

Lagerung von Platten oder Scheiben
Die Lagerung einer Verglasung unterscheidet man danach, ob sie in der Glasebene oder senkrecht hierzu wirksam ist (Abb. 2.2.50). In der Glasebene wirkt bei Vertikalverglasungen in erster Linie das Eigengewicht der Scheiben. Schneelasten oder Verkehrslasten können über Reibung gewisse Anteile tangential, d.h. flächenparallel einbringen.
Die Lagerung erfolgt am effektivsten und einfachsten über Kontakt an den Scheibenrändern durch mehr oder weniger elastische, relativ kurze Auflagerstreifen aus Hartholz, EPDM, Silikon oder ähnlichen Materialien. Diese klassische Befestigungsart wird als Klotzung bezeichnet. Punkthalter tragen Kräfte in der Glasebene im Allgemeinen ebenfalls über Kontakt auf die Bohrungswandungen ab (Abb. 2.2.51). Lediglich Klemmverbindungen funktionieren nicht über Kantenkontakt sondern über Reibung.
Die statisch bestimmte Lagerung der Scheibe in ihrer Ebene erfolgt bei Randlagerung über zwei Auflagerstreifen (Tragklötze) am unteren Rand. Die Breite der Klotzung ist bei Isolierverglasungen und VSG-Systemen so zu wählen, dass jede Einzelscheibe einer Verglasungseinheit gestützt ist. Um das Glasbruchrisiko zu minimieren, sollten die meist 80–100 mm langen Klotzungen von Shore-A-Härte 60–70 Grad nicht direkt in den Scheibenecken positioniert werden. Elastische Distanzklötze an den seitlichen Rändern verhindern die seitliche Verschiebung (Abb. 2.2.52 a). Die Lagerung muss

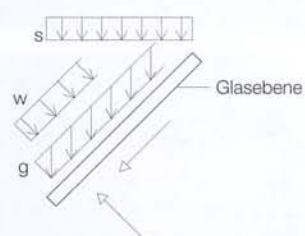


2.2.47

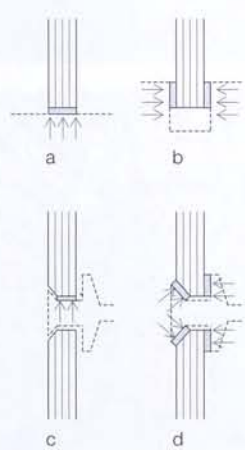


2.2.48

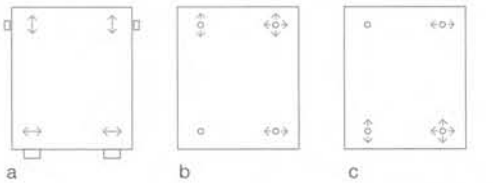
2.2.49



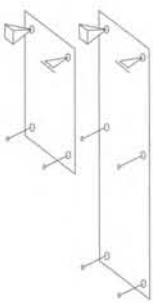
2.2.50



2.2.51



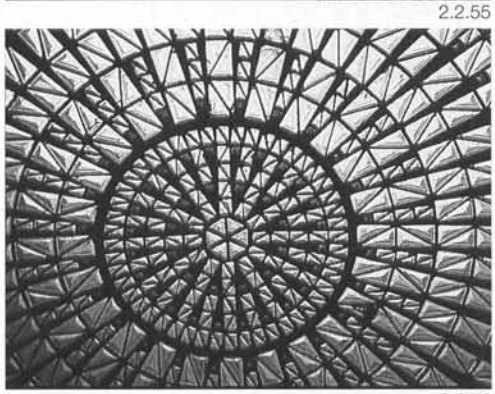
2.2.52



2.2.53

2.2.54

2.2.55



2.2.56

absolut zwängungsfrei ausgeführt werden, da die Scheibe in ihrer Ebene sehr steif ist und bei Verformungen der Unterkonstruktion unkontrollierbare Zwängungsspannungen entstehen können. Dasselbe gilt für punktgelagerte Scheiben, jedoch können diese ihre Lasten in Scheibenebene entweder hängend oder stehend abtragen. Eine statisch bestimmte Lagerung erfordert drei Auflager, deren Reaktionswirkungslinien nicht parallel sind und sich nicht in einem Punkt schneiden (Abb. 2.2.52 b und c). Senkrecht zur Ebene wirken Flächenlasten wie Wind, Schnee, Verkehrslasten und, bei geneigten oder liegenden Scheiben, auch Eigengewichtanteile, die weitergeleitet werden müssen. Die klassische Befestigungstechnik hält das Glaselement durch eine am Rand umlaufende Einfassung: eine Nut, einen Rahmen mit Falz oder ein zweiteiliges Verglasungsprofil. Die Kräfte werden hierbei über Kontakt auf die Flanken der Einfassung übertragen. Bei Punkthaltern erfolgt die Befestigung nach genau demselben Prinzip durch eine am Bohrungsrand umlaufende Einfassung. Dies ist auch bei Senkbohrungen der Fall (Abb. 2.2.51).
Die Lagerung erfolgt entweder linienförmig an mindestens zwei gegenüberliegenden Rändern der Scheibe oder bei punktueller Lagerung durch mindestens drei Einzelauflager. Auch vier und mehr Auflager sind möglich, da die Scheiben normalerweise so biegeweich sind, dass Verformungen der Unterkonstruktion senkrecht zur Systemebene in der Regel durch elastische Verformungen in den Scheibenebenen aufgenommen werden können (Abb. 2.2.53). Diese so genannten Verwindungen müssen allerdings bei der statischen Bemessung nachgewiesen werden.

Schalenelemente
Schalenelemente werden vorwiegend in ihrer Ebene beansprucht. Zu unterscheiden sind Glaselemente, die selbst gekrümmt sind, und solche, die Bestandteil einer aus ebenen Teilflächen zusammengesetzten, insgesamt jedoch gekrümmten Fläche (Facettenfläche) sind.

Gebogene Glasscheiben
Ebene Glasscheiben werden durch Biegeformen im Ofen bei ca. 640 °C in die gewünschte Form gebracht. Das amorphe Glas erweicht bei diesen Temperaturen und passt sich den Biegeformen an. Dadurch sind zylindrisch, konisch, sphärisch oder andere beliebig gekrümmte Gläser formbar. Es lassen sich auch gekrümmt vorgespannte Gläser herstellen, die zu VSG oder Isolierglas weiterverarbeitet werden können. Die möglichen Geometrien hängen von Glasart, Glasdicke, Glasgröße und Biegeradien bzw. Biegewinkel ab. Ein System aus zylindrischen Glasscheiben auf gebogenen Randträgern wurde bei der vom Ingenieurbüro Rice Francis Ritchie (RFR) entwickelten Verglasung des »Skywalk« auf der EXPO 2000 – Messe Hannover eingesetzt (Abb. 2.2.54). Durch Berücksichtigung der Schalentragwirkung konnten erhebliche Einsparungen bei den Glasdicken erzielt werden. Die 2 × 2,50 m großen Verglasungselemente bestehen aus VSG mit zwei je 6 mm dicken Floatglasscheiben. Bei den Versuchen zur Reststandsicherheit erwies sich die Verwendung von unvorgespanntem gebogenem Glas als äußerst günstig. Die Schalentragwirkung bleibt auch im teilweise gebrochenen Zustand noch voll erhalten.
Auch doppelt gekrümmte Scheiben sind herstellbar – bei großen Verglasungselementen allerdings nur mit großen Biegeradien. Die Tragwirkung ist noch günstiger als bei einfach gebogenen Scheiben, da nun auch ungleichförmige Belastungen biegungsfrei durch Normalspannungen abgetragen werden können. Entsprechende Überlegungen zu derartigen einteiligen Glaskuppeln wurden bereits von Heinz Isler angestellt. Realisiert wurde eine solche Glaskuppel (»Stuttgarter Schale«) aus lediglich stumpf miteinander verklebten Glasscheiben am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) an der Universität Stuttgart (Abb. 2.2.11 und 2.2.29). Die sphärisch gekrümmten Glasscheiben sind ein VSG-System aus 8 mm Floatglas und 2 mm chemisch vorgespanntem Glas. Bei einem Kuppeldurchmesser von 8,5 m bedeutet diese Schalendicke von 10 mm eine Schlankheit von 1:850 – im Verhältnis schlanker als die ca. 0,3 mm dicke Schale eines Hühnereis.

Zusammengesetzte Glasschalen – Facettenfläche
Bei größeren, aus Glaselementen zusammengesetzten Schalen ist der Krümmungsradius in Relation zur Elementgröße sehr groß. Die Schalen können deshalb auch aus ebenen Facettenflächen bestehen. Das geometrische Problem der Facettierung ist dasselbe wie bei den Gitterschalen (siehe »Schalentragwerke – Gitterschalen«, S. 113). Bei reinen Glasschalen erfahren die Elemente relativ hohe Druckbeanspruchungen, so dass deren Stabilität nachgewiesen werden muss.
Die früher gebräuchlichen Kuppeln aus Gussglassteinen, die wie Mauerwerksschalen vermörtelt und nur schwach armiert wurden, sind heute leider in Vergessenheit geraten. Filigrane Schalenkonstruktionen wie das wellenförmige Vordach in der Rue de Belleville (Abb. 2.2.55) oder die Kuppel über einem Eingangsfoyer auf dem Champs-Élysées (Abb. 2.2.56), beide in Paris, findet man nur noch selten. Sie sind den standardisierten Verglasungsvorschriften zum Opfer gefallen und letztendlich auch wegen des zu ihrer Herstellung erforderlichen handwerklichen Aufwands aus der heutigen Baukultur verschwunden.
Anstelle der vollen Vermörtelung können punktförmige Verbindungen zwischen den einzelnen Facetten treten. Solch eine interessante Konstruktion entstand bei der Überdachung des Innenhofs des Maximilianmuseums in Augsburg (Abb. 2.2.57). Die einzelnen quadratischen Glasscheiben tragen die Druckkräfte der

Tonnenschale über Verbindungsschuhe in ihren Ecken zu den Auflagern hinab, dabei werden sie durch eine Seilunterspannung stabilisiert.
Bemerkenswerterweise sind Schalenkonstruktionen aus dicken Glaselementen hinsichtlich der Standsicherheit im gerissenen Zustand oder nach teilweiser Zerstörung recht günstig zu bewerten. Allerdings liegen diesbezüglich noch zu wenige Erfahrungswerte vor. Versuche zu mehreren experimentellen Bogentragwerken wurden an der Universität Stuttgart durchgeführt, unter anderem testete man hier den durch einen Seilbinder unterspannten Bogen aus einem speziellen Dreischeibenlaminat (Abb. 2.2.58).

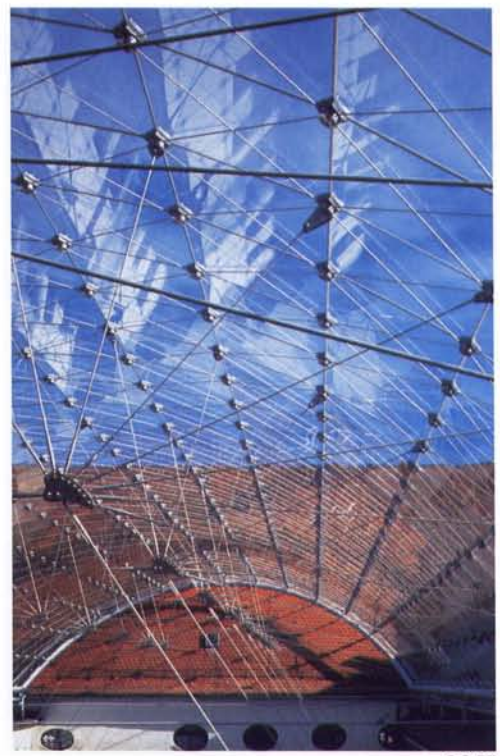
Membranelemente
Sicherlich wären Membrankonstruktionen aus Glas von hohem gestalterischem und technischem Reiz. Vom Sonderfall der zugbeanspruchten ebenen Scheibe abgesehen, lassen sich Membranen aus Glas aber aus folgenden Gründen nur schwer realisieren: Eine ausschließliche axiale oder biaxiale Zugbeanspruchung ist bei Bauteilen aus Glas wegen der starken Festigkeitsstreuung und der Oberflächendefekte (Griffith-Risse) stets vorsichtig zu behandeln. Zugkraftübertragungen zwischen zwei benachbarten Scheiben sind derzeit nur über punktförmige Halter oder Klemmplatten möglich. Dies führt im Verbindungsbereich zu Spannungskonzentrationen in den einzelnen Scheiben. Die Resttragfähigkeit üblicher Glasprodukte wie z.B. VSG ist für hohe Zugbeanspruchung nicht ausreichend.

Tragwerke und Unterkonstruktionen für Verglasungen
Die Glasscheibe ist bei den nachfolgend besprochenen Tragwerken nicht mehr primäres Bauteil, sondern sie wird in eine selbsttragende Konstruktion eingebaut. Das Glasbauteil hat also nur noch eine lokale Last abtragende Aufgabe. Die eigentliche Tragkonstruktion besteht aus Stahl, Aluminium, Holz, Beton etc. oder wiederum aus Glas. Die im Folgenden näher vorgestellten Tragsysteme sind im Hinblick auf ihr Tragverhalten gegliedert. Bezüglich des Tragverhaltens und der Reststandsicherheit der einzelnen Verglasungselemente oder der im System mitwirkenden tragenden Glasbauteilen wird auf die vorangegangenen Kapitel verwiesen.

Biegebeanspruchte Tragwerke
Die meisten Fassaden und Dachverglasungen besitzen ein Tragwerk aus vertikal und/oder horizontal gespannten Biegeträgern. Die Träger spannen von Geschoss zu Geschoss, vom Boden zur Decke, zwischen zwei Wandscheiben oder zwischen zwei unabhängigen Bauabschnitten – allgemein zwischen zwei Auflagern. Diese beiden Auflager sind immer etwas nachgiebig oder beweglich. Außerdem dehnen sich die Träger unter Temperatureinwirkung. Die Träger sollten also zwängungsfrei gelagert sein, um nicht bereits durch die Verformungen des Rohbaus belastet zu werden (Abb. 2.2.60). Nur in seltenen Fällen können für biegebeanspruchte Glasbauteile beidseitig feste Auflager realisiert werden.

Selbsttragende Vertikalverglasungen
Im einfachsten Fall, bei geringem Abstand der Auflager, können die Glasscheiben die Öffnung selbsttragend überspannen. Dies ist der Fall bei normaler Geschosshöhe und direkter Auflagerung an den Geschossdecken. Die Verglasungseinheiten werden entweder stehend gelagert (geklotzt) oder am oberen Rand mittels einer Klemm- oder Punkthalterung aufgehängt (Abb. 2.2.52). Die hängende Lagerung ist aufwendiger, aber statisch günstiger: Es kann keine Druckbeanspruchung durch das Scheibeneigengewicht und folglich kein Stabilitätsproblem entstehen. Generell ist darauf zu achten, dass sich übereinander liegende Geschossdecken unterschiedlich durchbiegen. Je nach Befestigungsart muss die Scheibe deshalb an ihrer Ober- oder ihrer Unterseite gleitend gelagert werden. Für die Plattenbeanspruchung infolge Windlasten ist die Scheibe nur zweiseitig gelagert und die Spannweite dieser Bauweise daher begrenzt (Abb. 2.2.60a).

Verglasungen mit Vertikalträger (Pfosten)
Bei größeren Spannweiten werden die Glasscheiben durch vertikale Rippen gestützt. Die Rippen tragen nur Lasten senkrecht zur Glasebene (Wind). Lasten in der Ebene (Eigengewicht und Aussteifung) werden in der Regel von den Glasscheiben selbst getragen. Durch

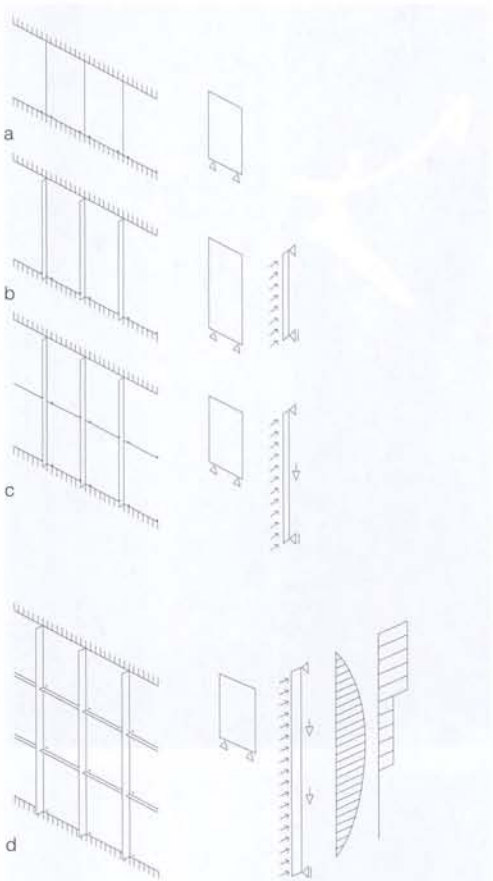


2.2.57

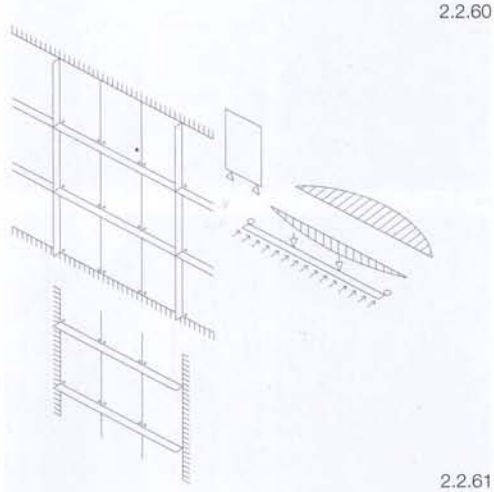
2.2.58

2.2.59

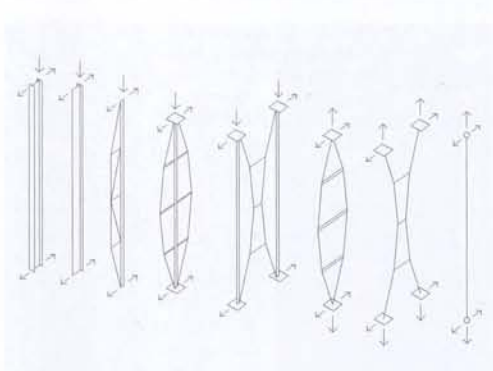
2.2.52 Verschieblichkeiten in der Ebene
a stehende Verglasung geklotzt
b punktgelagerte Verglasung stehend
c punktgelagerte Verglasung hängend
2.2.53 Lagerung senkrecht zur Ebene
2.2.54 VSG-Scheiben, Skywalk Hannover
Architekten: Schulitz & Partner
Ingenieure: RFR
2.2.55 armierte Glasschale, Rue de Belleville, Paris
2.2.56 selbst tragende Kuppel aus Glassteinen, Champs-Élysées, Paris
2.2.57 Glasdach, Maximilianmuseum, Augsburg
Architekt: Hochbauamt Augsburg
Ingenieure: Ludwig & Weiler
2.2.58 Glasbogen 1, ILEK, Universität Stuttgart
2.2.59 Glasbogen 2 auf der glastec, Düsseldorf, ILEK



2.2.60



2.2.61



2.2.62

die Vertikalträger sind die Scheiben vierseitig gelagert (Abb. 2.2.60b). Sehr hohe Scheiben werden meist hängend befestigt. Wenn die Glasscheiben horizontal durchschnitten (gestoßen) sind, müssen auch die in der Ebene wirkenden Lasten von den Vertikalträgern übernommen werden (Abb. 2.2.60c) . Das Eigengewicht jeder Scheibe wird also in den hängenden oder stehenden Träger eingeleitet. Typische Bauformen für vertikale Träger sind einerseits Vollquerschnitte aus Holz, Beton oder Hohlprofile und Walzträger aus Metall. Andererseits werden sehr häufig auch aufgelöste Träger wie Fachwerkträger oder Seilbinder eingesetzt (Abb. 2.2.62).
Man unterscheidet bei Seilbindern zwei Konstruktionsprinzipien: Werden die Seilbinder oben und unten gegen die Auflager gespannt, so spricht man von einer Rückverankerung. Aufgrund der üblicherweise großen Kräfte, die hierbei auftreten, ist auf eine besonders steife Auflagerkonstruktion zu achten. Es ist jeweils ein (Wind-)Sogseil und ein (Wind-)Druckseil anzuordnen, wobei diese jedoch in der Binderebene relativ zueinander nahezu beliebig verschoben sein können. Druck- und Sogseil werden miteinander durch Spreizen verbunden, die je nach Konfiguration ausschließlich druck-, zug- oder wechselbeansprucht sein können.
Bei Seilbindern mit integriertem Druckstab werden die Auflager nicht durch die Vorspannung der Seile belastet, sondern im integrierten Druckstab kurzgeschlossen (Abb. 2.2.63). Man bezeichnet dies als selbstverankerte Konstruktion. Die Seile selbst werden durch Spreizen, die aufgrund ihrer kurzen Länge schlank sein können, vom Druckstab weggespreizt. Ein Drehen um die Binderachse, das auch als Kippen interpretierbar wäre, ist entweder durch Einbinden in die entsprechend auszubildende Glasebene oder durch zusätzliche Maßnahmen zu verhindern.
Wenn die Träger nicht in der Glasebene liegen, sondern in einigem Abstand davor oder dahinter, wie dies vor allem bei den genannten Seilbindern häufig der Fall ist, wird das Glaseigengewicht meist über ein zusätzliches Hängeelement aufgenommen. Die Windlasten werden dann aus der Scheibe über Zug-Druck-Elemente in die Träger geleitet.

Die selbsttragend hängende Glaswand funktioniert statisch genauso wie die an Seilen hängende Glaswand. Das Glas hat hier jedoch die Funktion eines primären, tragenden Bauteils und ist deshalb sicherheitstechnisch anders zu betrachten (Abb. 2.2.64).

Verglasungen mit Vertikal- und Horizontalträgern (Pfosten-Riegel)
Bei sehr breiten Scheibenformaten werden zusätzlich zu den Pfosten horizontale Riegel eingeführt, auf denen die Klotzung und die Eindichtung erfolgt. Dies ist die klassische Pfosten-Riegel-Konstruktion (Abb. 2.2.60d). Die Riegel führen zu einer horizontalen Kopplung, so dass in größeren Abständen Dehnfugen vorzusehen sind. Bei hohen Fassaden müssen die Flächenabschnitte nun auch in ihrer Ebene ausgesteift werden, besonders wenn seitliche Windkräfte auf außen liegende Rippen, Windreibung etc. oder Erdbebenlasten einwirken. Wenn die horizontale Spannweite so groß wird, dass die Scheiben weiter unterteilt werden müssen, spricht man nicht mehr von Riegeln, sondern von Horizontalträgern (Abb. 2.2.61.) Diese werden nicht nur durch Wind, sondern auch durch ihr Eigengewicht und das Gewicht der Scheiben belastet. Die Träger biegen sich infolge dieser Lasten durch. Das Problem dieser Trägerbiegung um die schwache Achse kann durch ein- oder mehrfaches Aufhängen der Träger vermieden werden.
Über die soeben beschriebenen Effekte hinaus unterscheiden sich horizontal und vertikal gespannte Träger nicht. Alle bei »Verglasungen mit Vertikalträger« (Pfosten) beschriebenen Bauformen sind deshalb auch bei Horizontalträgern möglich.

Windnadeln (Spreizen)
Bei der Konstruktionsweise mit Windnadeln entfallen die Träger zur Lastabtragung von Horizontallasten. Diese Kräfte aus den Scheiben werden über Zug-Druck-Stäbe in andere Bauteile, üblicherweise die Geschossdecken oder Stützen, eingeleitet. Die Last abtragenden Elemente sind nun nicht mehr die üblichen Träger in der Verglasungsebene, sondern ein tief im Bauwerk liegender Kern, Wandscheiben oder Ähnliches. Das Scheibeneigengewicht

2.2.63

2.2.64

wird bei dieser Konstruktionsart entweder über Hänger oder über die Scheiben selbst nach oben geführt. Eine Abtragung des Scheibeneigengewichts nach unten empfiehlt sich wegen der damit verbundenen Druckbeanspruchung der Scheiben nicht (Abb. 2.2.65).

Bogentragwerke

Gekrümmte Tragwerke werden häufig für Dachverglasungen, manchmal auch für Fassaden verwendet. Die tragenden Elemente spannen auch hier zwischen zwei Seiten, besitzen aber beidseitig feste Auflager bzw. Widerlager. Bewegungen der Unterkonstruktion oder Temperaturdehnungen der Verglasung werden dadurch aufgenommen, dass das gekrümmte Tragwerk sich unter Belastung leicht verformt.

Schalentragwerke

Schalen sind dünnwandige gekrümmte Tragwerke, die ihr Eigengewicht sowie äußere Lasten weitestgehend durch eine Normalkraftbeanspruchung in der Schalenmittelebene abtragen. Dies führt zu einer optimalen Werkstoffausnutzung.

Biegebeanspruchungen, die aufgrund ihrer tragstrukturellen Ineffektivität stets vermieden werden sollen, kommen bei Schalen immer wieder im Bereich von lokalen Krafteinleitungen vor, also auch an den Auflagern. In der nachfolgenden Diskussion sollen unter dem Begriff der Schale die druckbeanspruchten räumlich gekrümmten Tragwerke verstanden werden. Die zugbeanspruchten Schalen werden als Membranen bezeichnet.

Schalen können einfach (z.B. zylindrisch) oder doppelt gekrümmt (z.B. sphärisch) sein. Art und Maß der Krümmung werden üblicherweise durch Angabe der Gauß'schen Krümmung $k = 1/(R_1 \times R_2)$ beschrieben (R_1, R_2 = Hauptkrümmungsradien).

Gitterschalen

Eine Gitterschale kann als Schale mit einer hinreichend großen Anzahl großer Öffnungen interpretiert werden, wodurch das charakteristische Schalentragverhalten allerdings nicht verletzt werden darf. Stellt man Gitterschalen aus einzelnen Stäben her, so muss durch die Maschengeometrie und die Art der Stabverbindungen in den Knotenpunkten die Etablierung des Schalentragverhaltens möglich werden. Üblicherweise führt dies zu dreiecks- oder viereckmaschigen Systemen. Bei der Verwendung von Vierecken werden die einzelnen Maschen meist mit einer Zug-Druck-Diagonale oder zwei Zugdiagonalen ausgesteift. Sind Diagonalen nicht erwünscht, so müssen die Knotenpunkte biegesteif ausgeführt werden. Dies hat einen konstruktiven Mehraufwand zur Folge. Gleichzeitig bleiben diese Schalen den diagonalisierten Gitterschalen in der Effektivität stets unterlegen, weswegen sie vor allem bei kleineren Spannweiten zur Anwendung kommen.

In den vergangenen Jahrzehnten wurde eine Vielzahl verglaster Kuppeln als Rahmenkonstruktionen bzw. als Schalen ohne Diagonalen, dafür aber mit biegesteifen Stabknoten ausgeführt. Die tragende Konstruktion besteht dabei zumeist aus Stahl. Die Halteprofile der Scheiben sind separat aus Aluminium gefertigt, die wiederum auf der Stahlkonstruktion aufliegen. Dadurch entsteht die typische Zweilagigkeit dieser Konstruktionen. Der Vorteil dieser Zweilagigkeit liegt in den mit hoher Präzision gefertigten Aluminiumprofilen, die nicht den eher groben Toleranzen herkömmlicher Stahlkonstruktionen unterliegen. Präziser Glasbau ist somit auch auf relativ unpräzisem Stahlbau möglich. Erkauft wird dies jedoch um den Preis einer deutlich vergrößerten optischen Masse. Erst Ende der 1980er-Jahre war man im Bauwesen in der Lage, die tragende Stahlkonstruktion in so hoher Präzision zu fertigen und zu montieren, dass eine Verglasung direkt auf das Stahltragwerk unter Einfügung einer Kunststofflagerfuge möglich wurde (Abb. 2.2.67 und 2.2.68). Insbesondere Jörg Schlaich und Hans Schober haben das Bauen von weit gespannten Dächern mit Glaseindeckung wesentlich geprägt. Sie entwickelten die so genannten Netzkuppeln, das sind Gitterschalen mit Viereckmaschen und gelenkigen Knotenpunkten sowie einer doppelten Ausdiagonalisierung mit dünnen Seilen. Diese Tragelemente konnten in einer so hohen Präzision hergestellt werden, dass die Verglasung unter Zwischenlage eines EPDM-Profils direkt auf die Stahlkonstruktion aufgelegt werden konnte. Das hohe Maß an

2.2.65

2.2.60 biegebeanspruchte Tragwerke
- a selbsttragend vertikal gespannt
- b vertikale Rippen
- c Vertikalträger (Pfosten)
- d Vertikalträger mit Traversen (Pfosten-Riegel)

2.2.61 Horizontalträger

2.2.62 Seilbinder mit und ohne Druckstab, Fachwerk- und Walzträger, Seil

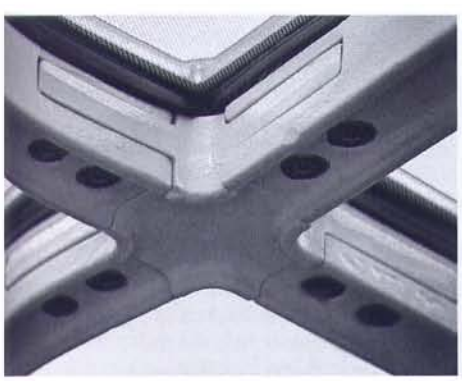
2.2.63 Seilbinder mit Druckstab, Parc André Citroën, Paris
Architekt: Patrik Berger
Ingenieure: RFR

2.2.64 selbst tragend hängende Glaswand, Av. Montaigne, Paris
Architekten: Epstein, Glaiman et Vidal
Ingenieure: RFR

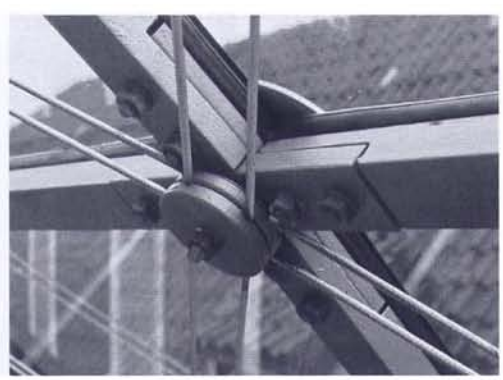
2.2.65 Windnadeln, Post Tower, Bonn
Architekten: Murphy/Jahn
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

2.2.66 Knotendetail, Kuppel über der Kundenhalle der Deutschen Bank, Hannover
Architekten: LTK
Entwurf und Konstruktion der Kuppel: Werner Sobek Ingenieure

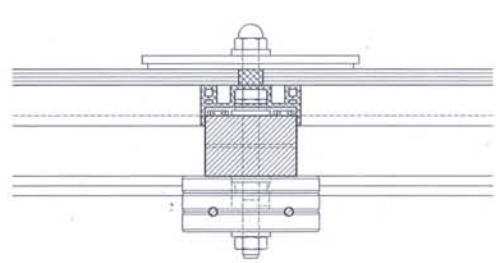
2.2.67 und 2.2.68 Knotendetail, Museum für Hamburgische Geschichte, Hamburg
Architekten: von Gerkan Marg & Partner
Ingenieure: Schlaich Bergermann & Partner



2.2.66

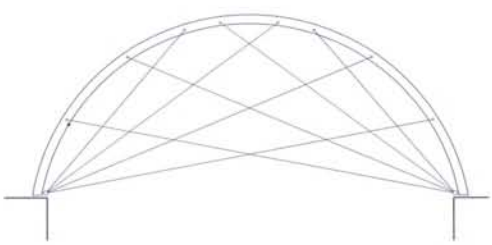


2.2.67

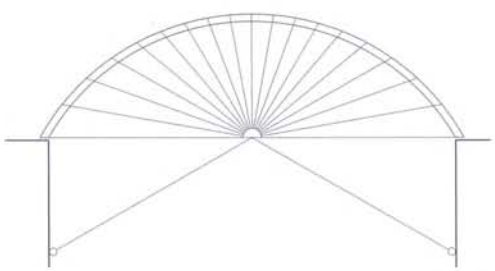


2.2.68

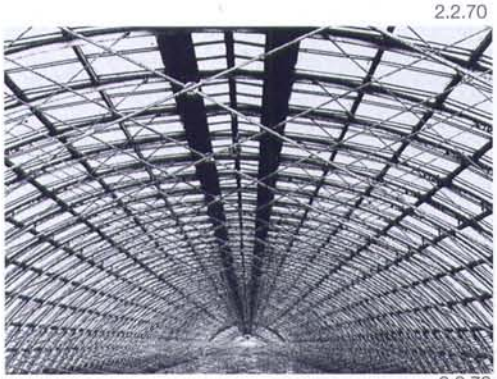
2.2.69



2.2.70

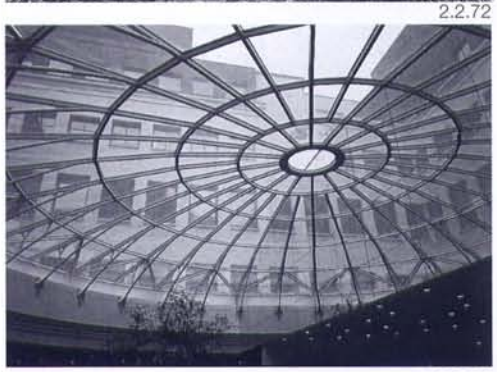


2.2.71



2.2.72

2.2.73



2.2.74

2.2.75

Standardisierung und die einfache Montierbarkeit führten zu kostengünstigen Lösungen für geometrisch komplizierte Konstruktionen. Die schlanken Stab- bzw. Seilquerschnitte erlaubten zusammen mit dem Wegfall der bisher üblichen Verglasungsprofile extrem filigrane Konstruktionen.

Freie, doppelt gekrümmte Flächen lassen sich stets mit Dreiecksmaschen bilden, sind jedoch weniger wirtschaftlich und transparent als Strukturen mit Viereckmaschen (Abb. 2.2.69). Bei doppelt gekrümmten Strukturen mit Viereckmaschen sollten die Eckpunkte einer Einzelscheibe stets in derselben Ebene liegen. Ansonsten müssen entweder die Glasscheiben die Flächenverwindung aufnehmen können oder es sind gekrümmte Gläser zu verwenden. Glasverwindungen sind jedoch aufgrund des Randverbunds bei Isoliergläsern nur sehr begrenzt möglich, während die Anwendung von gekrümmten Gläsern sehr kostspielig ist. Um daher eine wirtschaftliche Lösung bei gleichzeitiger nahezu unbegrenzter Formenvielfalt zu schaffen, werden freie Formen oft durch Translationsflächen oder Streck-Trans-Flächen beschrieben. Sowohl Translationsflächen als auch Streck-Trans-Flächen beruhen auf dem mathematischen Grundsatz, dass zwei parallele Vektoren im Raum stets eine ebende Fläche aufspannen. Bei einer Translationsfläche wird eine erzeugende Raumkurve durch parallele, gleich lange Vektoren entlang einer Leitkurve verschoben. Dabei können sowohl erzeugende Kurve als auch Leitkurve eine beliebige räumliche Kurve darstellen. Es entstehen dabei Flächen mit ebenen Viereckmaschen. Diese Flächen ermöglichen die Verwendung von »Netzkuppeln« mit einheitlichen Stablängen und ebenen Viereckscheiben. Durch das Prinzip der Translationsfläche kann man somit sehr wirtschaftliche Lösungen beim Bau verglaster Gitterschalen erzielen. Sind die parallelen Verschiebungsvektoren jedoch von unterschiedlicher Länge, so spricht man von Streck-Trans-Flächen. Mit diesen lassen sich nahezu beliebige Flächen mit ebenen Maschen generieren, jedoch mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Stablängen.

Insbesondere bei Gitterschalen kleinerer Spannweiten sind formal ästhetische Lösungen auch ohne Diagonalen möglich, wenn die Knotenpunkte der Schale hinreichend biegesteif ausgeführt werden. Die Kuppel über der Kundenhalle der Deutschen Bank in Hannover ist hierfür ein gutes Beispiel (Abb. 2.2.66 und 2.2.74). Alle Bauteile dieser Kuppel bestehen aus Sphäroguss und wurden ohne Rüstung, sondern lediglich durch Verschrauben der Knoten und Stäbe hergestellt. Die Isolierverglasung wurde direkt auf die Gusskonstruktion unter Zwischenlage eines EPDM-Profiles aufgelegt. Halteteller auf der Außenseite sichern die Scheiben gegen Abheben infolge eines Windsogs.

Bei einfach gekrümmten, zylindrischen oder bei sehr weit gespannten, doppelt gekrümmten Gitterschalen kann man die auftretenden Stabilitätsprobleme (Beulen) der extrem dünnen

Schalen nicht mehr ohne Zusatzmaßnahmen lösen. Als solche bieten sich Seilunter- oder Seilverspannungen an. Vladimir Šuchov hat bereits Ende des 19. Jahrhunderts sehr schlanke Ringträger von verglasten Tonnenschalen durch Seilverspannungen hinreichend ausgesteift (Abb. 2.2.70 und 2.2.72). Jörg Schlaich erzielte bei der Innenhofüberdachung des Museums für Hamburgische Geschichte eine ähnliche Erhöhung der Tragfähigkeit von Tonnenschalen durch Einführung vorgespannter Speichenräder aus Seilen (Abb. 2.2.71 und 2.2.73, siehe auch Beispiel 42, S. 340ff.). Natürlich sind auch zweiachsig angeordnete Unterspannungen bzw. Verspannungen möglich. Das wirksamste Mittel zur Verbesserung des Stabilitätsverhaltens ist jedoch die Wahl einer geeigneten Krümmung der Gitterschale.

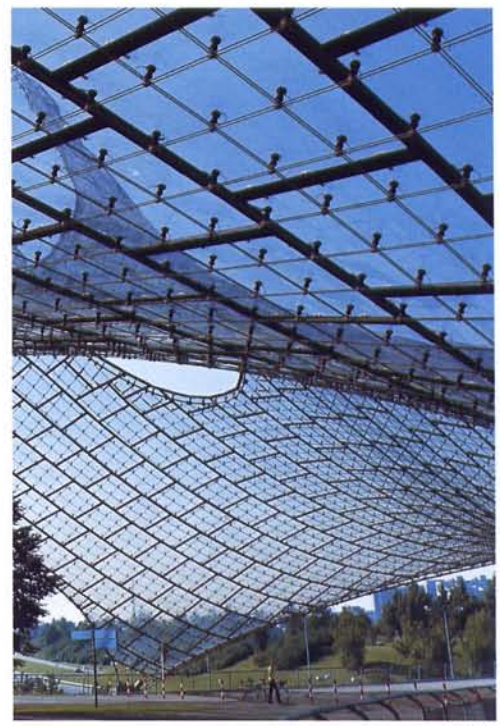
Seilnetze und Seilfassaden

Seilnetzkonstruktionen unterliegen den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie Membrankonstruktionen. Netze können daher als eine Sonderform der Membranen betrachtet werden. Der Baustoff liegt hier nicht mehr als dünnwandiges Kontinuum vor, sondern als ein aus einzelnen diskreten Elementen bestehendes Netz. Seilnetze sind üblicherweise räumlich gekrümmte Tragwerke, die sowohl ihr Eigengewicht wie auch äußere Lasten nur durch eine Zugbeanspruchung des Materials abtragen können. Diese ausschließliche Zugbeanspruchbarkeit führt zu enorm leistungsfähigen Tragwerken, da alle zur Vermeidung von Stabilitätsproblemen erforderlichen Massenmehrungen entfallen. Ebene oder einfach gekrümmte Seilnetzflächen unterliegen bei Belastungen, die nicht in ihrer Ebene wirken, häufig großen Verformungen und der Gefahr von Schwingungsanfälligkeiten. Aufgrund ihres Lastabtragungsverhaltens sollten Seilnetzkonstruktionen nicht irgendeine beliebige räumliche Form besitzen. Die Form sollte immer eine ausschließlich zugbeanspruchte Gleichgewichtsfläche sein. Dies erfüllen bei mechanisch vorgespannten Konstruktionen antiklastische – d.h. gegensinnig doppelt gekrümmte – Flächen mit der Gauß'schen Krümmung $k<0$. Die Geometrie eines solchen Netzes wird deshalb mithilfe spezieller Entwurfshilfen, so genannter Formfindungsprozesse, entwickelt.
Je nach Art der Maschenbildung haben Netze ein stark unterschiedliches Tragverhalten. Die Dreiecksmaschennetze kommen dem dünnwandigen Kontinuum Membrane im Tragverhalten dabei am nächsten.

Verglaste gekrümmte Seilnetzflächen

Bei den verglasten Netzen übernimmt ein üblicherweise aus Stahlseilen hergestelltes Netz die primäre Last abtragende Funktion. Eventuell kann die Verglasung des Netzes noch zur Aussteifung der Netzmaschen herangezogen werden, planmäßig ist von dieser Möglichkeit bis heute jedoch noch kein Gebrauch gemacht worden. Üblicherweise übernimmt das Glas somit nur noch die Funktion der bloßen Eindeckung und damit des Raumabschlusses. Aus Fertigungs- und Montagegründen werden Seilnetze nahezu ausschließlich als Vierecksmaschennetze mit regelmäßigen quadratischen Maschen hergestellt. In der räumlich gekrümmten und vorgespannten Konfiguration des Netzes gehen die ursprünglich quadratischen Maschen in Rauten über, wobei sich üblicherweise alle Rautengeometrien der einzelnen Maschen eines Netzes voneinander unterscheiden. Wollte man nun jede einzelne Masche mit einer Glasscheibe bedecken, so hätten alle verwendeten Glasscheiben eine unterschiedliche Geometrie. In einer computergesteuerten Fertigung könnte man dies noch handhaben, auf der Baustelle würde dies jedoch zu einem logistischen Problem par excellence werden.
In den bisher ausgeführten Entwürfen hat man das Problem der Glaseindeckung folgendermaßen umgangen bzw. abgemildert:

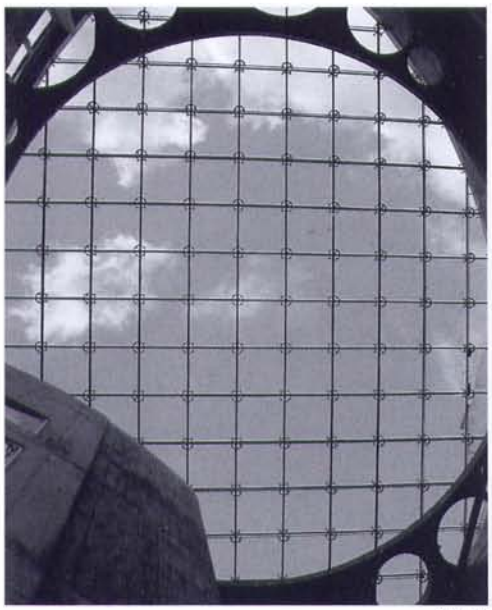
- Verwendung von großen Tafeln zur Überdeckung von Netzmaschen:
  Der Vorteil dieses Konstruktionstyps liegt darin, dass vergleichsweise wenige Einzelscheiben mit einer speziellen Geometrie zugeschnitten und montiert werden müssen. Andererseits ist dieses Prinzip aufgrund der Ebenheit der Scheiben natürlich nur auf relativ schwach gekrümmte Netze anwendbar. Zusätzlich ist zu beachten, dass die eindeckenden Scheiben so auf dem Netz zu befestigen sind, dass die unter äußeren Lasten auftretenden Verformungen des Netzes nicht zu einer Beanspruchung der Scheiben führen. Es ist somit eine schwimmende Lagerung der Verglasung erforderlich, die bei Verwendung von Punkthaltern beispielsweise durch entsprechende Zwischenstücke aus einem Elastomer realisiert werden kann. Das bekannteste Beispiel für die Verwendung großer Tafeln – allerdings aus dem Kunststoff Polymethylmethacrylat (PMMA) – sind die Dächer der olympischen Bauten 1972 in München (Abb. 2.2.76).
- Entwurf rotationssymmetrischer Netze:
  Durch rotationssymmetrische Netze lässt sich die Anzahl unterschiedlicher Scheiben erheblich reduzieren. Ein bekanntes Beispiel für eine derartige Lösung ist der mit handbemalten Glasscheiben eingedeckte Seilnetzpavillon im Garten des diplomatischen Clubs in Ryiad (Abb. 2.2.77).
- Entwurf eines Schindelprinzips:
  Dieses Konstruktionsprinzip wurde 1996 bei den mit Glasschindeln eingedeckten Seilnetzen der Innenhofüberdachungen des Klinikums in Bad Neustadt erstmals angewendet (Abb. 2.2.79 und 2.2.80, siehe auch Beispiel 41, S. 338f.). Durch Einführen des Schindelprinzips werden Scheiben- und Maschengeometrie entkoppelt. Die Seilnetze mit Maschenweiten von 400 mm und stets unterschiedlichen Maschenformen wurden dabei mit mehr als 22000 quadratischen einheitlichen Schindeln mit Kantenlängen von



2.2.76

2.2.69 Dreiecksmaschen, Great Court, British Museum, London
Architekten: Foster and Partners
Ingenieure: Buro Happold
2.2.70 seilverspannter Bogen, Maschinenhalle, Allrussische Ausstellung, 1896
Architekt: Vladimir Šuchov
2.2.71 seilverspannte Tonnenschale, Museum für Hamburgische Geschichte, Hamburg
Architekten: von Gerkan Marg & Partner
Ingenieure: Schlaich, Bergermann & Partner
2.2.72 Kaufhaus GUM, Moskau,
Vladimir Šuchov
2.2.73 Speichenrad, Museum für Hamburgische Geschichte, Hamburg
2.2.74 Kuppel über der Kundenhalle der Deutschen Bank, Hannover
Architekten: LTK
Entwurf und Konstruktion der Kuppel: Werner Sobek Ingenieure
2.2.75 verglaste Überdachung, Westfalenpark, Dortmund,
Architekten: LTK
Entwurf und Konstruktion der Überdachung: Werner Sobek Ingenieure
2.2.76 Olympiastadion, München
Architekten: Behnisch und Partner
Ingenieure: Leonhardt und Andrä
Berater: Frei Otto u.a.
2.2.77 Seilnetzpavillon, Ryiad
Architekten: Bettina und Frei Otto

2.2.77



2.2.78

2.2.78 flach gespanntes Seilnetzdach, Bürohaus, Gniebel
Architekten: Kauffmann Theilig & Partner
Ingenieure: Glasbau Seele

2.2.79 und 2.2.80 mit Glasschindeln verglastes Seilnetz, Klinikum, Bad Neustadt
Architekten: Lamm, Weber, Donath
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

2.2.81 ebenes Seilnetz mit Unterspannung, Rotonde Neuilly, Paris
Architekt: Dietmar Feichtinger
Ingenieure: RFR

2.2.82 und 2.2.83 mit Federn vorgespannte Seilfassade, Sony Center, Berlin
Architekten: Murphy/Jahn
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

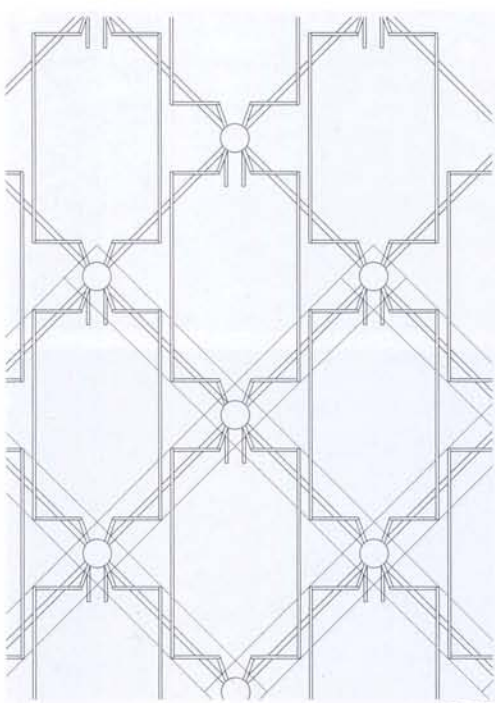
2.2.84 verglaste Seilnetzwand, Hotel Kempinski, München
Architekten: Murphy/Jahn
Ingenieure: Schlaich, Bergermann & Partner

2.2.85 Parc de la Villette, Paris
Architekt: Adrien Fainsilber
Ingenieure: RFR

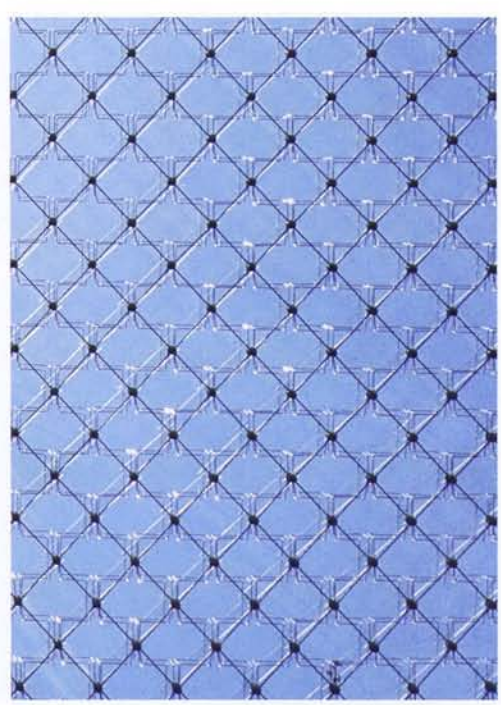
500 mm aus VSG eingedeckt. Die Schindel werden in Edelstahlbügel geklemmt und dadurch fixiert. Die Bügel selbst werden in den Knoten des Seilnetzes befestigt. Die Montage der Schindeln wird elementweise vorgenommen. Der Ausgleich zwischen der quadratischen Geometrie der Schindeln und den stets unterschiedlichen rautenförmigen Maschen der Seilnetze erfolgt über einen der beiden Befestigungspunkte der Bügel am Seilnetz. Während der obere Befestigungspunkt am Knotenpunkt des Seilnetzes unverschieblich geklemmt wird, besitzt der untere Befestigungspunkt zwei ca. 150 mm lange Bügelenden, die in den unteren Knotenpunkt des Netzes eingefädelt werden. Je nachdem an welcher Stelle die Bügelenden im Knotenpunkt zu liegen kommen, können die Bügel somit unterschiedlich lange Diagonalen der Netzmaschen überbrücken. Als Befestigungsmittel von Scheiben auf Seilnetzen wurden bisher entweder Punkthalter oder Klemmbügel verwendet. Beide sollten stets auf die Knotendetails der Seilnetze montiert werden und nicht in Form zusätzlicher Befestigungspunkte auf den Seilen. Hierdurch wird nicht nur eine bessere Krafteinleitung in das Seilnetz, sondern auch eine klare, üblicherweise mit einer Kostenersparnis verbundene Konstruktion erzielt.

Verglaste ebene Seilnetzflächen (Seilnetzwände)

Eine Sonderform der verglasten Netze sind die ebenen Seilnetzwände. Dabei handelt es sich um ebene Tragwerke, die ihre Fähigkeit, senkrecht zur Tragwerksebene wirkende Kräfte abzutragen, erst durch den Aufbau vergleichsweise großer Verformungen und entsprechend großer Kräfte in den Seilen erhalten. Um das Verformungsverhalten dieser Systeme zu steuern, werden die Seile entsprechend vorgespannt. Trotz der üblicherweise hohen Vorspannung sind Auslenkungen der Fläche unter Windbelastung in den Größenordnungen von l/50 ohne Weiteres üblich. Das bedeutet, dass die Befestigungen der Scheiben am Seilnetz entsprechend gelenkig und/oder verschieblich auszubilden sind. Die einzelnen Netzmaschen erfahren bei der Verformung des Gesamtnetzes eine Deformation, die in eine Verwindung (»warping«) und eine Verrautung (»wracking«) aufgeteilt werden kann. Die Verglasung des Netzes muss diese Verformungen entweder mitmachen oder sie muss in ihren Befestigungspunkten so gehalten werden, dass sich die Netzmasche relativ zur Glasscheibe verformen kann. Bereits ausgeführt wurden Befestigungssysteme mit taschenförmigen, weich ausgekleideten Halterungen an den Scheibenecken, wie an der Fassade des Hotels Kempinski in München, oder gebohrte Scheiben mit Punkthalterungen, die entsprechend große Verdrehungen und Verschiebungen aufnehmen können, wie am Dach des Bürogebäudes in Gniebel (Abb. 2.2.78).
In der statischen Berechnung eines verglasten Netzes wird man stets die Verwindung und die Verrautung jeder einzelnen Scheibe für jeden der auftretenden Lastfälle ermitteln und mit den zulässigen Verformungswerten vergleichen. Diese zulässigen Werte sind natürlich glas- und formatabhängig, Isolierverglasungen weisen deutlich niedrigere Verformungen auf. Ein interessantes Beispiel für die Anwendung eines ebenen Netzes als Überdachung stellt die Atriumüberdachung des Bürogebäudes in Gniebel dar. Es handelt sich hier um ein sehr flach gespanntes Seiltragwerk in einem ovalen Stahldruckring, der die Seilkräfte kurzschließt. Das Tragwerk erinnert in Form und Tragverhalten an einen Tennisschläger. Durch Kombina-



2.2.79



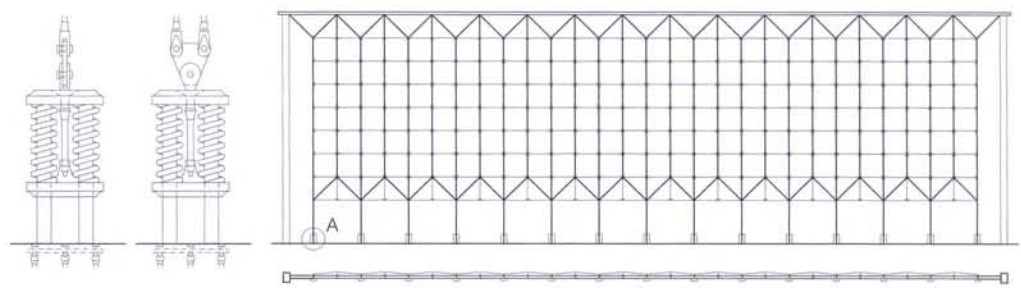
2.2.80

2.2.81

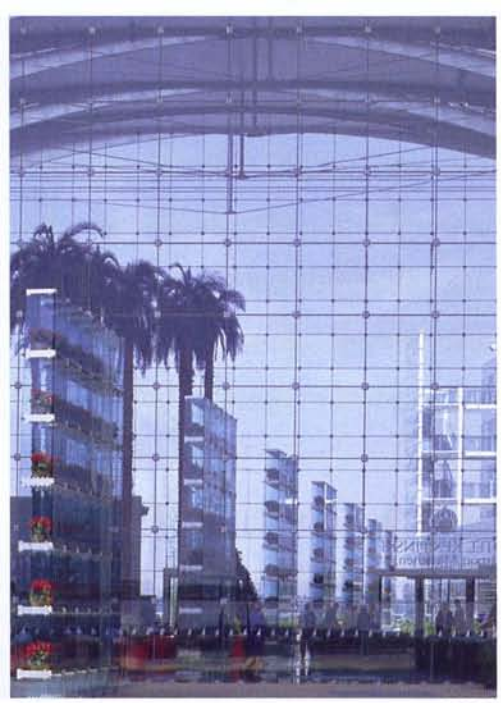
tion des »Tennisschlägerprinzips« mit einer lokalen Unterspannung sind weitere Optimierungen möglich (Abb. 2.2.81).
Eines der ersten und bis heute sicherlich noch bemerkenswertesten Beispiele für ein ebenes verglastes Seilnetz sind die Atriumfassaden des Hotels Kempinski in München (Abb. 2.2.84). Die 40 x 25 m größen Seilnetzfassaden sind in den massiven Baukörpern zu beiden Seiten, den Fundamenten und dem Dachträger verankert. Die 22 mm dicken Edelstahlseile bilden ein Raster von 1,5 x 1,5 m für die Verglasungselemente. Diese Seilnetzfassade stellt sicherlich neben den seilverspannten Glasfassaden im Pariser Parc de la Vilette von Adrien Fainsilber und Peter Rice einen wichtigen Meilenstein in der Entwicklung hin zu entmaterialisierten Fassaden in den 1980er-Jahren dar (Abb. 2.2.85).
Seilnetzfassaden sind nur möglich, wenn beide Seilscharen in den Primärkonstruktionen verankert werden können. Daher werden Seilnetzkonstruktionen meist nur bei Atriumfassaden angewendet, die ein umschließendes steifes Primärtragwerk besitzen. Dabei werden die Seile so hoch wie möglich vorgespannt, um die Verformungen zu minimieren und dabei auf ausgleichende Federn verzichten zu können. Mit diesen Seilnetzwänden ist eine Führung der Fassade über Gebäudeecken hinweg natürlich nur schwer bzw. gar nicht möglich.

Verglaste Vertikalseilfassaden
Eine weitere Steigerung und Minimalisierung erfährt das Prinzip des ebenen Netzes durch Weglassen einer der beiden Seilscharen. Diese verglasten Fassaden, deren tragende Konstruktion lediglich aus parallel verlaufenden, zumeist vertikal vorgespannten Seilen oder Zugstangen besteht, ermöglichen ein Maximum an Transparenz. Sie benötigen im Gegensatz zu den Seilnetzen kein umschließendes steifes Primärtragwerk zur Aufnahme der Seilkräfte. Dieses Konstruktionsprinzip wurde erstmals bei der vitrinenartigen Verglasung der denkmalgeschützten Überreste des Hotels Esplanade im Sony Center in Berlin von Helmut Jahn und Werner Sobek eingesetzt (Abb. 2.2.82). Dabei besteht die Fassade mit einer Abmessung von 60 x 20 m nur noch aus vertikal gespannten Zugstangen, die untereinander einen Abstand von 2 m aufweisen und deren Vorspannkraft über Federpakete konstant gehalten wird (Abb. 2.2.83). Die Federpakete ermöglichen eine nahezu gleichbleibende Vorspannkraft trotz Temperaturdehnungen und Auflagerverschiebungen des Primärtragwerks – das typische Weichwerden der Konstruktion bei hohen Temperaturen entfällt also. Dies erlaubt eine sehr effektive Dimensionierung der Stäbe und aller Anschlusskonstruktionen. Die Verglasung mit Tafelabmessungen von 2 x 2 m wird über gebohrte Punkthalterungen direkt an den Zugstangen befestigt.
Eine Weiterentwicklung dieser verglasten Vertikalseilfassaden stellt der zentrale Eingangsbereich der Universität Bremen (ZBUB) dar

2.2.82



2.2.83



2.2.84

2.2.85

(Abb. 2.2.88). Hier sind die vertikalen Seile im Abstand von 1,80 m zueinander angeordnet. Auch bei dieser Fassade stellen Federpakete eine konstante, relativ geringe Vorspannung in den Seilen sicher. Durch die geringen Seilkräfte kann auch das Primärtragwerk (Dachträgerrost) filigran ausgeführt werden und trägt zusätzlich zur Entmaterialisierung des Gebäudes bei. Die Glasscheiben sind lediglich über Klemmhalterungen zur Abtragung von Eigengewicht und Windlasten an den Vertikalseilen befestigt. Eine Exzentrizität von 15 cm zwischen Seilachse und Scheibenebene führt zu einer optisch fast nicht erkennbaren Verkrümmung der Seile im Bereich der Seilklemmen. Die Fugen zwischen den Scheiben sind im Gegensatz zur Esplanade Fassade mit Silikon geschlossen. Bei dieser 15 m hohen Fassade treten Fassadenverformungen von bis zu 35 cm auf. Die Übergänge zu den starren Fassadenteilen ermöglichen zwei parallele Glasschwerter, wobei eines an der starren Fassade und das andere an der Seilfassade befestigt ist. Ein in der Fuge zwischen den Glasschwertern gleitende Gummilippe stellt die Dichtigkeit sicher. Im Gegensatz zum ZBUB wurden die Übergänge in den Eckbereichen der Lobbyfassade der Hauptverwaltung von Bayer in Leverkusen mit geschlossenen Fugen ausgebildet. Gevoutete Flachstähle mindern hier in den Übergängen als eine Art Blattfeder die Seildurchbiegung und somit auch die Scheibenverwindung.
Vertikalseilfassaden mit Isolierverglasung wurden erstmalig bei den Verwaltungsgebäuden der Lufthansa in Frankfurt (Abb. 2.2.86 und 2.2.87) und der Erweiterung des Flughafens O'Hare in Chicago eingesetzt. Hier sind die maximalen Scheibenverwindungen durch sehr hohe Vorspannkräfte minimiert. Seilnetze und -fassaden weisen aufgrund ihrer Deformationsfähigkeit sehr gute Eigenschaften bei Bombenexplosionen auf. Dies wurde bei Explosionstests für die O'Hare-Fassade sowie Seilnetzfassaden bei dem Seven World Trade Center in New York beobachtet. Das entscheidende Entwurfskriterium bei Vertikalseilfassaden und ebenen Seilnetzen ist die Verformbarkeit unter Belastung. Die Lagerungen der Einzelscheiben sowie geometrische Unstetigkeiten der Fassade wie Randbereiche, Übergänge und Durchdringungen sind entsprechend der zu erwartenden Verformungen auszulegen, wobei die Zwangsbeanspruchungen der Verglasung zu minimieren sind. Diese sehr transparenten Fassadensysteme rücken das Glas durch die Reduktion der tragenden Stahlkonstruktion auf ein Minimum in den Vordergrund. Somit wird hauptsächlich die Transparenz, Reflexionseigenschaft und Farbcharakteristik des Werkstoffs Glas für das Erscheinungsbild der Gebäudehülle bestimmend.

2.2.86

2.2.87

2.2.86 und 2.2.87 Verwaltungsgebäude Lufthansa, Frankfurt/Main
Architekten: Ingenhoven Overdiek und Partner
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

2.2.88 zentraler Eingangsbereich, Universität Bremen (ZBUB)
Architekten: Alsop & Störmer
Ingenieure: Werner Sobek Ingenieure

2.2.88

Glas und Energie – Bauphysik

Matthias Schuler und Stefanie Reuss

Glas ist der Werkstoff in der Baukonstruktion, der es ermöglicht, abgeschlossene Räume zu schaffen, in die Tageslicht eintreten kann, ohne von Klimaeinflüssen wie Wind und Regen beeinträchtigt zu werden.
Eine hervorzuhebende Eigenschaft von Glas ist seine Selektivität beim Strahlungsdurchgang: Kurzwellige Solarstrahlung kann die Glasschicht größtenteils passieren, während langwellige Wärmestrahlung am Glas reflektiert wird. Die in den Raum transmittierte kurzwellige Strahlung wird an den beschienenen Flächen im Raum absorbiert und in langwellige Strahlung umgewandelt. Diese kann nicht wieder aus dem Raum herausgelangen und der Raum heizt sich auf, was als Glashaus-Effekt bezeichnet wird. Diese Eigenschaft der Selektivität erlaubt zum Beispiel im kalten Mitteleuropa das Bepflanzen von Glashäusern mit tropischen Gewächsen und führte zusammen mit der Entwicklung der Ingenieurskunst zu den Palmenhäusern am Ende des 19. Jahrhunderts.

Die Verbesserung der Glasqualität von Translu-zenz (Lichtdurchlässigkeit) zu Transparenz (Bild- oder Blickdurchlässigkeit) ermöglicht eine Außenbeziehung für den Menschen im Gebäude. Durch Glas entstehen Bauten, die statt Gucklöchern Fensterflächen besitzen, die Lichteintritt ermöglichen und zugleich erlauben, die Strahlungsgewinne für die Raumerwärmung zu nutzen.

Heute stellt Glas einen hochwertigen Baustoff dar, der hervorragende bauphysikalische Eigenschaften besitzt und nicht hinter anderen Baustoffe zurückzustehen braucht.

Der folgende Beitrag erörtert die bauphysikalischen und energetischen Aspekte von Glas in seinen unterschiedlichen Anwendungen als Wand- und Dachelement. Dabei werden aufbauend auf den grundlegenden Eigenschaften von Glas die Bereiche Energiegewinnung, Wärmeverlust und Tageslicht näher betrachtet. In einem Abschnitt über konkrete Anwendungen werden die Effekte in der Nutzung von Glas in Elementen für Fassaden und Dächer, aber auch für Systemkomponenten wie Sonnenkollektoren angesprochen und bewertet.

Energetisch und bauphysikalisch relevante Glaseigenschaften

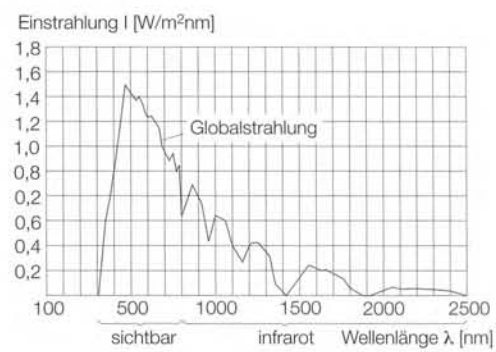
Als Grundlage einer Beschreibung der Grundprinzipien und Effekte bei der Verwendung von Glas als Baustoff sind einige Begriffsdefinitionen vorzunehmen, um eine Eindeutigkeit der Aussagen sicherzustellen.

Transparenz

Laut Duden bedeutet Transparenz Durchsichtigkeit, Lichtdurchlässigkeit, Klarheit oder Durchschaubarkeit. Diese Begriffsdefinition beschreibt die physikalische Eigenschaft des Strahlungsdurchgangs nur eingeschränkt. So ist die Lichtdurchlässigkeit immer mit einer bestimmten Strahlung, einer bestimmten Wellenlänge oder einem Wellenlängenspektrum verbunden. Andererseits ermöglicht ein transparentes Bauteil eine klare Durchsicht, während ein transluzentes Bauteil zwar Strahlung passieren lässt aber keine klare Durchsicht bietet.
Die Transmission bezeichnet die Strahlungsdurchlässigkeit unabhängig von der Abbildungsqualität eines Gegenstandes hinter dem Bauteil.
Zum besseren Verständnis werden im Folgenden vor den Glaseigenschaften die Strahlungseigenschaften erläutert, da sich viele Effekte aus den physikalischen Randbedingungen der Wärme- und Sonnenstrahlung ableiten.

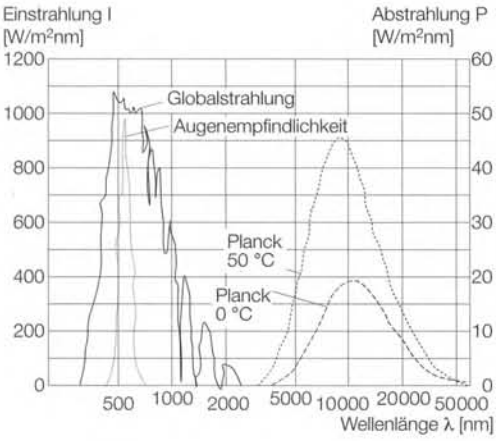
Strahlungsspektrum

Üblicherweise unterteilt man das Strahlungsspektrum der für das Bauen relevanten Strahlung in drei Wellenlängenbereiche: den Bereich der UV- oder ultravioletten Strahlung von 0 bis 380 nm Wellenlänge, den Bereich der sichtbaren Strahlung auf den das menschliche Auge reagiert mit Wellenlängen von 380 bis 780 nm und den Bereich der Wärmestrahlung des nahen Infrarot von 780 bis 2800 nm. Das Sonnenspektrum an der Erdoberfläche verteilt sich an einem klaren Tag wie in Abb. 2.3.1 gezeigt. Die Hauptanteile liegen mit 47 % im sichtbaren Bereich und mit 46 % im Bereich der Wärmestrahlung. Der relativ geringe UV-Anteil von 7 % setzt sich aus der biologisch wirksamen UV-Strahlung UV-B von 280 bis 315 nm und

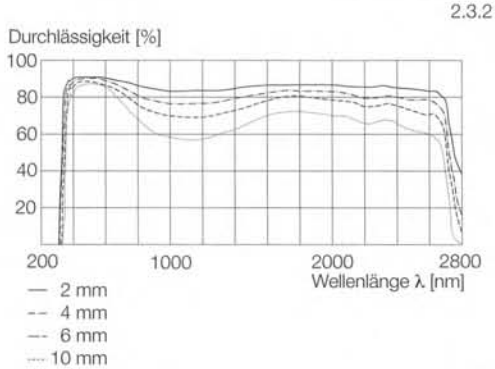


2.3.1

2.3.1 normierte relative spektrale Verteilung der Globalstrahlung nach DIN EN 410

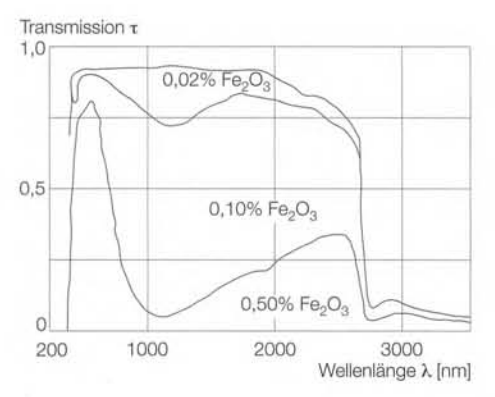


2.3.2



2.3.3

Die Kurven zeigen die Glaseigenschaften mit hoher Transmission im sichtbaren Bereich, reduzierter Transmission im nahen Infrarot(IR)-Bereich und einer Undurchlässigkeit im langwelligen IR-Bereich.
Die Strahlung am Einbruch der Transmission im Bereich von 2800 nm entspricht der Wärmestrahlung eines Körpers mit 800 °C. Dies zeigt die Brandproblematik einer Glasabtrennung, die zwar dem Brand widerstehen kann, solange das Glas selbst eine Temperatur von 700 °C nicht überschreitet, allerdings die Wärmestrahlung des Brandes im Allgemeinen mit über 800 °C das Glas passiert und zur Selbstentzündung auf der anderen Seite führen kann.



2.3.4

der langwelligen UV-Strahlung UV-A von 315 bis 380 nm zusammen. Die integrale Strahlungssumme ergibt außerhalb der Erdatmosphäre die so genannte Solarkonstante von 1353 W/m². Neben dem Sonnenspektrum spielt bei der Verwendung von Glas die Empfindlichkeit des menschlichen Auges im Bereich des sichtbaren Lichts eine wichtige Rolle (Abb. 2.3.2). Zur Bestimmung der durch eine Glasscheibe eingefangenen Solarstrahlung muss die spektrale Durchlässigkeit der Scheibe bekannt sein. Abb. 2.3.3 zeigt den Verlauf der Transmission in Abhängigkeit von der Wellenlänge eines Floatglases mit einem mittleren Gehalt von 0,10 % Fe_2O_3 für verschiedene Scheibendicken. Der Verlauf der Kurven dokumentiert die Selektivität des Glases, mit hoher Transmission für den sichtbaren Bereich, reduzierter Transmission für den nahen IR-Bereich bis 2800 nm und Undurchlässigkeit für den langwelligen IR-Bereich, wo die Abstrahlung von warmen Oberflächen stattfindet (siehe Abb. 2.3.2).
Im UV-Bereich zeigt sich, dass Floatglas für die biologische UV-Strahlung praktisch undurchlässig ist und dass ab einer Scheibendicke von ca. 5 mm auch die langwellige UV-Strahlung vollständig absorbiert wird. Dieser Effekt ist beim Bau und Betrieb großer Glashäuser bedeutsam, da die UV-Strahlung neben der biologischen Wirkung auch ein natürlicher Gegner von Schädlingen ist. Andererseits kann auch schon ein geringer UV-Anteil hinter der Scheibe zu Materialveränderungen wie Ausbleichen und Verspröden führen. Eines der Elemente im Glasgemisch, das für die Absorption und damit für die reduzierte Transmission der Sonnenstrahlung verantwortlich ist, ist Eisenoxid (Fe_2O_3), das optisch über die Grünfärbung der Glasbruchkante zu erkennen und besonders für den Einbruch der Transmission im Bereich von ca. 1000 nm verantwortlich ist. Mit reduziertem Fe_2O_3-Anteil verringert sich die Absorption im Glas und ergibt damit eine höhere Transmission. Dies ist besonders im Bereich des sichtbaren Lichts zu bemerken, weshalb eisenarme Gläser eine höhere optische Transparenz besitzen. Abb. 2.3.4 zeigt die Summe der Strahlungsdurchlässigkeit für das Sonnenspektrum bei unterschiedlichen Eisenoxidanteilen. UV-transparente Gläser für den therapeutischen Bereich z.B. in Luftkurorten lassen sich nur in Floatglas mit absolut eisenfreien Bestandteilen oder in Kieselglas ausführen.

Tageslichttransmission
Bei der Raumausleuchtung spielt die Transmission der sichtbaren Strahlung – als Tageslicht bezeichnet – mit Wellenlängen von 380 bis 780 nm durch die Verglasung neben der Fenstergröße die entscheidende Rolle, während die Anordnung der Fensteröffnung und Reflexion der Raumoberflächen für die Lichtverteilung im Raum verantwortlich sind. Als Kennwert wird die Lichtdurchlässigkeit oder der Lichttransmissionsgrad angegeben. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass auch die sichtbare Strahlung eine energetische Strahlung darstellt und sich dort, wo sie absorbiert wird, in Wärmestrahlung umwandelt.

Lichttransmissionsgrad τ_v (gemäß DIN EN 410)
Der Lichttransmissionsgrad oder die Lichtdurchlässigkeit drückt den direkt durchgelassenen, sichtbaren Strahlungsanteil im Bereich der Wellenlängen des sichtbaren Lichts von 380 bis 780 nm bezogen auf die Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges aus. Der Lichttransmissionsgrad wird in Prozent angegeben und ist unter anderem von der Glasdicke beeinflusst. Die Lichtdurchlässigkeit der Verglasung sollte objekt- und umgebungsbezogen gewählt werden, um DIN 5034 und der Arbeitsstättenverordnung zu entsprechen. Alternativ kann die Fensterfläche vergrößert werden. Der Lichttransmissionsgrad ist besonders im Zusammenhang mit Sonnenschutzverglasungen von hoher Bedeutung, da diese Gläser als Sonnenschutz eingesetzt einen niedrigen g-Wert besitzen sollten, aber einen hohen Lichttransmissionsgrad, um nicht die fehlende Raumbelichtung durch die Sonne mit Strom für das Kunstlicht ersetzen zu müssen. Aufgrund der unterschiedlichen Transmission für den gesamten Strahlungsverlauf und den Ausschnitt des sichtbaren Lichts werden Licht- und Energietransmission als Kennwerte eines Glases unterschieden.

Direkter Strahlungstransmissionsgrad σ_e (gemäß DIN EN 410)
Der Strahlungstransmissionsgrad σ_e, auch Energietransmissionsgrad genannt, bezeichnet den Anteil der Sonnenstrahlung, der direkt durch die Verglasung durchgelassen wird, und bezieht sich auf das gesamte Sonnenspektrum von 300 bis 2500 nm. Abweichend von den tatsächlichen Verhältnissen wird hierbei vereinfachend angenommen, dass die Spektralverteilung der Globalstrahlung unabhängig vom Sonnenstand und den atmosphärischen Bedingungen z.B. Staub, Dunst, Wasserdampfgehalt ist und die Globalstrahlung gerichtet und nahezu senkrecht auf die Verglasung auftrifft.

UV Transmissionsgrad τ_{UV} (gemäß DIN EN 410)
Der UV-Transmissionsgrad entspricht dem Transmissionsgrad für den ultravioletten Bereich des Solarspektrums von 280 bis 380 nm. Dieser Parameter der Verglasung kann z.B. im Museumsbau wichtig sein, wenn UV-strahlungsempfindliche Exponate tagesbelichtet ausgestellt werden sollen. Im Gegensatz dazu sollte für Pflanzen hinter Glas darauf geachtete werden, dass ausreichend UV-Strahlung eintritt.

g-Wert (gemäß DIN EN 410)
Der g-Wert ist der Gesamtenergiedurchlass im Bereich der Wellenlängen von 300 bis 2500 nm. Die Größe ist für klimatechnische Berechnungen von Bedeutung und wird in Prozent ausgedrückt. Der Wert setzt sich zusammen aus der direkten Transmission von Solar-

strahlung σ_e sowie aus der Wärmeabgabe der im Glas absorbierten Anteile in Form von Wärmestrahlung und Konvektion in den Raum, dem sekundären Wärmeabgabegrad q_i ($g=\sigma_e+q_i$). Bei der Ermittlung des g-Werts für Isolierglas werden Mehrfachreflexionen an den verschiedenen Scheiben einer Mehrfachverglasung sowie der Einfluss von Beschichtungen und Gasfüllungen des Gesamtverglasungsaufbaus berücksichtigt.

Strahlungsbilanz (Transmission, Reflexion, Absorption)

Da im Gesamtsystem keine Energie verloren geht, muss sich die Bilanz der eingestrahlten Energie mathematisch auflösen lassen. Demnach wird alle Energie, die auf eine Glasscheibe auftrifft, entweder durchgelassen (Transmission), zurückgestrahlt (Reflexion) oder im Glas aufgenommen und in Wärme umgewandelt (Absorption). Das erwärmte Glas gibt seine Energie über Wärmestrahlung und Konvektion wieder an seine Umgebung ab. Abb. 2.3.5 *stellt die Bilanz für die beiden Wellenbereiche* am Beispiel einer 4 mm dicken Floatglasscheibe dar. Es wird gezeigt, dass die Transmission bedingt durch unterschiedliche Absorption und Reflexion über das Wellenspektrum verschieden ist und daher auch für Floatglas im gesamten Bereich der Solarstrahlung und den Ausschnitt des sichtbaren Tageslichts unterschiedlich ist.

Konsequenz Treibhauseffekt

Als Konsequenz der spektralen Abhängigkeit der Durchlässigkeit von Floatglas ergibt sich der Glashaus- oder Treibhauseffekt. Kurzwellige Solarstrahlung wird mit hoher Durchlässigkeit durch die Glasscheibe in den Raum eingestrahlt. Dort wird sie partiell direkt absorbiert oder reflektiert und an anderen Oberflächen absorbiert. Je nach geometrischer Anordnung kann auch ein Teil der Strahlung als kurzwellige Strahlung wieder durch die Glasscheibe aus dem Raum herausreflektiert werden. Die absorbierte Solarstrahlung wird an der Oberfläche des beschienenen Körpers in Wärme umgewandelt. Als Reaktion seiner Temperaturerhöhung strahlt dieser Körper nun langwellige Wärmestrahlung ab, die zum Teil auch auf die Verglasung trifft, allerdings dort größtenteils absorbiert und partiell reflektiert, nicht aber wieder nach außen transmittiert wird. Vergleicht man die Wärmeströme, die nun über Strahlung eingekoppelt werden, liegen diese bei über 500 W/m² Glasscheibe, während die Wärmeverluste durch das Glas bei einer angenommenen Übertemperatur des Raumes von 20 K gerade mal 120 W/m² betragen. Dies zeigt, dass sich der Raum unter dieser intensiven Bestrahlung aufwärmt, was man als Treibhauseffekt bezeichnet, und erklärt, warum es möglich ist, dass verglaste Räume trotz niedriger Außentemperatur überhitzen können (Abb. 2.3.6).

Der entsprechende Effekt spielt sich auch in unserer Atmosphäre ab, so dass sich vergleichbar mit der Erwärmung eines verglasten Raumes die globale Erderwärmung einstellt. Die bedingt durch den Abbrand fossiler Energieträger erhöhten CO_2-Anteile in der Atmosphäre reduzieren durch Absorption die langwellige Rückstrahlung von Wärme von der Erde ins Weltall. So entsteht der Treibhauseffekt. Solarstrahlung heizt die Erde auf, des Weiteren werden fossile Energiequellen freigesetzt, die die Erdoberfläche zusätzlich erwärmen, und gleichzeitig reduziert sich die Transmission im langwelligen Bereich, so dass die Atmosphäre opak für Wärmestrahlung wird. Ergänzend zu den angeführten Punkten sind folgende Begriffsdefinitionen wichtig:

Selektivkennzahl

Als Selektivkennzahl bezeichnet man das Verhältnis von Lichttransmission zum Energiegesamtdurchlass. Diese Kennzahl bewertet Sonnenschutzgläser in Bezug auf einen erwünschten hohen Lichttransmissionsgrad im Verhältnis zu dem jeweils angestrebten niedrigen Gesamtenergiedurchlassgrad. Eine hohe Selektivkennzahl drückt ein günstiges Verhältnis aus – d.h. viel Licht bei wenig Wärme – und sollte im Bereich des theoretischen Maximums von 2 liegen. Bei der Auswahl der Gläser sollte jedoch unbedingt auf die Verfügbarkeit am jeweiligen Markt geachtet werden.

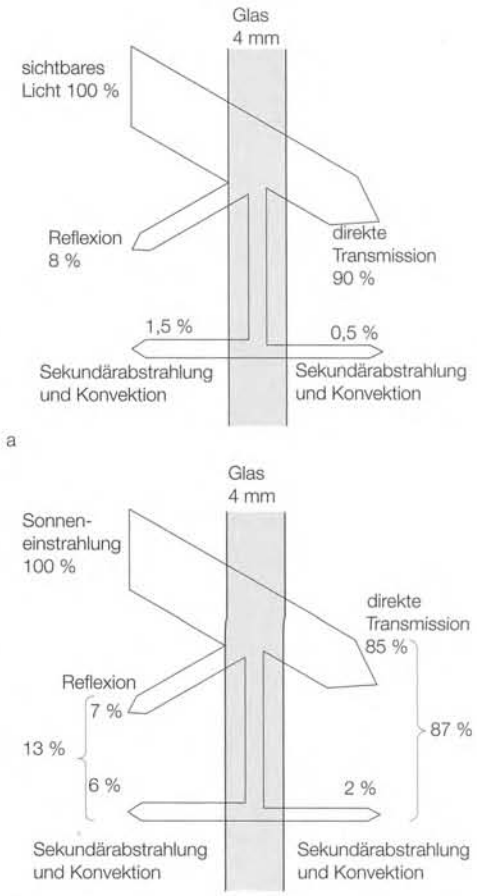
Verschattungskoeffizient b (shading coefficient gemäß VDI 2078)

Der Verschattungskoeffizient oder b-Faktor gibt das Verhältnis des g-Werts der jeweiligen Verglasung zum g-Wert einer Zweischeiben-Normalverglasung an. Der g-Wert dieser Isolierverglasung wird als Konstante mit 80 % angesetzt. Diese Neuerung ersetzt seit Oktober 1994 den Bezug auf die zuvor geltende 3 mm Einfachverglasung mit einem g-Wert von 87 %.

b-alt = g/0,87
b-neu = g/0,80

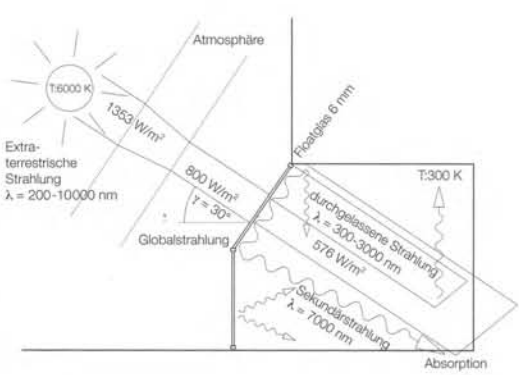
Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung mit Sonnenschutzvorrichtung g_{total}

Nach DIN 4108 Teil 2 ist der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung das Produkt aus dem g-Wert des Glases und dem Abminderungsfaktor F_c der entsprechenden Sonnenschutzvorrichtung ($g_{total} = F_c \times g$).
Dieser Abminderungsfaktor kann entweder nach einem im Teil 6 dieser Norm angegebenen Verfahren berechnet oder einer Tabelle aus der Norm entnommen werden. Die Tabellenwerte liegen zwischen 0,25 für außen liegende Jalousien mit einer Transmission von weniger als 10 % und 0,9 für innen liegende, dunkle Verschattungsvorrichtungen. Da der F_c-Wert unter anderem von der Kombination aus Verschattung und Verglasungsart abhängt, kann ein und dasselbe Produkt verschiedene F_c-Werte aufweisen, je nachdem ob es mit einem Wärme- oder Sonnenschutzglas kombiniert wird. Viele Produzenten von Sonnenschutzsystemen haben bereits darauf reagiert und geben die aus Messungen ermittelten

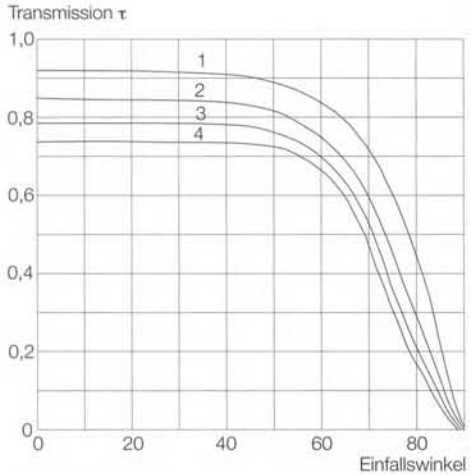


2.3.5

2.3.2 Augenempfindlichkeit und Wärmestrahlung im Vergleich zum Sonnenspektrum
2.3.3 Verlauf der spektralen Transmission verschiedener Scheibendicken von Floatglas mit einem mittleren Gehalt von 0,10 % Fe_2O_3 im Glas
2.3.4 spektraler Verlauf verschiedener Fe_2O_3-Anteile
2.3.5 Energie und Tageslichtbilanz an einer 4 mm Glasscheibe
a sichtbares Licht
b Sonnenstrahlung
2.3.6 Treibhauseffekt

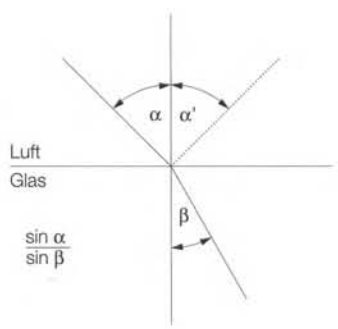


2.3.6



Es ergibt sich für die Transmission in Abhängigkeit des Einfallswinkels der folgende Verlauf für eine Ein- und Zweifachverglasung. Dabei sind mehrfache Reflexionen im Glas berücksichtigt.

2.3.7



2.3.8

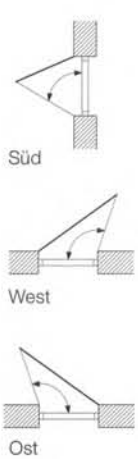
unterschiedlichen F_c-Werte für ihr Produkt in Kombination mit den üblichsten Verglasungstypen an (Abb. 2.3.9).

Farbwiedergabe-Index R_a (gemäß DIN EN 410)
Die Farbwiedergabe ist für das physiologische Verhalten und die psychologischen und ästhetischen Eindrücke von großer Wichtigkeit, so werden z.B. für tagesbelichtete Museumsbauten sehr hohe Anforderungen an den Farbwiedergabeindex (Ra > 97–98)gestellt. Das Farbklima des Raumes wird durch die Veränderung der spektralen Zusammensetzung des einfallenden Tageslichts beeinflusst. So beschreibt der R_a, D-Wert die Farberkennung im Raum bei Tageslicht. Der R_a, R-Wert bewertet die Farbwiedergabe auf der Ansichtsseite. Die Farbwiedergabeeigenschaften einer Verglasung werden durch den Farbwiedergabeindex R_a nach DIN EN 410 ermittelt. Die Skala von R_a reicht bis maximal 100, wobei der mit einer Verglasung maximal erreichbare Wert bei 99 liegt: $R_a > 90$ bedeutet eine sehr gute Farbwiedergabe, $R_a > 80$ eine gute Farbwiedergabe. Es ist zu beachten, dass die reale Farbwiedergabe vom Ansichtswinkel abhängt, während die obige Definition über ein Spektrum verschiedener Strahlungspeaks erfolgt. Dies kann dazu führen, dass es in der seitlichen Durchsicht zu einer Farbverfälschung kommt, auch wenn $R_a > 90$ angegeben wird.
Alle bisherigen Angaben über Transmission gelten für senkrecht einfallende Strahlung. Schräger Strahlungseinfall führt zu optischen Veränderungen. Abb. 2.3.7 stellt die Transmission in Abhängigkeit des Einfallswinkels am Beispiel einer Einfach- und Mehrfachverglasung dar.

Brechung
Trifft ein Lichtstrahl in einem Medium (z.B. Luft) unter einem bestimmten Winkel auf die Grenzfläche zu einem anderen Medium (z.B. Glas), so wird ein Teil des Strahls im selben Winkel reflektiert, der Rest tritt unter Richtungsänderung (Brechung) in das andere Medium ein. Bei Eintritt vom optisch dünneren Medium Luft in das optisch dichtere Medium Glas wird der Strahl zum Lot hin gebrochen, der Ausfallswinkel ist kleiner als der Einfallswinkel. Beim Austritt vom Glas in die Luft wird der Ausfallswinkel größer (Abb. 2.3.8). Der Brechungsindex ist eine materialspezifische Größe. Entsprechend dem Brechungsindex gibt es für jedes Materialpaar einen Grenzwinkel, ab welchem beim Wechsel von dichterem zu dünnerem Medium der gesamte Strahl so gebrochen wird, dass ein Strahlungsaustritt verhindert wird. Diesen Zustand nennt man Totalreflexion. Im Vergleich liegen die Brechungsindizes von Flachglas bei 1,52, von Wasser bei 1,33 und Diamant bei 2,42.

Weitere Kenngrößen von unbeschichtetem Glas:
Emissionsvermögen [0,837]
Diese Größe beschreibt die Fähigkeit Energie in Form von Strahlung abzugeben. Ein ideal Energie abstrahlender Körper, auch schwarzer Körper genannt, besitzt im Vergleich ein Emissionsvermögen von 1,0. Das hohe Emissionsvermögen von Glas führt dazu, dass Glas einerseits für langwellige Strahlung opak ist, also nicht transparent, andererseits strahlt eine warme Glasfläche sehr gut Wärme ab. Für den Wert des Emissionsvermögens sind die obersten Schichten der Glasoberfläche verantwortlich, die aus Alkali- und Erdalkalioxiden – elektrischen Nichtleitern – bestehen. Entsprechend können mittels dünner, auf die Glasoberfläche aufgebrachter Metallschichten das Emissionsvermögen und damit die thermischen Eigenschaften der Verglasung verändert werden. So bestehen z.B. marktübliche Wärmeschutzisolierverglasungen aus einer unbeschichteten Glasscheibe und einer Glasscheibe, auf welche eine dünne Metallschicht aufgedampft wurde, so dass sich deren Emissionsvermögen auf bis zu 0,02 verringert. Dadurch wird der Strahlungsaustausch zwischen der äußeren, im Winter kalten und der inneren, warmen Glasscheibe verhindert und die Dämmeigenschaft der Verglasung stark verbessert.

Wärmeleitfähigkeit [1 W/mK]
(gemäß CEN/TC 89, Annex B)
Die Wärmeleitfähigkeit λ gibt den Wärmestrom an, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 K



Zeile		Sonnenschutzvorrichtung[a]	F_c
1		ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,0
2		innen liegend oder zwischen den Scheiben[b]:	
	2.1	weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz	0,75
	2.2	helle Farben oder geringe Transparenz[c]	0,8
	2.3	dunkle Farbe oder höhere Transparenz	0,9
3		außen liegend	
	3.1	drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
	3.2	Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz[c], hinterlüftet	0,25
	3.3	Jalousien, allgemein	0,4
	3.4	Rolläden, Fensterläden	0,3
	3.5	Vordächer, Loggien, frei stehende Lamellen[d]	0,5
	3.6	Markisen[d], oben und seitlich ventiliert	0,4
	3.7	Markisen[d], allgemein	0,5

[a] Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
[b] Für innen und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen, da sich erheblich günstigere Werte ergeben können.
[c] Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15 % gilt als gering.
[d] Dabei muss näherungsweise sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist der Fall, wenn
- bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50°$ ist
- bei Ost- oder Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85°$ oder $\gamma \geq 115°$ ist

Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von ± 22,5°. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $b \geq 80^a$ erforderlich.

2.3.9

(Kelvin) zwischen innen und außen durch eine bestimmte Materialdicke strömt. Vergleicht man die Wärmeleitfähigkeit von Glas mit der von Baustahl St 38 mit 75 W/mK oder Mineralwolle mit 0,04 W/mK, so zeigt sich, dass diese zwar relativ niedrig liegt, aber in Verbindung mit der typischen Schichtdicke von z.B. 4 mm ein sehr großer spezifischer Wärmestrom von 250 W/mK entsteht. Glas kann daher nicht als Dämmstoff bezeichnet werden. Die bei Einfachverglasung auftretende Dämmwirkung entsteht allein aus dem Wärmewiderstandskoeffizienten des Übergangs beiderseits des Glases an die Luft. Damit lässt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient von 5,8 W/m²K erreichen.

Wärmedehnung [9,0 x 10^{-6} 1/K]
Unter der Wärmedehnung versteht man die Längen- und Volumenänderung eines Körpers bei Wärmezufuhr. Die Wärmedehnung ist ein wichtiger Kennwert bei der Verwendung von Glas unter Temperaturwechselbedingungen. Der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient α wird in 1/K angegeben und stellt die Änderungen der Länge je Längeneinheit bei einer Temperaturerhöhung von 1 K dar. Der volumetrische Ausdehnungskoeffizient β kann ungefähr über 3 x α bestimmt werden. Ein Vergleich mit den Wärmedehnungen anderer Baustoffe zeigt, dass Stahl mit 11 x 10^{-6} 1/K und Beton mit 9 x 10^{-6} 1/K sehr ähnlich liegen und daher gemischte Konstruktionen auch bei Temperaturwechsel zulassen.

Spezifische Wärmekapazität [840 J/kgK]
Die spezifische Wärmekapazität ist die Wärmemenge, die notwendig ist, um 1 kg eines Stoffs um 1 K zu erwärmen. Glas liegt als mineralischer Baustoff etwa im selben Bereich wie Stahl mit 800 J/kgK und Beton mit 880 J/kgK, weit hinter Wasser mit 4180 J/kg K. Dieser Wert wird interessant für größere Scheibendicken, da dann die thermische Trägheit des Scheibenpakets eine Rolle spielen kann.

Wärmedämmung
Die Wärmeschutzfunktion von Glas bei der Trennung zweier Klimata – z.B. innen und außen – beruht wie bei einer undurchsichtigen Wand auf dem thermischen Widerstand des Materials und den Widerständen an den Oberflächen. Da Glas die Wärme relativ gut leitet, muss ein erhöhter Widerstand über eine Mehrschichtigkeit mit Zwischenräumen erreicht werden. Kondenswasser und Eisblumen sind Kennzeichen des niedrigen Wärmewiderstandes von Einfachglas.

Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert gemäß DIN EN 673)
Der Wärmedurchgangskoeffizient ist die zentrale Maßeinheit zur Ermittlung des Wärmeverlusts eines Bauteils. Der Wärmedurchgangskoeffizient gibt den Wärmestrom an, der durch 1 m² eines Bauteils bei einem Temperaturunterschied der Raum- und Außenluft von 1 K strömt. Je kleiner der U-Wert mit der Dimension W/m²K, desto besser die Wärmedämmung.
Nach DIN EN 673 ist der U-Wert ein Parameter, der den Wärmedurchgang durch den mittleren Bereich der Verglasung, d.h. ohne Randeffekte, charakterisiert. Er wird berechnet aus dem Gesamtwärmedurchlasskoeffizienten h_t der Verglasung und dem inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten h_e und h_i ($1/U=1/h_e+1/h_t+1/h_i$).
Der äußere Wärmeübergangskoeffizient ist unter anderem abhängig von der Windgeschwindigkeit und dem Emissionsvermögen der äußeren Verglasungsoberfläche. Im Normalfall beträgt er 23 W/(m²K), was zu einem reziproken Wert von $1/h_e=0,04$ m²K/W führt.
Der innere Wärmeübergangskoeffizient setzt sich zusammen aus dem Strahlungsleitwert h_r und dem Wärmedurchlasskoeffizienten infolge Konvektion h_c ($h_i=h_r+h_c$).
Wird eine innere Scheibe mit niedrig emittierender Oberfläche ($\varepsilon < 0,837$) dem Raum zugewandt verwendet, so wird der Strahlungsbeiwert entsprechend der Emissivität korrigiert.
Der Wert für h_c beträgt im Normalfall 3,6 W/m²K, womit sich für ein nicht zum Raum hin beschichtetes Glas ein innerer Wärmeübergangskoeffizient von 8 W/m²K ($1/h_i=0,13$ m²K/W) ergibt.
Der Gesamtwärmedurchlasskoeffizienten h_t der Verglasung setzt sich zusammen aus den Reziprokwerten der Wärmedurchlasswiderstände der Glaszwischenräume und der einzelnen Glasscheiben.
Der erhöhte konvektive Wärmeübergang bei waagerecht stehender Verglasung wird in der Berechnung über Korrekturfaktoren berücksichtigt.
Für eine 4 mm Einfachverglasung ergibt sich ein U-Wert von 5,75 W/m²K:

$R_g = s/\lambda = 0,004$ m/1 W/mK = 0,005 m²K/W
$R_{ges} = R_i + R_g + R_a = 0,13 + 0,004 + 0,04 =$
0,174 m²K/W

$U = 1/R_{ges} = 5,75$ W/m²K

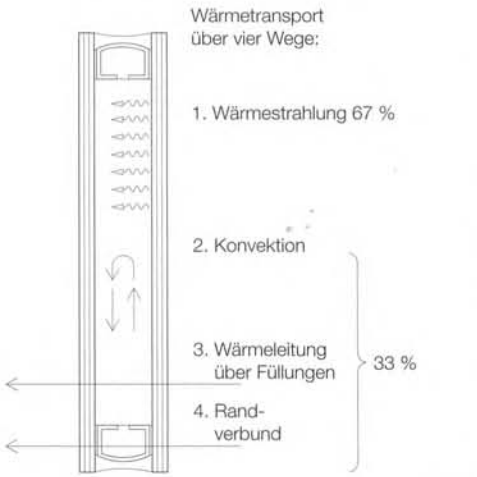
Wichtig ist hier, dass die ermittelten Werte für einen kombinierten Wärmeübergang gelten, also konvektive und strahlungsbedingte Wärmeströme einschließen.

Wärmeverluste über Konvektion
Der rein konvektive Wärmeübergang an der Innenseite einer senkrecht überströmten Platte lässt sich mit 2–3 W/m²K beschreiben und zeigt, dass hier der Wärmestrom über den Strahlungsaustausch mit ca. 5 W/m²K beim Emissionskoeffizient 0,85 überwiegt. An der Außenseite hängt der Übergangskoeffizient stark von der Windgeschwindigkeit ab, wobei sich der konvektive Anteil über die folgende Formel mit dem Wind korrelieren lässt,

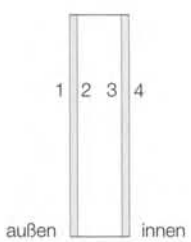
$h_e = 2,8 + 3,0 \times v$ [W/m²K]
mit v in [m/s] nach Watmuff 1977

Diese Formel gilt für eine ungestörte Fläche.

2.3.7 Transmission in Abhängigkeit des Einfallswinkels für Floatglas bei 1, 2, 3, 4 Scheiben
2.3.8 Strahlbrechung am Glas mit Formel nach Snellius
2.3.9 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen (gemäß DIN EN 4108 Teil 2)



2.3.10



2.3.11

2.3.10 Wärmetransport im Isolierglas
2.3.11 Positionsbezeichnung am Isolierglas
2.3.12 Feuerzeugprobe zur Schichtenermittlung
2.3.13 Vergleich von Low-E-Wärmeschutzglas und unbeschichtetem Isolierglas

2.3.12

Störungen wie Vorsprünge etc. können zu lokalen reduzierten Überströmungen aber auch zu lokalen Turbulenzen führen. Dadurch kann es im Randbereich eines Fensters zu einem reduzierten Wärmeübergang kommen, die Scheibe wird kälter, da weniger Wärme vom Raum nachfließt, und es kann sich Kondensat bilden.

Wärmeverluste über Strahlung
Der Strahlungsanteil an der Außenseite hängt stark von der Wärmestrahlung des Gegenstrahlers, in diesem Fall des Himmels, ab. Für klaren Himmel lässt sich diese Wärmestrahlung über eine fiktive Himmelstemperatur definieren, die sich nach Swinbank für den wolkenlosen Himmel aus der Umgebungstemperatur errechnen lässt:

$T_{Himmel} = 0.0552 \times (T_{umg})^{1.5}$
Temperaturen in Kelvin, Himmelstemperatur nach Swinbank

So ergibt sich beispielsweise für 0 °C Umgebungstemperatur (272 K) eine Himmelstemperatur von 247 K oder -24,4 °C. Dies zeigt, dass besonders waagrechte Glasflächen, die ausschließlich dem Himmel zugewandt sind, für klaren Himmel hohe Strahlungsverluste aufweisen. Für bewölkten Himmel stellt sich je nach Bewölkungsgrad eine Mitteltemperatur aus T_{Himmel} und der Wolkentemperatur oder Taupunkttemperatur der Außenluft ein. Überschlägig lässt sich hieraus ein Wärmestrom für Strahlung gegen den Himmel mit 4,8 W/m²K bestimmen. In einer klaren Nacht, kann z.B. bei 0 °C Umgebungstemperatur und 5 °C Scheibenoberflächentemperatur der Wärmestrom über Abstrahlung an den Himmel 141 W/m² betragen. Nimmt man zusätzlich eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s an, so beträgt der konvektive Wärmestrom 29 W/m². Wird nicht über einen entsprechend hohen U-Wert genügend Wärme von innen nachgeliefert, senkt sich die Oberflächentemperatur ab. Dies kann bei hochgedämmten Scheiben zu einer Abkühlung bis unter die Umgebungstemperatur und zu Tau- oder Reifbildung an der Außenscheibe führen. Bei Dachfenstern und Fassaden mit guten Wärmedämmwerten ist unter Umständen in trüben Winterwochen eine permanente Bereifung möglich. Andererseits verursachen in diesem Fall erhöhte Windgeschwindigkeiten konvektive Gewinne, der Wind fächelt der kalten Fläche warme Luft zu. Die Abstrahlungsverluste können bei weniger guten Wärmedämmwerten der Verglasung zu Kondensationserscheinungen an der Raumseite führen, wenn die Oberflächentemperatur unter die Taupunkttemperatur des Raums absinkt. Dies ist beispielsweise bei einfach verglasten Wintergärten im Dachbereich erkennbar.

Der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient U_{eq}
Damit eine einfache wärmetechnische Bewertung von Verglasungen unter Berücksichtigung der Solarstrahlung zur Unterstützung der Raumheizung während der Heizperiode vorgenommen werden kann, wurde von Hauser und Rouvel der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient U_{eq} eingeführt. Die Reduzierung hängt zum einen vom Strahlungsangebot und damit von der Orientierung und zum anderen vom Gesamtenergiedurchlass g der Verglasung ab:

$U_{eq} = U - (g \times S)$

U U-Wert der Verglasung
g Gesamtenergiedurchlass
S Strahlungsgewinne in Abhängigkeit der Orientierung:

Süd	2,4 W/m²K
Ost/West	1,8 W/m²K
Nord	1,2 W/m²K

Die Gleichung zeigt den engen Zusammenhang zwischen dem bilanzierten äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten und den Materialeigenschaften. Allerdings bedeutet eine Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten U einer Verglasung nicht unbedingt eine Reduzierung des äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten U_{eq}.

Verbesserung der Wärmedämmung – Isolierglas
Zur Verbesserung des Wärmewiderstands einer Verglasung werden zwei oder mehrere Einfachglasscheiben hintereinander gestellt. Damit entsteht zwischen den Scheiben eine Luftschicht als Dämmpolster. Abb. 2.3.10 zeigt die an der Isolierverglasung auftretenden Wärmeübertragungsmechanismen für Scheibe und Rand. Dabei teilt sich der Wärmestrom in den Wärmestrom über Konvektion und Wärmeleitung im Luftspalt und den Wärmestrom über Strahlungsaustausch zwischen den Scheiben. Für den Wärmedurchlasskoeffizienten von Luftschichten ergeben sich je nach Scheibenabstand verschiedene Werte, wobei für Luft der Minimalwert bei 17 mm erreicht wird (Abb. 2.3.19). Hier liegt das Optimum zwischen Konvektionsunterdrückung, da die Konvektion mit steigender Spaltgröße zunimmt, und Wärmeleitung, die mit steigender Spaltgröße abnimmt. Bei Scheibenabständen von mehr als 50 mm steigt der U-Wert wieder an. Aus diesem Grund weisen Kastenfenster etwas geringere Wärmedurchgangskoeffizienten auf. Der Randverbund von Isolierglas – die statische Verbindung zwischen den Scheiben – stellt eine Wärmebrücke dar und trägt über Wärmeleitung zum Wärmetransport bei. Für die Verglasung ergibt sich für 2× 4 mm Floatglas und einen Luftspalt von 15 mm ein Wärmedurchgangskoeffizient von 2,8 W/m²K. Der U-Wert des weitverbreiteten Verbundfensters mit öffenbarem Scheibenzwischenraum (SZR) liegt wegen Undichtigkeiten in der Trennschicht sowie Scheibenabständen von 25 mm und mehr durch erhöhte Konvektion über den Werten der Isolierverglasung.

Konsequenzen beim Isolierglas
Um im abgeschlossenen SZR Kondensations-

probleme und daraus entstehende Reinigungsprobleme zu vermeiden, werden heute die Abstandhalter zwischen den Scheiben – üblicherweise als Spacer im Randverbund bezeichnet – mit hygroskopischen Materialien z.B. Zeolithen versehen, die die Feuchte der abgeschlossenen eindiffundierenden Luft absorbieren. Ohne mechanische Beschädigungen reicht die Kapazität dieser Feuchteabsorber für die Lebensdauer der Verglasung von 30 bis 35 Jahren aus. Durch den luftdichten Abschluss des SZR – kein Vakuum ! – muss bei der Fertigung von Isolierglas der zukünftige Standort der Verwendung bei Höhendifferenzen über 500 m berücksichtigt werden. Dies gilt besonders wegen des Einflusses des Luftdrucks und seiner Schwankungen auf die Pumpbewegungen des Scheibenpakets (siehe »Aus- und Einbauchen von Isolierglasscheiben« S. 85). Liegt beispielsweise der Standort des Fertigungsbetriebs von Isolierverglasung mehrere hundert Höhenmeter über dem Einbauort, so muss berücksichtigt werden, dass es bei Hochdruckwetterverhältnissen bei großen Scheiben zum Scheibenkontakt im Verglasungszentrum kommen kann. Der Dämmwert bricht so zusammen und bei entsprechenden Randbedingungen zeigen sich punktförmige Kondensationserscheinungen auf der Scheibeninnenseite. Neben dieser thermischen Beeinflussung sind durch Druckdifferenzen bedingte Verformungen – Wölbungen nach außen oder innen – auch optische und schalltechnische Veränderungen zu beachten. Größere Glasdicken reduzieren zwar die Verformung, belasten aber verstärkt den Randverbund.

Weitere Verbesserungen – mehrere Scheiben und Beschichtungen

Betrachtet man die Anteile der verschiedenen Wärmetransportmechanismen (Abb. 2.3.10), so wird schnell klar, dass zur weiteren Reduzierung des Wärmedurchgangs der Strahlungstransport minimiert werden muss. Dreifachverglasungen erfüllen diese Anforderungen aufgrund der Reduzierung der Temperaturdifferenzen der Strahlungspartner, da die innere warme Scheibe nur mit der Zwischenscheibe im Strahlungsaustausch steht und mit der kalten Außenscheibe nicht direkt in Kontakt kommt. Eine Dreifach-Isolierverglasung mit Floatglas erreicht mit 2× 15 mm Scheibenabstand einen U-Wert von knapp unter 2,0 W/m²K. Wegen der reduzierten Verluste wärmt sich bei Sonnenstrahlung die mittlere Scheibe sehr stark auf. Um einen Bruch infolge der Wärmeausdehnung zu verhindern, werden diese Scheiben üblicherweise thermisch vorgespannt.

Beschichtete Isoliergläser für erhöhten Wärmeschutz

Oberflächenbeschichtungen mit Schichtdicken im Bereich von 0,01 bis 1 µm können die strahlungsphysikalischen Eigenschaften des Glases verbessern. Je nach Schichtdicke und Zusammensetzung wird die Transmission der Strahlung reflektiert oder absorbiert bzw. der Emissionskoeffizient reduziert. Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch die Position der Beschichtung, die je nach Strahlungsrichtung verschiedene Brechungseffekte bewirkt bzw. ihre Absorptionsgewinne in den Raum oder nach außen abgibt. Als Beschichtungen werden so genannte gesputterte Edelmetallschichten wie Kupfer, Silber und Gold und Halbleiterschichten oder pyrolytisch aufgesprühte Halbleiterschichten wie Zinnoxid eingesetzt. Die silber- und goldfarbenen Wärmeschutzgläser der 1970er-Jahre sind heute abgelöst durch optisch neutrale Beschichtungen, deren Position sich nur noch über die Feuerzeugprobe, wie in Abb. 2.3.12 gezeigt, ermitteln lässt. Dabei weist eine farbliche Veränderung des Spiegelbilds der Flamme auf das Vorhandensein einer Beschichtung hin.

Für erhöhten Wärmeschutz und maximale solare Gewinne ist die innere Scheibe der Isolierverglasung normalerweise auf Position 3 mit einer IR-reflektierenden (low-emissiv) Beschichtung versehen. Abb. 2.3.11 zeigt die üblichen Schichtbezeichnungen für Isolierverglasungen. Eine optimal eingesetzte Low-E-Beschichtung führt zu einer Reduzierung der Strahlung von der raumseitigen Schicht zur kalten Außenscheibe. Über die nutzbare sekundäre Wärmeabgabe der erhöhten Absorption in der Beschichtung auf der inneren Scheibe wird der g-Wert gleichzeitig vergrößert. Dies bewirkt auch, dass sich der Gesamtenergiedurchlass für dieselbe Verglasung je nach Einbauorientierung ändert. Demnach reduziert sich der g-Wert einer marktüblichen Wärmeschutzverglasung von der Wärmeschutzglasanordnung mit Low-E auf Position 3 von 65 % auf 56 % bei Beschichtung auf Position 2. Diese absoluten 9 % sind relativ gesehen immerhin 15 %, weshalb auch Wärmeschutzgläser beim Einbau vom Werk einen Hinweis wie »diese Seite innen« erhalten.

Mit den über das Internet erhältlichen Materialwerten für das Programm Window 6.0 lassen sich diese Werte exakt nachrechnen (siehe »Berechnungsmethoden«, S. 145)

Der Effekt auf den Wärmedurchgangskoeffizienten eines Isolierglases mit einer Low-E-Beschichtung auf Position 3 und einer Luftfüllung zeigt eine überschlägige Berechnung.

Isolierglas ohne Beschichtung: U = 2,8 W/m²K
67 % Strahlung bei e = 0,85 = 1,88 W/m²K
33 % über Konvektion = 0,92 W/m²K

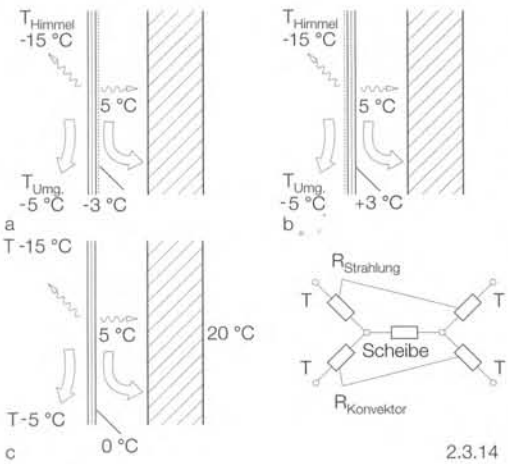
Isolierglas mit Low-E-Beschichtung:
7 % Strahlung bei e = 0,1 = 0,2 W/m²K
33 % über Konvektion = 0,92 W/m²K

ideal U = 1,12 W/m²K
real U = 1,61 W/m²K

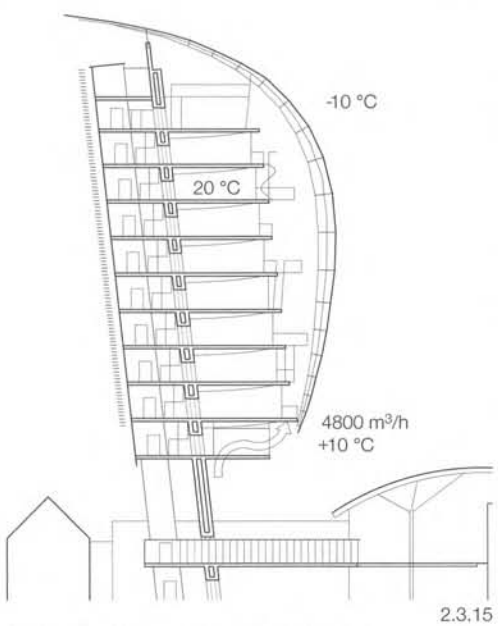
Die Abweichung zwischen realem und theoretisch berechnetem U-Wert der Isolierverglasung mit Low-E-Beschichtung, auch Wärme-

Glastyp	U-Wert [W/m²K]	g-Wert	Lichttransmissionsgrad [%]
unbeschichtetes Isolierglas	2,8	73	81
Low-E-Wärmeschutzglas	1,61	65	78

2.3.13



2.3.14



2.3.15

2.3.14 Strahlungsbilanz am Einfachglas
a Low-E-Glas mit Beschichtung innen
b Low-E-Glas mit Beschichtung außen
c Floatglas ohne Beschichtung

2.3.15 Gebäudekonzept mit Low-E-Einfachglas in der Außenhülle

2.3.16 Vergleich von Beschichtungsvarianten am Einfachglas

2.3.17 Klimakonzept Sommertagbetrieb 4. Obergeschoss der Akademie der Künste, Berlin

2.3.18 Gaseigenschaften bei 10 °C

2.3.19 U-Wert in Abhängigkeit von Füllgas und Abstand

2.3.20 Schema einer Vakuumverglasung

2.3.21 Querschnitt eines Fensters mit Foliendämmung

	Floatglas unbesch.	Low-E außen beschichtet	Low-E innen beschichtet
Dicke [mm]	4	4	4
Strahlungstransmissionsgrad	0,83	0,79	0,79
g-Wert	0,85	0,811	0,808
Lichttransmissionsgrad	0,89	0,84	0,88
Lichtreflexion außen	0,081	0,1	0,081
Energiereflexion außen	0,075	0,13	0,075
Verschattungskoeffizient	1,0	0,95	0,94
U-Wert [W/m²K]	5,63	5,34	3,8

2.3.16

schutzglas genannt, begründet sich aus den durch die Dämmung erhöhten Temperaturdifferenzen zwischen den Gläsern, die andererseits wiederum die Konvektion und den Strahlungsaustausch erhöhen.
Wichtig ist, dass sich diese Verbesserungen nur über eine Reduzierung im Gesamtenergiedurchlass erreichen lassen (Abb. 2.3.13). Die Low-E-Beschichtung absorbiert Teile der Solarstrahlung, die auch über die sekundäre Wärmeabgabe nicht mehr zu gewinnen sind. Zusätzlich ist eine Reduzierung des Lichttransmissionsgrads zu verzeichnen.

Low-Emissions-Beschichtung am Einfachglas
Abriebfeste Beschichtungen, auch als Hard-Coating bezeichnet, werden auf dem Markt auch als Einfachverglasungen angeboten, gedacht als Sanierungsmöglichkeit für Fenster mit Einfachverglasung oder im Austausch bei Verbundfenstern. Analog zu den obigen Betrachtungen lassen sich hiermit die U-Werte fast halbieren, wenn auf eine Dichtigkeit des SZR geachtet wird.
Außerdem lässt sich dieses innovative Einfachglas direkt als Einscheibenverglasung in niederbeheizten Räumen einsetzen. Der erzielte Dämmeffekt beruht auf der Reduzierung der oben beschriebenen Himmelsabstrahlung. Besonders in windstillen klaren Nächten resultieren die thermischen Verluste der Außenseite einer Verglasung in hohem Maße aus den Strahlungsverlusten gegen den Himmel. Reduzierte Scheibentemperaturen und Kondensationserscheinungen am Einfachglas innen und außen sind die Folge. Beschichtet man nun die Außenseite mit einer Low-E-Schicht (e = 0,1), so wird die langwellige Abstrahlung auf 10 % des Werts reduziert. Die Scheibe bleibt auch aufgrund ihres weiter guten Strahlungsaustauschs mit der Umgebung nach innen wärmer und das Risiko von Kondensation ist deutlich reduziert. Trotz ihrer etwas raueren beschichteten Außenseitenoberfläche verdreckt eine Low-E-beschichtete Außenscheibe durch die reduzierte Kondensationshäufigkeit nicht stärker als eine unbeschichtete glatte Scheibe wie Messungen in den Niederlanden gezeigt haben. Mit einer solchen Hard-Coating-Low-E-Schicht auf der Außenoberfläche kann auch das Beschlagen von hochwärmegedämmten oder thermisch gepufferten Dach- und Fassadenverglasungen reduziert werden.

Effekte der Beschichtungsposition am Einfachglas
Setzt man diese Low-E-Einfachglasscheibe mit der Beschichtung nach innen ein, so ist ihr Dämmeffekt noch stärker, da auf der Innenseite aufgrund geringerer Luftgeschwindigkeiten ca. 50 % des Wärmetransports über Strahlung erfolgt. Somit lässt sich der Wärmedurchgangskoeffizient der Einfachverglasung von den bekannten 5,8 W/m²K auf 4,0 W/m²K reduzieren, wie Messungen am Institut für Bauphysik in Stuttgart belegen. Allerdings führt der reduzierte Strahlungsaustausch nach innen auch zu deutlich niedrigeren Scheibentemperaturen, während die strahlungstechnische Anbindung nach außen weiterhin gut ist. Damit erhöht sich das Risiko von Kondensatbildung an der Innenseite deutlich, wobei ein Selbstregeleffekt auftritt. Kondensiert Feuchte an der Innenoberfläche, also auf der Beschichtung, so führt eine Benetzung zum Verlust der reduzierten Emissivität, die Scheibe erwärmt sich durch Wärmestrahlung vom Raum her und trocknet. Ist sie tauwasserfrei, ist die Low-E-Schicht wieder voll wirksam. Dieser Effekt, der im Winter nachteilig ist, kann besonders in anderen Klimazonen von Vorteil sein. So werden Sonnenschutzeinfachgläser in den USA mit Low-E-Beschichtung nach innen ausgeführt, um die Wärmestrahlung auf den Innenraum zu verhindern und den thermischen Komfort zu verbessern. In unserem Klima ist die Winteroptimierung vorzuziehen. Es lassen sich damit beispielsweise Konzepte von schwach beheizten Glaspuffern realisieren, wie sie vom Verfasser in einer Studie für ein Bürohaus der Firma Glasbau Seele erstellt wurden (Abb. 2.3.14–2.3.16). Aber auch unter mitteleuropäischen Witterungsbedingungen eignen sich Low-E-Beschichtungen nach Innen zur Erhöhung des thermischen Komforts. Wird z.B. in einer Glashalle die Dachverglasung mit einer Low-E-Schicht versehen, die als Hard-Coating ausgeführt wird, da sie sich zum Raum hin orientiert und nicht durch einen SZR vor Korrosion geschützt ist, so wird die operative Temperatur optimiert. Im Sommer wird der Strahlungsaustausch mit dem warmen Glasdach verhindert, das Glasdach reflektiert die Temperatur der nicht so warmen Raumumschließungsflächen. Dieser Effekt ist besonders effektiv in Kombination mit einer Fußbodenkühlung, da nun das Glasdach die kühle Bodenoberflächentemperatur reflektiert. Entsprechend strahlt das Dach im Winter nicht die kalte Glastemperatur ab, sondern reflektiert die warme Oberflächentemperatur des beheizten Bodens. Eine solche Anordnung, Fußbodenheizung bzw. -kühlung mit Low-E-Beschichtung über Kopf wurde auch im vierten Obergeschoss der Akademie der Künste in Berlin (Architekten: Behnisch, Behnisch + Partner) ausgeführt (Abb. 2.3.17, siehe auch Beispiel 23, S. 274ff.).

Beheizte Glasscheiben
Ähnlich wie in der Heckscheibe von Autos können Gläser durch Strom beheizt werden. Dabei müssen nicht unbedingt einzelne Metalldrähte zwischen die Scheiben einlaminiert werden, sondern es können nicht sichtbare Metalloxidschichten auf die Gläser aufgedampft oder aufgesputtert werden. Wird an diese Schicht eine elektrische Spannung angelegt, so heizt sich die Scheibe auf. Diese Systeme eignen sich z.B. zum Abschmelzen von Schnee auf Horizontalverglasungen.

Gasfüllungen im Isolierglas
Eine weitere Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung ist über

Verringerung der Konvektion und Wärmeleitung zu erreichen. Hierzu bieten sich schwere Edelgase als Füllgase in der Isolierverglasung an, deren große Atome viel träger auf die Temperaturdifferenzen zwischen den Scheiben reagieren und damit die Konvektionsströme und den Wärmetransport reduzieren. Zusätzlich erlauben ihre niedrigen Wärmeleitfähigkeiten den Scheibenabstand weiter zu reduzieren, ohne den Einspareffekt bei der Konvektion über erhöhte Wärmeleitung zu erkaufen. Bei Scheibenabständen über 12 mm ist, bedingt durch das größere eingeschlossene Gasvolumen, mit einer höheren Belastung des Randverbunds zu rechnen, da es durch Temperatur und Luftdruckschwankungen zu größeren Pumpbewegungen kommt. Wie oben dargestellt, hängt es von der Scheibendicke ab, ob sich die Gasausdehnung in einer Glasverformung oder einer erhöhten Belastung des Randverbunds äußert. Erhöhte Scheibendicken, die sich aus statischen und sicherheitstechnischen Aspekten ableiten, führen aus diesen Gründen zu erhöhten Anforderungen an den Randverbund und können bei Versagen zum Aufreißen und damit zum Verlust des lufttechnischen Abschlusses führen. Abb. 2.3.18 zeigt die spezifischen Stoffdaten der verwendeten Füllgase in Isolierverglasungen. Krypton zeigt ähnliche Werte beim Schallschutz wie das früher verwendete Schwefelhexafluorid (SF_6) und dient hier als Ersatz. Bedingt durch die verschiedenen Stoffdaten ergeben sich für jedes Füllgas unterschiedliche optimale Scheibenabstände. Abb. 2.3.19 zeigt den berechneten Wärmeübergangskoeffizienten für verschiedene Scheibenabstände und Gasfüllungen in einer vertikalen Isolierverglasung.

Bei der Auswahl des Füllgases geben wirtschaftliche Überlegungen im Vergleich zu den wärmetechnischen Effekten den Ausschlag. Argon kann kostengünstig aus der Umgebungsluft gewonnen werden, in der das Gas mit ca. 1 % enthalten ist. Die Gewinnung von Krypton und Xenon ist wesentlich kostenintensiver und die Füllgase damit deutlich teurer und schlecht verfügbar. Eine Abnahme von größeren Mengen kann den Preis positiv beeinflussen.

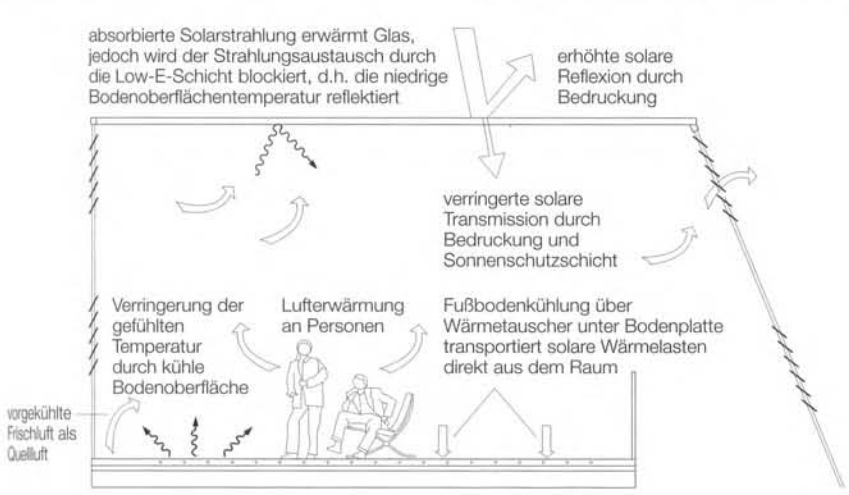
Vakuumverglasung

In einem Vakuum lassen sich Konvektion und Wärmeleitung zu 100 % unterdrücken. Allerdings sorgt der Umgebungsluftdruck dafür, dass schon bei geringem Innenunterdruck in der Isolierverglasung die beiden Scheiben aneinander anliegen oder bei zu großer Verformung zerbrechen. Daher ist eine Vakuumverglasung, wie in Abb. 2.3.20 schematisch dargestellt, nur in Verbindung mit Stützmaßnahmen möglich, die einen Kraftschluss von der einen zur anderen Seite erlauben. Diese mechanische Stützung führt bei ebenen Verglasungen entweder zu punktuellen Wärmebrücken, z.B. in Form von punktuellen Abstandhaltern, oder zu großflächiger Abstützung über ein transluzentes druckfestes Dämmmaterial, das evakuierbar ist, z.B. Aerogel. Wichtig ist bei der Vakuumverglasung die absolute Dichtigkeit des Randverbunds, der üblicherweise durch Glas oder Glaslot erfolgt. Damit treten an diesen Stellen natürlich hohe Wärmebrückenverluste auf. Das NREL (National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA) hat U-werte von 0,6 W/m²K berechnet für zwei Scheiben mit Low-E-Beschichtung und Abstandskugeln von 0,5 mm Durchmesser. Als alternative Konstruktion wird Vakuumverglasung mit dem druckfesten Dämmmaterial Aerogel – einem mikroporösen Silikatgerüst – gefüllt, das die Abstützung übernimmt und eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit von 0,017 W/mK im nicht evakuierten Falle aufweist. Damit lässt sich die Wärmeleitung im Scheibenabstand nahezu vernachlässigen, während die feinen Silikatbausteine mit Größen unterhalb der Wellenlänge des Lichts vom menschlichen Auge nur als homogenes transparentes Material wahrgenommen werden.

Bei der Glasröhre erfolgt eine geometrische Kraftabtragung, die im evakuierten Zustand als einfach- oder doppelwandiger Zylinder für thermische Sonnenkollektoren Anwendung findet (siehe »Aktive Nutzung«, S. 157ff.).

Konvektionsbarrieren

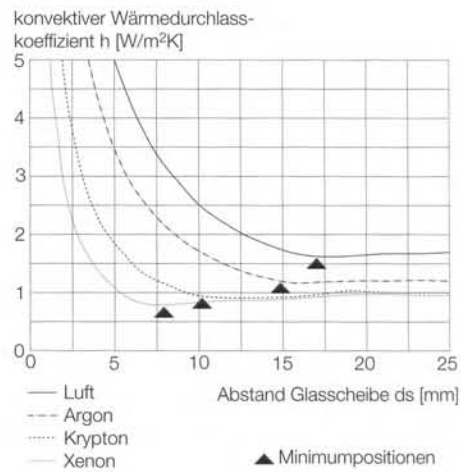
Neben der Reduzierung der Konvektion über die Wahl des Füllgases lässt sich der Wärmetransport über Konvektion durch mechanische Konvektionsbarrieren reduzieren. Hierbei unter-



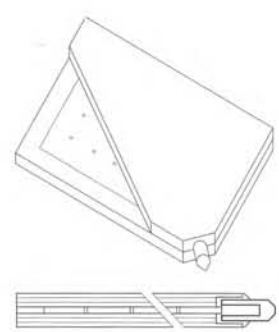
2.3.17

Füllgas	Eigenschaften			
	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Dichte [kg/m³]	dynamische Viskosität [kg/ms]	spezifische Wärme [J/kgK]
Argon	$1{,}684 \times 10^{-2}$	1,699	$2{,}164 \times 10^{-5}$	519
Krypton	$0{,}900 \times 10^{-2}$	3,56	$2{,}34 \times 10^{-5}$	345
Xenon	$0{,}540 \times 10^{-2}$	5,897	$2{,}28 \times 10^{-5}$	340
Luft	$2{,}53 \times 10^{-2}$	1,23	$1{,}75 \times 10^{-5}$	1007

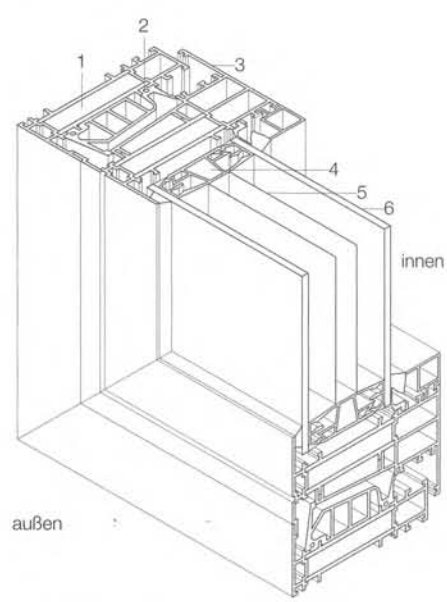
2.3.18



2.3.19



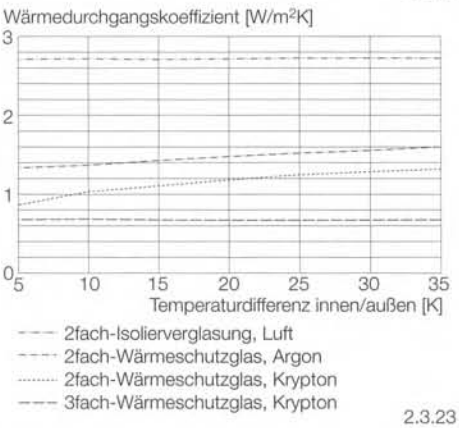
2.3.20



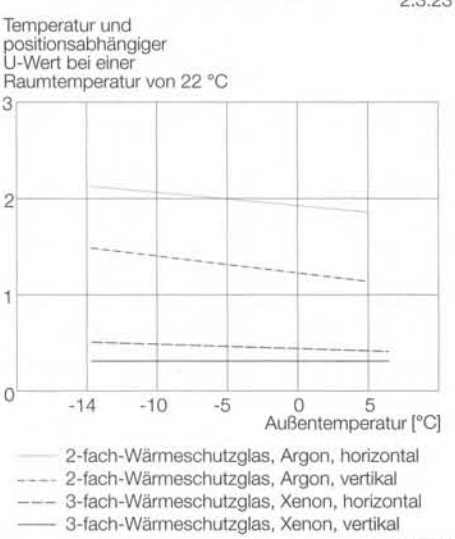
1 Isolationszone
2 Flügelfalzdichtung
3 Aluminium
4 Trockenmittel
5 Folie
6 Glas

2.3.21

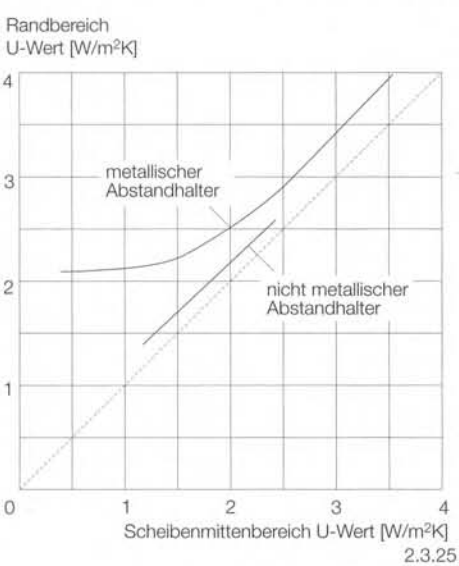
2.3.22



2.3.23



2.3.24



2.3.25

scheidet man zwischen vier Gruppen nach paralleler und senkrechter Abtrennung, kammerartigen Systemen und annähernd homogenen Füllstoffen. An dieser Stelle sollen nur die parallelen Füllstoffe betrachtet werden, da sie eine Transparenz zulassen und nicht die Verglasung zu einem transluzenten Bauteil verändern.

Parallele Konvektionsbarrieren bestehen meist aus Glas oder Folie, die reduzierte mechanische Anforderungen erfüllen müssen und zusätzliche Beschichtungen tragen können. Sie erzeugen außerdem Zwischenräume als Konvektionsbremsen und erhalten andererseits den Wärmeleitwiderstand der Gesamtschicht. Schon sehr früh wurden von einem Schweizer Fassadenhersteller solche Produkte entwickelt. Je nach Wahl der Folien kann der g-Wert zwischen 0,1 und 0,5 und die Lichtdurchlässigkeit zwischen 0,15 und 0,65 eingestellt werden. Der U-Wert der Verglasung liegt bei 0,4–0,6 W/m²K je nach Folien und Beschichtung. Nachteil der Konstruktion ist die Gesamttiefe, die bei ca. 130 mm für die Verglasungseinheit liegt.

Abb. 2.3.21 zeigt einen Querschnitt durch ein Fenster mit Foliendämmung.

Ähnliche Konzepte wurden schon Ende der 1980er-Jahre in den USA unter dem Namen Superglazing entwickelt und intensiv am Lawrence Berkeley Laboratory getestet. Heute werden in Lizenz weltweit Wärme- und Sonnenschutzgläser hergestellt, die eine oder zwei Konvektionsfolien besitzen, deren Beschichtungen Emissionskoeffizienten bis zu 0,09 aufweisen. Damit lassen sich Wärmedurchgangskoeffizienten mit Krypton- oder Xenonfüllung bis 0,4 W/m²K realisieren, wobei durch die geringen Foliendicken die Gesamtdicke der Verglasung bei 23–27 mm liegt, und der g-Wert des 0,4er-Glases bei 0,43, bei einem Tageslichtkoeffizienten von 0,58. Die Einspannung der Folien im Randverbund kann als thermische Trennung dieses Elements genutzt werden.

Abb. 2.3.22 zeigt das System Superglazing im Schnitt.

Die Vorteile der Konvektionsbarrieren gegenüber einer Drei- oder Vierfachverglasung sind das reduzierte Gewicht, die nicht auftretenden Probleme mit den Übertemperaturen der mittleren Scheibe und die geringere Paketdicke.

In sämtlichen vorhergehenden Betrachtungen wurden alle Kennwerte stets auf die Scheibenmitte bezogen, so dass Effekte des Scheibenrands nicht in die Werte mit einfließen.

Abb. 2.3.26 mit den momentan marktgängigen Verglasungen und ihren bauphysikalischen Kennwerten bezieht sich daher auch nur auf das Scheibenzentrum, wobei die im nachfolgenden Absatz beschriebenen Effekte des Randverbundes besonders bei kleinen Scheibenabmessungen nicht vernachlässigt werden können.

Der U-Wert als Funktion der Temperaturdifferenz – DIN-Werte und Realität

Nach DIN EN 673 gilt als Randbedingung für die Berechnung des U-Wertes der Verglasung eine Temperaturdifferenz von 15 K zwischen innerer und äußerer Glasoberfläche.

Früher wurde die Ermittlung der U-Werte normalerweise nach dem Messverfahren nach DIN 52619 Teil 2 »Wärmetechnische Prüfung, Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstands und des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern, Messung an der Verglasung« mit einer Temperaturdifferenz von 10 K durchgeführt. Durch die Veränderung im Nachweisverfahren sind die U-Werte der Verglasungen im Schnitt um ca 0,1 W/m²K gestiegen. In der Realität treten in mitteleuropäischen Breiten im Winter Temperaturdifferenzen auf, die bei Verwendung dieser Gläser die Bezugsdifferenz von 15 K auf der Scheibe überschreiten – wenn beispielsweise außen Minuswerte von -14 °C gegenüber Innenraumtemperaturen von 22 °C herrschen, dann ergibt sich eine Temperaturdifferenz von ca. 35 K. Für diese erhöhte Temperaturdifferenz ändern sich die Konvektionsvorgänge im Glaszwischenraum und der Wärmedurchlasswiderstand sinkt. Abb. 2.3.23 zeigt die Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung von der Temperaturdifferenz für verschiedene Gläser. Dabei wird deutlich, dass besonders die Zweischeiben-Wärmeschutzgläser mit Edelgasfüllung stark von der Temperaturdifferenz abhängen und Einbußen gegenüber dem DIN-Wert bis zu 25 % aufweisen. Den U-Wert im Vergleich von horizontaler und vertikaler Verglasung zeigt Abb. 2.3.24.

Einfluss des Randverbundes auf die energierelevanten Kennwerte

Durch die statisch bedingte Abstützung der beiden Scheiben der Isolierverglasung, den so genannten Abstandhalter oder Spacer, wird eine klassische Wärmebrücke zwischen den beiden Scheiben eingeführt. Meist aus Metall gefertigt, liegt die Wärmeleitfähigkeit eines Aluminiumabstandhalters ohne Wärmeübergangskoeffizient beispielsweise bei 0,9–2,2 W/mK, abhängig von der Form. Wegen des geringen thermischen Widerstands im Randverbund sinken die Scheibentemperaturen im Vergleich zur Scheibenmitte ab. Damit kommt es zu einer Wärmeleitung parallel zur Glasfläche, so dass die Reduzierung des thermischen Widerstandes der gesamten Verglasung als zweidimensionales Problem zu betrachten ist.

Im »Ashrae Handbook of Fundamentals« wird der Randbereich mit einer Breite von 6 cm definiert, dem ein einheitlicher Wärmedurchgangskoeffizient U_{edge} zugeordnet wird. Dieser Wert ist neben der Art des Randverbundes und des Abstandhalters vom U-Wert der Verglasung abhängig, da nur ca. 12–20 mm direkt vom Abstandhalter abgedeckt werden. Abb. 2.3.25 zeigt die Bestimmung des U-Wertes des Randbereiches. Für eine spezielle Glassorte kann über den U-Wert und die Art des Abstandhalters der U-Wert des Randbereichs abgelesen werden. Für den U-Wert der Verglasung aus dem unbeeinflussten Scheibenmittenbereich und dem Randbereich nach der geome-

trischen Wichtung kann folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$U_{vergl} = \frac{U_{SM} \times A_{SM} + U_{rand} \times A_{rand}}{A_{SM} + A_{rand}}$$

SM = Scheibenmitte
rand = Randbereich

Damit ergibt sich z. B. für ein gutes Wärmeschutzglas mit $U_{SM} = 0{,}9$ W/m²K bei einer Abmessung von 1 × 1 m und damit einem Umfang U_{gl} von 4 m:

$A_{rand} = U_{gl} \times 0{,}06$ m $= 0{,}24$ m² $U_{rand} = 2{,}1$ W/m²K

$U_{rand} \times A_{rand} = 0{,}504$ W/K

$A_{SM} = A_{vergl} - A_{rand} = 0{,}76$ m²
$A_{vergl} = 1{,}00$ m²

$U_{SM} = 0{,}9$ W/m²K $U_{SM} \times A_{SM} = 0{,}684$W/K
$U_{vergl} = 1{,}188$ W/m²K

Es zeigt sich eine Reduzierung im Wärmedurchgangskoeffizienten für die Verglasung von 25 %. Die Gleichung verdeutlicht die geometrische Abhängigkeit, wobei der Einfluss des Randverbunds bei größeren Scheiben abnimmt (Abb. 2.3.27).
In linear gelagerten Verglasungen wird dieser Effekt über die Dämmwirkung des Fensterrahmens, der über den Randverbund greift, reduziert. Bei punktgehaltenen Fassaden dagegen darf dies in der Verglasungsbilanz nicht vernachlässigt werden. Neben den erhöhten Wärmeverlusten ist besonders auf die örtliche Temperaturerniedrigung direkt auf oder am Abstandhalter zu achten, die zu Kondensationserscheinungen am Scheibenrand führen kann. Wird das anfallende Kondensat nicht entsprechend abgeleitet, besteht die Gefahr, dass es in den Randverbund eindringt. Wenn die Trocknungskapazitäten im Abstandhalter erschöpft sind, kann dies zum Erblinden der Scheiben führen (siehe »Innenkondensation«, S. 147).
Bei Verglasungen mit höheren Dämmeigenschaften wie z. B. 0,7 oder 0,4 W/m²K sollte bei freiem Randbereich auf eine thermische Trennung oder auf einen Dämmstoff als Abstandhalter geachtet werden. Selbst bei einer Scheibe von 2 x 2 m bedingt der Randverbund mit einem Aluminiumabstandhalter eine Verschlechterung des U-Werts von der Scheibenmitte mit 0,4 W/m²K auf 0,58 W/m²K der gesamten Verglasung, d.h. um 45 %! Ein thermisch getrennter Abstandhalter mit einem U-Wert des Randbereiches von 1,2 W/m²K reduziert diese Werte auf 0,49 W/m²K für die Verglasung, womit sich die U-Wert-Reduzierung auf 22 % begrenzen lässt (Abb. 2.3.28).
Neue thermisch getrennte Abstandhalter bestehen aus thermoplastischem Material mit eingelagertem Trockenmittel. Sie führen zu einer erhöhten Wärmedämmung im Randbereich (»warm edge«) und ermöglichen einen UV-beständigen und gasdichten Randverbund.

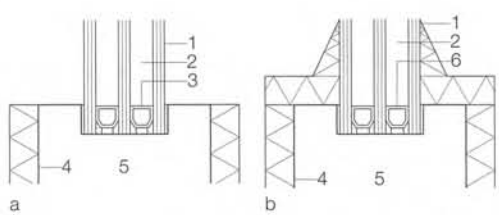
		U_g-Wert nach DIN EN 673	Tageslicht-transmission	g-Wert nach DIN EN 410
Einfachglas	Floatglas	5,8	0,9	0,85
	Weißglas	5,8	0,92	0,92
	Verbund-Einfachglas mit einlaminierter Sonnenschutzfolie	5,8	0,75	0,52
2fach-Isolierglas	Wärmeschutzglas, luftgefüllt	1,4	0,8	0,63
	Wärmeschutzglas, argongefüllt	1,1	0,8	0,63
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,7	0,41
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,62	0,34
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,51	0,28
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,4	0,24
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,3	0,19
3fach-Isolierglas	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen, argongefüllt	0,7	0,72	0,5
	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen, kryptongefüllt	0,5	0,72	0,5

2.3.26

Randverbund	Rand	WBrü-Ko.	Glasrandlänge [m]							
	[mm]	[W/mK]	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Aluminium frei	0,5	0,115	1,091	1,040	0,999	0,966	0,939	0,917	0,899	0,883
Stahl	0,5	0,112	1,081	1,031	0,991	0,959	0,933	0,912	0,894	0,879
Edelstahl	0,5	0,105	1,057	1,011	0,973	0,943	0,919	0,898	0,882	0,867
Edelstahl 0,2	0,2	0,096	1,027	0,984	0,950	0,922	0,900	0,881	0,866	0,853
Kunststoff frei	1,0	0,068	0,931	0,901	0,877	0,857	0,842	0,829	0,818	0,808
Aluminium PU1O	0,5	0,056	0,890	0,866	0,846	0,830	0,817	0,806	0,797	0,789
Edelstahl 0,2 PU1O	0,2	0,049	0,867	0,845	0,827	0,813	0,802	0,793	0,785	0,778
Aluminium PU30	0,5	0,035	0,819	0,804	0,791	0,781	0,773	0,766	0,761	0,756
Edelstahl 0,2 PU3O	0,2	0,031	0,805	0,792	0,781	0,772	0,765	0,759	0,754	0,749
Kunststoff PU30	1,0	0,024	0,782	0,771	0,762	0,756	0,750	0,745	0,742	0,738

Der Wärmebrückenkoeffizient wird auf die Lauflänge der Wärmebrücke bezogen.

2.3.27



1 Glas 4 mm, innen selektiv beschichtet
2 Krypton 8 mm
3 Metall-Abstandhalter 0,5 mm
4 PU-Schaum 10 mm
5 Holzrahmen
6 Abdeckung der Verglasung 30 mm über der Oberkante des Randverbundes mit einem PU-Integral-Schaumkeil

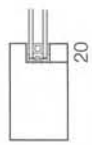
2.3.28

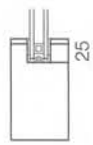
	U_{SM}-Wert [W/m²K]	1,3	0,9	0,4
Maße	**Material Abstandhalter**	**tatsächlicher U-Wert der Verglasung inkl. Randverbund**		
0,6 × 0,6 m	Aluminium	1,61	1,27	0,76
	thermisch getrennt	1,48	1,12	0,58
1,0 × 1,0 m	Aluminium	1,56	1,21	0,70
	thermisch getrennt	1,45	1,08	0,55
2,0 × 2,0 m	Aluminium	1,46	1,09	0,58
	thermisch getrennt	1,39	1,01	0,49
3,0 × 3,0 m	Aluminium	1,41	1,03	0,53
	thermisch getrennt	1,36	0,98	0,46

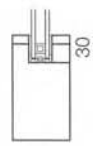
2.3.29

2.3.22 Heat-Mirror-Verglasung (Superglazing) im Schnitt
2.3.23 U-Wert in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz
2.3.24 U-Wert der horizontalen und vertikalen Verglasung in Abhängigkeit der Außentemperatur
2.3.25 Wärmedurchgangskoeffizient des Randbereichs
2.3.26 Übersicht der marktgängigen Verglasungen mit ihren energietechnischen Kennwerten für die Scheibenmitte
2.3.27 Parameterstudie: Abhängigkeit des gesamten Fensterwärmedurchgangskoeffizienten (ohne Einstrahlung) von Fläche und Randkonstruktion bei einem quadratischen Fenster mit der angegebenen Glasrandlänge
2.3.28 Konstruktionsbild
a ohne Dämmstreifen
b mit Dämmstreifen
2.3.29 Einfluss des Randverbundmaterials auf den U-Wert der Verglasung ohne Rahmenüberdeckung

U_F Fenster
U_R Rahmen
U_{SM} Seitenmitte
U_{SR} Seitenrand (60 × 100 mm)







Art des Abstandhalters	Aluminium	Aluminium	Aluminium
Glasfalztiefe [mm]	20	25	30
Lufttemperaturdifferenz [°C]	20,4	20,4	20,4
Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]	U_F U_R U_{SM} U_{SR} 1,64 1,50 1,55 2,00	U_F U_R U_{SM} U_{SR} 1,62 1,50 1,55 1,93	U_F U_R U_{SM} U_{SR} 1,60 1,50 1,55 1,85

2.3.30

Teil		breit [m]	hoch [m]	Fläche [m²]	Länge [m]	U-Wert [W/m²K]	WB-Koeff. [W/mK]	Verlust [W/K]
Glas	3 Ws Kry	1,000	1,000	1,000		0,700		0,700
Rahmen	1 PU + 6 H + 1 PU	0,120	0,120	0,538		0,700		0,376
Rand	Aluminium frei	1,000	1,000		4,000		0,115	0,460
Fenster	gesamt	1,240	1,240	1,538		0,999		1,536

2.3.31

Rahmen	Abstandhalter	Verglasung		
U_R [W/m²K]		WSV-2, Ar U_V = 1,8 W/m²K	WSV-3, Ar U_V = 1,2 W/m²K	WSV-3, Kr U_V = 0,8 W/m²K
Aluminium	Aluminium	2,25	1,68	1,42
U_R = 3,4	alternativ	2,17	1,58	1,32
PVC	Aluminium	2,09	1,59	1,36
U_R = 2,3	alternativ	2,01	1,50	1,26
Holz	Aluminium	2,02	1,54	1,32
U_R = 2,1	alternativ	1,92	1,43	1,20

Fenstergröße: 1,2 × 1,2 m
Abstandhalter: konventioneller Aluminiumabstandhalter sowie ein alternativer Abstandhalter mit λ =-0,3 W/mK
Rahmenquerschnitte sind unterschiedlich; bei anderen Rahmenkonstruktionen ergeben sich andere Absolutwerte, jedoch ähnliche Tendenzen

2.3.32

Material	Wärmeleitfähigkeit [W/mk]	U-Wert [W/m²K] typischer Rahmen	U-Wert [W/m²K] typisches Fenster
Holz	0,12	2,1–3,1	1,5–2,8
Aluminium	220	Thermisch getrennt 5,0 bis 6,6 ohne Trennung 10 bis 13	1,9–3,3
Kunststoff PVC	0,16	2,3–3,9	1,7–2,9

Diese Werte sind abgeleitet aus Messergebnissen von insgesamt 200 Fensterrahmen für Rahmen und ein typisches Fenster (1,2 × 1,2 m) im Forschungsprojekt Task 18 »Advanced Glazing and associated materials« der Internationalen Energieagentur.

2.3.33

Für die Kondensationserscheinungen ist die linienförmige Wärmebrücke entlang des Abstandhalters verantwortlich, die je nach angrenzender Glasart über die innere Scheibe besser oder schlechter beheizt wird. Abb. 2.3.29 zeigt den tatsächlichen U-Wert für verschiedene Scheibengrößen bei Raumtemperaturen von 20 °C und Außentemperaturen von 0 °C in Abhängigkeit vom Material des Abstandhalters.

Rahmeneinfluss und Glasfalztiefe
Im Fenster beeinflussen sich der Glasrandbereich und der Rahmen gegenseitig thermisch. Je nach Rahmenart und Glasfalztiefe (Eintauchtiefe des Glasrands in den Rahmen) kann der Wärmestrom durch den Randverbund abgedämmt oder verstärkt werden.
Abb. 2.3.30 verdeutlicht den Einfluss der Glasfalztiefe auf den U-Wert des Fensters bei einem Aluminiumabstandshalter und einem Holzrahmen. Es zeigt sich, dass für die berechnete Glasqualität mit einem U-Wert in der Scheibenmitte von 1,55 W/m²K beim vorliegenden Aluminiumabstandhalter mit einem U_{Rand} = 2,00 W/m²K für den Randbereich und einen Holzrahmen mit U_R = 1,5 W/m²K das Fenster einen Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten von 1,64 W/m²K besitzt, wenn der Glasfalz mit der Oberkante des Randverbundes abschließt. Die Verschlechterung des Fensters gegenüber der Scheibenmitte um 6 % reduziert sich mit steigender Überlappung des Randbereichs durch den Rahmen bei 10 mm bereits auf 3 %.
Entsprechend der CEN/TC89/W67 »Thermal properties of doors and windows« und in Übereinstimmung mit der ISO/TC160/SC2/WG2 wird der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient von Fenstern U_F wie folgt bestimmt:

$$U_F = (A_g \times U_g + A_R \times U_R + U \times \psi)/(A_g + A_R)$$

A_g Verglasungsfläche (m²)
A_R Rahmenfläche (m²)
U Umfang der Verglasungsfläche (m)
U_g U-Wert der Scheibenmitte (W/m²K)
U_R U-Wert des Rahmens (W/m²K)
ψ linearer Wärmedurchlasskoeffizient (W/mK) des Randverbundes

Für Wärmeschutzgläser mit sehr niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten U = 0,4–0,7 W/m²K verstärkt sich der Rahmeneffekt deutlich. Zusätzlich zum tiefen Glasfalz werden hier Dämmstreifen über den Randverbund eingesetzt (Abb. 2.3.28). Von Wolfgang Feist wurden hierzu sehr detaillierte Studien im Zuge der Planung der Passivhäuser Kranichstein durchgeführt. Abb 2.3.31 zeigt den U-Wert für Rand und Verglasung eines Fensters in Abhängigkeit vom Material des Abstandhalters sowie der Kantenlänge und Abb. 2.3.27 die Abhängigkeit des gesamten Fensterwärmedurchgangskoeffizienten von Fläche und Randkonstruktion.

Rahmenmaterial und Kennwerte für das Fenster
Selbstverständlich spielt das Material des Rahmens eine Rolle bei der Fensterbewertung. Für

marktübliche Fenstergrößen zeigt Abb. 2.3.32 den Einfluss von Rahmenmaterial und Abstandhalter auf die U-Wert-Reduzierung von der Scheibenmitte zum gesamten Fenster.
Abb. 2.3.33 gibt die Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Rahmenmaterialien und ihren Einfluss auf den U-Wert des Fensters mit Verglasung an.
EN ISO 10077 Teil 1 regelt die Berechnung des U-Wertes der Verglasung in Abhängigkeit vom U-Wert des Glases und vom U-Wert des Rahmens, sowie vom Rahmenanteil. Abb. 2.3.34 zeigt für verschiedene Glas- und Rahmenkombinationen bei einem Rahmenanteil von 30 % und macht die Notwendigkeit eines hochwertigen Rahmens deutlich, zumal die Rahmenfläche als Energie sammelnde Fläche wegfällt.

Fazit zu Randverbund und Rahmen
Alle bisherigen Betrachtungen zeigen, dass über den Randverbund und den Rahmen bei Wärmeschutzverglasungen eine Verschlechterung der dämmtechnischen Eigenschaften auftritt. Gleichzeitig ist zu beachten, dass durch den Randverbund und den Rahmen keine Energiegewinne für das Fenster entstehen, sondern Scheibenbereiche verschattet werden und damit die solare Gewinnfläche (Apertur) des Bauteils verkleinert wird. So ist es unter energetischen Aspekten erstrebenswert, statt vieler kleiner Verglasungen wenige große Scheiben mit einem minimalen Rahmenanteil einzusetzen, um damit die Wärmeverluste zu minimieren und die solaren Gewinne zu maximieren. Da fest stehende Verglasungen üblicherweise eine geringere Rahmenbreite aufweisen, sollte der Anteil der zu öffnenden Verglasungen kritisch geprüft werden. Auch die Luftundichtigkeit spielt bei Winddruck auf die Fassade, definiert über die Fugendurchlässigkeit, eine wichtige Rolle.

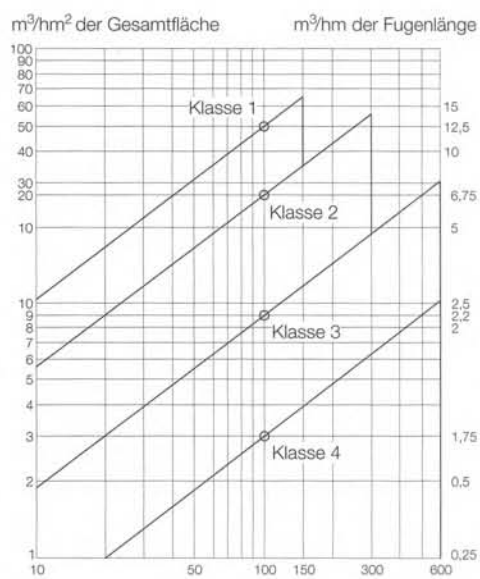
Fugendurchlässigkeit von Fenstern
Besonders für zu öffnende Verglasungen sind neben den thermischen Verlusten über Wärmeleitung durch das Bauteil die Wärmeverluste infolge von Luftundichtigkeit zu beachten. Über Windanströmung an das Gebäude entstehen Über- und Unterdruckbereiche an den Fassaden bis zu 40 Pa und höher, die zu Lufteindringung oder Absaugung führen. Die Dichtigkeit eines Fassadenteils beziehungsweise seiner Fugen wird über die Fugendurchlässigkeit und den Fugendurchlasskoeffizienten a des Bauteils beschrieben. Dieser Koeffizient [$m^3/(h \times m \times Pa^{2/3})$] gibt an, wie viel Kubikmeter Luft pro Stunde und Meter Fugenlänge bei einem Druckunterschied von 1 Pa durch die Fugen treten. Die Fugendurchlässigkeit von Fenstern wird in DIN EN 12207 geregelt. Abb. 2.3.35 zeigt die Fugendurchlasskoeffizienten für Fenster nach DIN 4701 Teil 2. So ergibt sich beispielsweise für ein 1 x 1 m großes Fenster und damit einer Fugenlänge von 4 m eine Fugendurchlässigkeit von $4\ m \times 0{,}6\ m^3/hmPa^{2/3} = 2{,}4\ m^3/h\ Pa^{2/3}$. Dies

2.3.30 Einfluss der Glasfalztiefe auf den U-Wert des Fensters bei einem Aluminiumabstandhalter und einem Holzrahmen
2.3.31 mittlerer U-Wert eines Fensters an einem Beispiel (Dunkel-U-Wert, -10 °C/20 °C)
2.3.32 Übersicht U-Werte des Fensters in Abhängigkeit von Rahmenmaterial, Abstandhalter und Verglasungskennwerten
2.3.33 Unterschiede der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Rahmenmaterialien und ihr Einfluss auf den U-Wert des Fensters mit Verglasung
2.3.34 Fenster U-Werte für Wärmeschutzgläser bei verschiedenen Rahmenqualitäten nach EN ISO 10077
2.3.35 Rechenwerte für die Fugendurchlässigkeit von Bauteilen nach DIN 4701 Teil 2
2.3.36 Fugendurchlässigkeit in Abhängigkeit vom Winddruck auf die Fassade für verschiedene Klassen nach DIN EN 12207

Art der Verglasung	U_g W/(m²K)	U_f W/(m²K) Flächenanteil des Rahmens 30 %								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Einscheibenverglasung	5,7	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
Zweischeiben-Isolierverglasung	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
Dreischeiben-Isolierverglasung	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6
	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5

Anmerkung: Die Berechnung erfolgte mit Ψ-Werten aus Anhang E. Werte für Fenster, deren Flächenanteil nicht 30 % entspricht, sind mit den Gleichnungen des Hauptteils dieser Norm zu ermitteln.

2.3.34



Nr.	Bezeichnung		Gütemerkmale	Fugendurchlässigkeit	
				Fugendurchlasskoeffizient $m^3/(m \times h \times Pa^{2/3})$	a x l
1	Fenster	zu öffnen	Beanspruchungsgruppen B, C, D	0,3	–
2			Beanspruchungsgruppe A	0,6	–
3		nicht zu öffnen	normal 0,1		

2.3.35

Klasse	Referenzluftdurchlässigkeit bei 100 Pa $m^3/(h \times m)$	maximaler Prüfdruck Pa
0	nicht geprüft	nicht geprüft
1	12,50	150
2	6,75	300
3	2,25	600
4	0,75	600

2.3.36

bedeutet nach dem Auslegungsdruck der DIN 4701 bei einem Einraumreihenhaus in normaler Lage in einer windschwachen Gegend von 1,6 Pa für die angeströmte Fassade einen Volumenstrom von 3 m³/h durch die Fugen des 1 × 1 m großen Fensters. Bei der Auslegungstemperatur der Raumheizung von z.B. -10 °C und einer Raumtemperatur von 20 °C sind dies immerhin 30 W und bezogen auf die Temperaturdifferenz und die Fenstergröße ein Verlustkoeffizient von 1 W/m²K. Dies zeigt die Wichtigkeit einer guten Fugendichtigkeit gegenüber ungewollten Luftströmen. Andererseits muss beachtet werden, dass für einen Raum ein Mindestvolumenstrom an Außenluft aus hygienischen Gründen und zum Abtransport von anfallender Feuchte erwünscht wird. Die hohe Dichtigkeit moderner Fassaden kann dazu führen, dass definierte Öffnungsfächen wie z.B. Dauerlüfter zur Frischluftversorgung eingesetzt werden. Zu geringe Frischluftraten können in Kombination mit Wärmebrücken oder Bauteilen mit niedrigem Dämmstandard und hohen Raumluftfeuchten zu bauphysikalischen Schäden führen. Stockflecken in Sanierungsprojekten der 1970er-Jahre, in die neue dichte Fenster eingesetzt, die Wanddämmung aber nicht verbessert wurde, sind Beispiele hierfür.
Abb. 2.3.36 zeigt nach DIN EN 12207 die Fugendurchlässigkeit pro Meter Fuge in Abhängigkeit von der anliegenden Druckdifferenz für die verschiedenen dort definierten Klassen.

Effekte durch die Verknüpfung von Dämmwert und Transmission von Energie und Tageslicht
Durch die gegenseitige Abhängigkeit der energierelevanten Kennwerte wie Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U, Gesamtenergiedurchlass g und Lichttransmissionsgrad τ führt eine Optimierung des U-Wertes beispielsweise nicht zu optimierten Solar- oder Tageslichtgewinnen. Daher muss in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung, Bauweise, Geometrie und Orientierung eine Verglasungsauswahl erfolgen, die ein Gesamtoptimum sicherstellt. Als einfaches Bewertungsinstrument der reinen Verglasung ohne Berücksichtigung spezifischer Angaben zum angeschlossenen Raum wurde zur einfachen Bilanzierung der Begriff des effektiven U-Wertes einer Verglasung eingeführt. Dieser Kennwert berücksichtigt für die wärmetechnische Bilanz nicht nur die Transmissionsverluste, sondern auch die solaren Gewinne, die eine Verglasung von einem opaken Wandelement unterscheiden. Diese Definition nach Hauser wurde in Deutschland auch in die dritte Wärmeschutzverordnung von 1995 aufgenommen (Definition siehe »Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient U_{eq}«, S. 124). Aus der Formel:

$U_{eq} = U - (g \times S)$
S = 2.4 W/m²K für Süd
1.8 W/m²K für Ost/West
1.2 W/m²K für Nord

lässt sich leicht ablesen, dass eine U-Wert-Reduzierung nicht immer zu einem geringeren U_{eq} führen muss, wenn sich dabei der g-Wert auch entsprechend reduziert. Abb. 2.3.37 verdeutlicht diese Problematik, die besonders für die Orientierung mit höheren solaren Gewinnen wie Ost/West und Süd gilt.
Verglasungen mit einem guten Dämmwert können über die solaren Gewinne in der Heizperiode ihre Transmissionsverluste kompensieren und bei entsprechender Orientierung zur Wärmequelle werden. Besonders für die Südseite ist eine Verbesserung des U-Wertes von Glas 3 auf Glas 4 (Abb. 2.3.37), die mit einer starken g-Wert-Reduzierung verbunden ist – bedingt durch andere Beschichtungen und mehrere Glasscheiben – in der Gesamtbilanz negativ. Die reduzierten Wärmeverluste wiegen die reduzierten Strahlungsgewinne nicht auf, der äquivalente U-Wert steigt an. Schon auf der Ost- und Westseite und noch klarer auf der Nordseite überwiegt die Dämmwirkung die reduzierten solaren Gewinne, womit eine Verbesserung des äquivalenten U-Wertes von 3 auf 4 einhergeht. Diese Zusammenhänge sind auch in der Diskussion über vorgestellte Glashäuser oder Doppelfassaden zu berücksichtigen (siehe S. 150ff.). Nur wenn die Einsparungen bei den Transmissionsverlusten über die Pufferwirkung die Reduzierung der Strahlungsgewinne übertrifft, ist in der Gesamtbilanz eine Einsparung zu verzeichnen.
Ähnliche Betrachtungen lassen sich für die Lichttransmission in Abhängigkeit des U-Wertes aufstellen, wobei hier kein Kennwert wie U_{eq}

	U-Wert	Energiedurchlass g	Lichttransmission	Süd U_{eq}	Ost/West U_{eq}	Nord U_{eq}
1. Glas	1,8	0,7	0,81	0,12	0,54	0,96
2. Glas	1,3	0,62	0,77	-0,188	0,184	0,556
3. Glas	1,1	0,58	0,76	-0,292	0,056	0,404
4. Glas	0,7	0,4	0,60	-0,26	-0,02	-0,02

2.3.37

2.3.37 äquivalenter U_{eq}-Wert [W/m²K] verschiedener Verglasungen und Orientierungen

existiert. Abb. 2.3.37 zeigt allerdings, dass sich die Tageslichtgewinne bei verbessertem Dämmstandard der Verglasung reduzieren. Besonders bei Verwaltungsgebäuden mit hohen internen Wärmegewinnen kann eine zu stark reduzierte Tageslichttransmission zum Einsatz von Kunstlicht führen, während hier die Wärmeverluste aufgrund der internen Wärmelasten eine untergeordnete Rolle spielen.
Die Bilanzierung des äquivalenten U-Wertes kann nur eine grobe Richtung vorgeben, da über die Nutzbarkeit der solaren Gewinne sowie über Blendungsproblematik nichts ausgesagt wird. Diese hängen stark von der Nutzung, aber auch vom Flächenanteil der jeweiligen Verglasung ab. Für eine Wohnungsbebauung in Standardausführung (mittelschwer) mit üblichen Verglasungsanteilen (< 50 % der Fassade) sind obige Werte als Überschlag nutzbar. Bei Abweichung sollten detaillierte Bewertungswerkzeuge herangezogen werden (siehe »Dynamisches Verhalten von Räumen«, S. 146).

Energiegewinne durch Glas – Solarstrahlung, Licht

Die Durchsichtigkeit und Durchlässigkeit von Glas ermöglicht es, über die Fassadenöffnungen Licht und Sonnenstrahlung einzufangen und damit Räume nicht nur abzuschließen, sondern sie auch zu beleuchten und zu erwärmen. Dies ist besonders dann von erhöhter Bedeutung, wenn die Außentemperaturen des Standorts in der kalten Jahreszeit unter 15 °C absinken. Deshalb werden als Voraussetzung der Energiegewinnung durch Glas zuerst die klimatischen Randdaten beleuchtet und dann auf die Größenordnung und Nutzbarkeit der Gewinne eingegangen.

Klimatische Randdaten
Zur Bewertung der Energiegewinne aber auch -verluste durch Glas sowohl im gesamten Strahlungsspektrum als auch speziell im Bereich Tageslicht sind als Randdaten die standortabhängigen Wetterdaten entscheidend. Hierbei spielen die Strahlungsangebote an diffuser und direkter Solarstrahlung eine wichtige Rolle für die Gewinnsituation. Andererseits bestimmen die Umgebungstemperaturen, die Windgeschwindigkeit und der Bewölkungsgrad zusammen mit der Innenraumtemperatur die thermischen Verluste pro Quadratmeter Verglasungsfläche. Für Mittel- und Südeuropa unterscheidet man bedingt durch Klimafaktoren wie geographische Breite, Höhe über dem Meeresspiegel, Meeres- und Luftströmungen vier verschiedene Großklimazonen:

- nordeuropäisches Küstenklima
  sehr kalte Winter mit geringer Sonnenstrahlung, mäßig warme Sommer
- mitteleuropäisches Küstenklima
  kühle Winter mit geringer Sonnenstrahlung, milde Sommer
- Kontinentalklima
  relativ kalte Winter mit hoher Sonnenstrahlung, warme Sommer
- südeuropäisches und mediterranes Klima
  milde Winter mit hoher Sonnenstrahlung, heiße Sommer

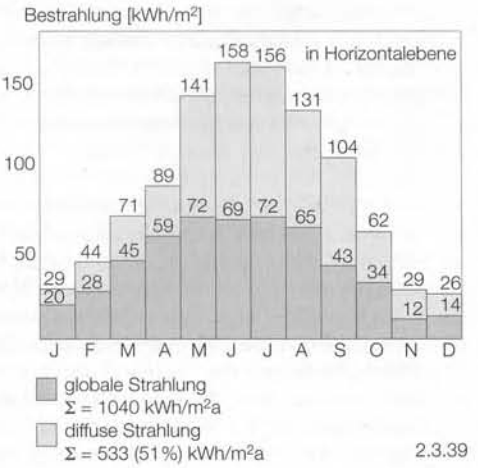
In diesen Großklimazonen werden je nach topographischer Ausbildung und Vegetation so genannte Regionalklimazonen unterschieden, beeinflusst durch hohe Berge, große Wasserflächen, Waldgebiete, aber auch siedlungsbedingte Faktoren wie Luftverschmutzung oder Oberflächenversiegelung.
An einem spezifischen Standort spielt darüber hinaus das Kleinklima eine entscheidende Rolle für die Bewertung von Gewinnen und Verlusten. Vorgegebene Orientierungen, bestehende Nachbarbebauung, topologische Gegebenheiten, aber auch die freie oder windgeschützte Lage bestimmen die Möglichkeiten, über Verglasungsflächen Strahlungsenergie und Tageslicht zu sammeln und große Wärmeverluste durch Auskühlung zu vermeiden. Im Folgenden sind die Klimaelemente aufgelistet, die für die energetische Bewertung wichtig sind:

- solare Strahlungsgewinne
  in Abhängigkeit von der Jahreszeit über Azimut (Himmelsrichtung) und Zenit (Höhenwinkel) – aufgeteilt nach direkter und diffuser Strahlung
- Umgebungstemperatur
  im Jahresgang, wobei die Minimaltemperatur und Länge der Kälteperiode die Anforderungen an die Glasqualität in Form des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten beeinflusst
- Windgeschwindigkeit
  bezüglich Abkühlung der Außenfläche durch Reduzierung des Wärmeübergangswiderstandes und druckunterschiedsbedingten Luftinfiltrationen
- Feuchte
  zwecks Kondensationsgefahr und Komfortkriterien für den Innenraum
- langwellige Abstrahlung
  gegen den Himmel als zusätzlicher Verlustfaktor der Außenfläche, über den Bewölkungsgrad bestimmbar

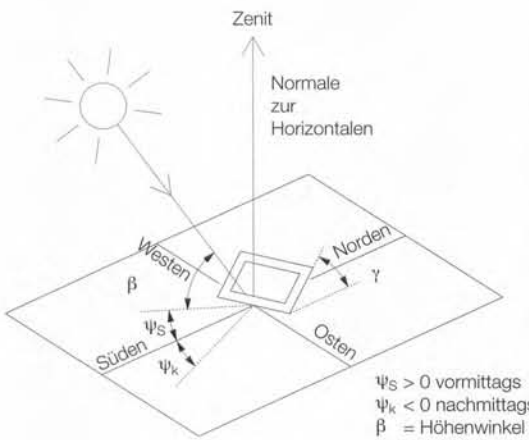
Solarstrahlung – Verlauf und Energiemengen
Das extraterrestrisch auftreffende Solarspektrum wird über die Erdatmosphäre gefiltert, besonders durch Ozonbestände in der Stratosphäre lassen sich kurzwellige gesundheitsschädliche UV-Anteile abhalten. An einem klaren Tag entsteht das in Abb. 2.3.1 aufgezeigte Strahlungsprofil, da von den extraterrestrisch einfallenden Strahlungen von maximal 1347 W/m², maximal 1100 W/m² auf die Erdoberfläche auftreffen. Ein Teil der Sonnenstrahlung wird zurück in den Weltraum reflektiert, ein anderer durch Absorption an Ozon, Kohlendioxid und Wasserdampf in der Atmosphäre in Wärme umgewandelt, welche die atmosphärische Gegenstrahlung bedingt. Ein

	klarer, blauer Himmel	verd. Sonne, dunstig – wolkig	wolkenbedeckter Himmel
Globalstrahlung [W/m²]	600–1000	200–400	50–150
Diffusanteil [%]	10–20	20–80	80–100

2.3.38

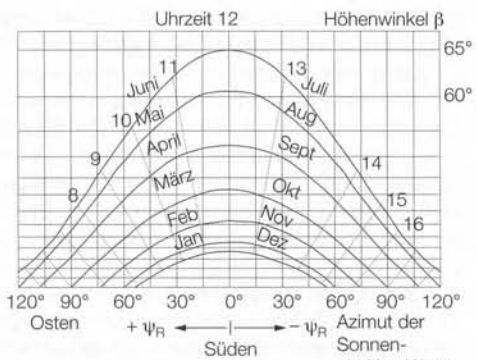


2.3.39

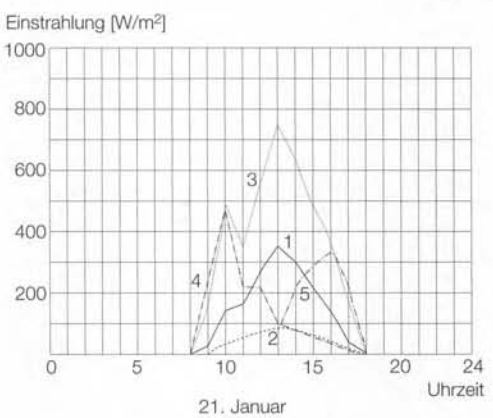


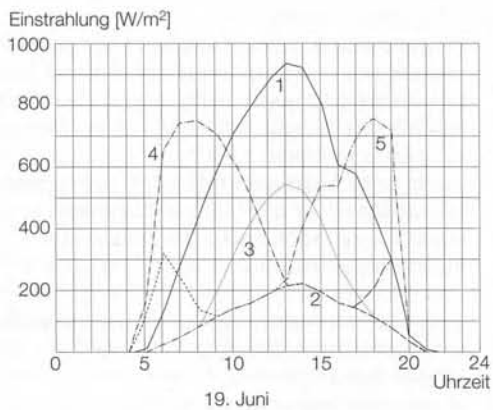
$\psi_S > 0$ vormittags
$\psi_k < 0$ nachmittags
β = Höhenwinkel
ψ_S = Azimut

2.3.40



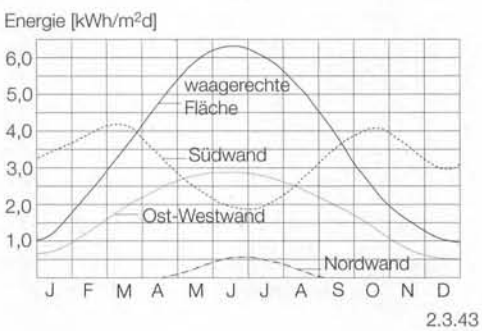
2.3.41



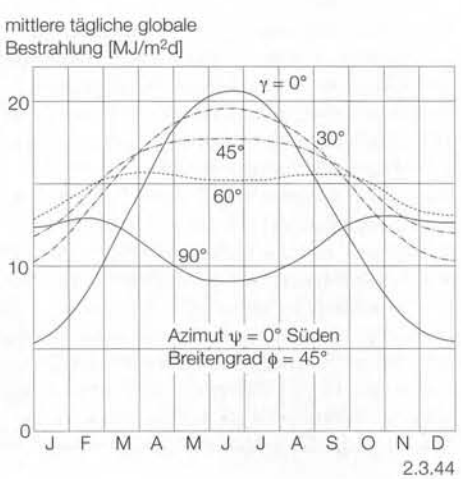


1 I-g-hor [W/m²]
2 I-g-Nord [W/m²]
3 I-g-Süd [W/m²]
4 I-g-Ost [W/m²]
5 I-g-West [W/m²]

2.3.42



2.3.43



2.3.44

Teil der einfallenden Strahlung wird an Partikeln und Luftmolekülen gestreut und trifft als Diffusstrahlung auf die Erdoberfläche. Der direkt transmittierte Anteil wird als Direktstrahlung bezeichnet. Die Summe aus atmosphärischer Gegenstrahlung, Diffus- und Direktstrahlung nennt man Globalstrahlung. Obwohl die Energiedichte der Globalstrahlung mit maximal 1100 W/m² in einer Sonnenstunde gerade die Energiemenge von 0,1 l Heizöl erbringt, ist das solare Angebot, das auf die Landflächen unseres Planeten Erde auftrifft, fast 2500 mal so groß wie der Weltenergiebedarf im Jahre 1985. Der Anteil der Diffusstrahlung an der Globalstrahlung wird vom Bewölkungsgrad, der Klarheit der Atmosphäre und der Länge des Strahlungsweges durch die Atmosphäre beeinflusst.

Abb. 2.3.38 zeigt die Strahlungsleistungen von Global- und Diffusstrahlung bei unterschiedlichen Bewölkungszuständen.

Die Abschwächung über Partikel in der Atmosphäre wird über den Trübungsfaktor definiert, der die theoretische Vergrößerung der klaren Atmosphäre beschreibt, die zur selben Strahlungsreduzierung führen würde. Die Trübungsfaktoren variieren über die Jahreszeit und sind abhängig vom Standort je nach Nutzung zwischen 2,1 und 5,0. In Kombination mit dem Sonnenstand werden im Frühjahr die höchsten Strahlungsdichten gemessen. Abb. 2.3.39 zeigt die monatliche Strahlungssumme auf eine horizontale Fläche für Global- und Direktstrahlung über den Jahresverlauf für den Standort Stuttgart. Für Europa variieren die Jahressummen der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche zwischen 980 kWh/m² pro Jahr (Hamburg) und 1780 kWh/m² pro Jahr (Almeria, Spanien).

Bedingt durch den Einfallswinkel der Sonne auf eine beschienene Fläche, insbesondere für eine Verglasung, bei der sich die Transmission noch mit dem Einfallswinkel verändert, bestimmen ihre Neigung und Ausrichtung (Himmelsrichtung) die maximale Intensität und die Energiemenge im Jahresverlauf hinter der Scheibe. Grund hierfür ist die sich in unseren Breiten im Jahresgang stark verändernde Sonnenlaufbahn, die zwar um 12 Uhr immer im Süden steht, aber zwischen dem Höchststand von 18° im Dezember und 65° im Juni variiert, wobei sich ihr Aufgang von Südost nach Nordost und zurück verschiebt.

Diese jahreszeitlichen Veränderungen sind für die Bewertung von Strahlungsgewinnen wichtig, aber auch für die Möglichkeiten z.B. mit fest stehenden Verschattungen zu arbeiten.

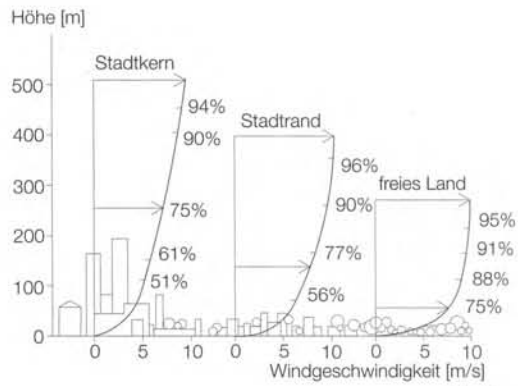
Abb. 2.3.40 und 2.3.41 erlauben die Bestimmung des Höhenwinkels und der Himmelsrichtung der Sonnenlaufbahn über das Jahr. Dabei ist der Azimut so definiert, dass er für Süden den Wert 0 annimmt, Osten mit +90 und Westen mit -90 definiert wird. Es lässt sich ablesen, dass beispielsweise für den gewählten Standort mit dem geographischen Breitengrad 48° – z.B. Stuttgart – die Sonne im Dezember um 8 Uhr im Südosten aufgeht, während sie im Juni um diese Uhrzeit noch fast im Osten steht und schon einen Höhenwinkel von 35° aufweist.

Als direkte Auswirkung auf Verglasungsflächen ergeben sich für die Haupthimmelsrichtungen bei einer vertikalen Fassade sowie für horizontale Flächen über das Jahr verschiedene Tagesgänge. Abb. 2.3.42 stellt die Einstrahlungsverläufe für fünf unterschiedliche Fassadenorientierungen für einen sonnigen Tag im Januar (Sonnentiefststand) und im Juni (Sonnenhöchststand) dar. Dabei zeigt sich die maximale Einstrahlung auf der Südseite im Winter, während im Sommer die Strahlungsspitzen auf Ost- und Westseite sowie auf der horizontalen Fläche auftreten.
Variiert man den Neigungswinkel einer Südfassade, so ergeben sich über das Jahr verschiedene Verläufe der mittleren täglichen Strahlungssumme, wie Abb. 2.3.44 zeigt.
Als optimaler Anstellwinkel für die Strahlungssumme im Jahr kann für einen beliebigen Standort bei Südausrichtung als Faustregel die geographische Breite angesetzt werden, so z.B. 48° für den Standort Stuttgart. Winteroptimierte Flächen wie Wintergärten oder Zuluftpuffer werden möglichst steil angestellt, während sommeroptimierte Flächen wie Schwimmbadkollektoren sehr flach geneigt werden.

Außentemperatur, Wind, Gradtage
Der Jahresverlauf der Außenlufttemperatur orientiert sich an dem Verlauf der Globalstrahlung. Dabei spielt die Bewölkung als Strahlungsschirm sowohl für Strahlungsgewinne als auch für langwellige Strahlungsverluste eine entscheidende Rolle, vergleichbar mit einem kombinierten Sonnen- und temporären Wärmeschutz. Durch die flach stehende Sonne sind die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf im Winter geringer als für die hoch stehende Sonne und den damit höheren Strahlungsgewinn im Sommer. Große Wasserflächen fangen starke Temperaturschwankungen auf, wodurch sich die gegenüber dem Kontinentalklima geringeren Jahresschwankungen in Küstenregionen erklären.
Die Bebauung spielt für das Kleinklima eine wichtige Rolle, liegt doch im Winter die Minimaltemperatur in Innenstädten bis zu 4 K über dem freien Umland, während im Sommer dieser Effekt in Kombination mit versiegelten Flächen zu Differenzen in der Temperaturspitze von bis zu 10 K führt. Mitverantwortlich ist der Windeinfluss, der für erwünschte oder unerwünschte Auskühlung je nach Jahreszeit sorgt. Neben der Bebauung hat natürlich die Regionaltopographie ebenso einen Einfluss, z.B. Windrichtung und Windaufkommen. In Mitteleuropa überwiegen westliche Winde, wobei an der Küste Seewinde mit eine Rolle spielen. Neben dem Einfluss auf den äußeren Wärmeübergangskoeffizienten ist für Verglasungen der Wind im Bereich des beweglichen externen Sonnenschutzes ein Thema. Da entsprechend der Bebauung die Windgeschwindigkeit mit der Höhe über der Geländeoberfläche zunimmt, müssen externe Verschattungsvorrichtungen ab gewissen Windgeschwindigkeiten in Parkstellung gebracht werden. Dies kann besonders bei hohen Gebäuden oder frei stehender Lage zum Versagen des Sonnenschutzes bei Wind führen. Abb. 2.3.45 zeigt den Verlauf des Windprofils bei unterschiedlichen Siedlungsdichten.
Als Berechnungsgrundlage zur überschlägigen Bestimmung der Transmissionswärmeverluste durch eine Verglasung kann die Gradtagszahl herangezogen werden. Diese Größe bewertet die mittlere Tagestemperatur um 6 Uhr, 12 Uhr und 18 Uhr und ihre Temperaturdifferenz zum Bezugspunkt 20 °C entsprechend der Rauminnentemperatur. Dabei wird ein Tag nur als Heiztag gewertet, wenn die mittlere Tagestemperatur unter 15 °C absinkt. Oberhalb dieser Grenze wird angenommen, dass der Heizbedarf über interne Wärmequellen und solare Gewinne gedeckt wird. Abb. 2.3.46 zeigt die Liste einiger deutscher Städte mit ihren Gradtagszahlen[8] aus DIN 4701 (detaillierte Berechnungen mit diesen Werten siehe »Wärmeschutz mit Glas«, S. 146ff.)
Besizt ein Standort beispielsweise eine Gradtagszahl von 3600 Kd (Kelvin days), so lassen sich die Transmissionsverluste einer Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 1 W/m²K nach folgender Formel berechnen:

$$QT = k \times A \times GT \times 24 \quad \frac{W \times m^2 \times Kd \times h}{[m^2\ Kd\ ]} \quad [\ Wh\ ]$$

$$\text{pro } 1\ m^2 = 1 \times 1 \times 3600 \times 24$$
$$= 86\,400\ Wh = 86{,}4\ kWh$$



2.3.45

Standort *	Heizgrenztemperatur 15 °C	
	t_a d	Gt_{15} Kd
Berlin	264,5	3748
Dresden	274,8	3898
Frankfurt/M.	265,6	3640
Freiburg i. Br.	249,1	3309
Hamburg	293,3	3982
Hof	314,7	4856
Mannheim	254,6	3436
München	288,1	4246
Nürnberg	278,2	3983
Passau	284,4	4249
Stuttgart	278,6	3938
Ulm	290,7	4308
Würzburg	274,1	3861

* Die aufgeführten Standorte zeigen nur eine Auswahl.

2.3.46

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
Süden	E	40	40	58	96	87	92	98	82	81	58	37	23	794
	G	16	15	22	32	28	29	31	27	28	22	15	9	274
Norden	E	9	15	26	46	61	73	74	51	34	24	13	7	434
	G	4	5	9	16	21	24	25	17	12	8	4	3	148
Osten	E	18	25	43	97	102	114	118	81	60	36	21	12	727
	G	6	9	16	36	38	42	44	30	22	13	7	4	267
Westen	E	17	23	35	84	94	103	114	87	67	38	19	10	691
	G	6	8	13	31	34	38	42	32	24	13	7	3	252
Horizontal	E	24	35	61	137	157	184	190	133	97	56	28	16	1119
	G	7	11	21	49	58	68	69	48	34	18	9	5	397

2.3.47

2.3.38 Globalstrahlungsleistung und Diffusanteil in Abhängigkeit vom Bewölkungszustand
2.3.39 Monatssummen Global- und Diffusstrahlung am Beispiel Stuttgart
2.3.40 Definition der Sonnenwinkel
2.3.41 Sonnenbahndiagramm für 48° nördlicher Breite
2.3.42 Tagesgang der Globalstrahlung an einem sonnigen Januar- und Junitag für verschiedene Fassadenorientierungen
2.3.43 Jahresgang der Tagessummen der Globalstrahlung für verschiedene Orientierungen
2.3.44 Variation der Strahlungsgewinne bei verschiedenen Südfassaden
2.3.45 Windprofil bei Geländetopographien
2.3.46 Standortspezifische Heiztage t_a und Heizgradtage G
2.3.47 Einstrahlungssummen der Globalstrahlung sowie Transmissionsgewinne für verschiedene Fassadenorientierungen für ein Wärmeschutzglas mit g-Wert = 0,6, Standort Würzburg
E = Einstrahlung [kWh/m²]
G = Gewinne [kWh/m²]

Die solaren Gewinne hinter der Verglasung
Wie in Abb. 2.3.7 (S. 122) gezeigt, hängt die Transmission und damit auch der Gesamtenergiedurchlass durch eine Verglasung neben den Materialwerten auch vom Einfallswinkel auf die Glasfläche ab. Wie der Verlauf zeigt, treten bei mehr als 60° Abweichung von der Flächennormalen der Scheibe verstärkt Reflexionen auf, die die Transmission reduzieren. Je nach Sonnenstand in Azimut und Höhenwinkel machen sich die Effekte übers Jahr unterschiedlich bemerkbar, abhängig von der Ausrichtung der Verglasung.
Abb. 2.3.47 zeigt die monatlichen Einstrahlungssummen der Globalstrahlung sowie die Gesamtenergiegewinne (Transmission und sekundäre Wärmeleistung) für unterschiedliche Fassadenorientierungen.
Die Zahlen belegen, dass bedingt durch die winkelabhängige Transmission sowie den Diffusanteil, der mit einem mittleren Einfallswinkel von 60° von der Flächennormalen angenommen wird, sich der jahreszeitliche Verlauf eher noch verstärkt. Es ist erkennbar, dass für einen Wintergarten eine vertikale Südfassade viel wichtiger ist als ein horizontales Glasdach, da dies eher zu Überhitzungsproblemen führt und aus heizungstechnischen Optimierungsgründen besser geschlossen auszuführen oder mit einem Sonnenschutz zu versehen ist. Ost- und Westfassaden haben ihre maximalen solaren Gewinne im Sommer, da die flach stehende Sonne zu maximalen Transmissionswerten führt. Dies ist bei der Wahl großer Verglasungsflächen nach Ost und West zu beachten, zumal fest stehende Sonnenschutzmaßnahmen in Form von Dachüberständen für diese Orientierungen nur eingeschränkt funktionieren.

Die Nutzbarkeit der solaren Gewinne
Nicht jede Kilowattstunde der oben aufgelisteten solaren Gewinne im Raum pro Quadratmeter Fensterfläche kann auch zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs herangezogen werden. In Abhängigkeit von Fensterflächenanteil, Orientierung, Bauweise, Dämmstandard und Nutzung führen solare Gewinne zu Raumtemperaturen über der Solltemperatur und müssen entweder abgelüftet oder es muss ein Sonnenschutz eingesetzt werden. Ist dies nicht möglich, so muss eventuell der entsprechende Raum unter weiterem Energieaufwand mechanisch gekühlt werden. Zur Ablüftung und Verschattungssteuerung wurde in den folgenden Berechnungen die Raumtemperatur als Regelgröße eingesetzt, Blendungserscheinungen oder erhöht empfundene Temperaturen aufgrund direkter Bestrahlung wurden nicht berücksichtigt.
Die folgenden Aussagen gelten für das Gebäudebeispiel der Abb. 2.3.48.

Nutzfläche:	30 m²
Volumen:	90 m³
Außenfläche:	15 m²
A/V Verhältnis:	0,5
Heizgrenze:	20 °C Lufttemperatur

- Verschattung:
  außen liegend, bei Raumtemperaturen > 24 °C, Verschattungsgrad 80 %
- Ablüften:
  dreifacher Luftwechsel bei Raumluft über 26 °C

Bauweise:
- leichte Bauweise
  Wände aus Holzständern mit Gipskartonverkleidung, Parkett auf Luftpolster, abgehängte Decke
- mittlere Bauweise
  Wände aus Hochlochziegel, Parkett auf Estrich mit Trittschall, holzverkleidete Betondecke
- schwere Bauweise
  Wände aus Kalksandstein, Fliesen auf Estrich mit Trittschall, freie Betondecke

Dämmstandard:
- Mindeststandard
  Fenster U-Wert 1,8 W/m²K
  Dach U-Wert 0,3 W/m²K
  Boden 0,5 W/m²K
- Normalstandard
  Fenster U-Wert 1,1 W/m²K
  Dach U-Wert 0,2 W/m²K
  Boden 0,35 W/m²K
- erhöhter Dämmstandard
  Fenster U-Wert 0,7 W/m²K
  Dach U-Wert 0,13 W/m²K
  Boden 0,25 W/m²K
  Lüftung mit Wärmerückgewinnung 65 %

Nutzung:
- Wohnen
  1 Person, anwesend 18–7 Uhr wochentags, 24 h Wochenende, beheizt von 6–22 Uhr, sonst abgesenkt, interne Wärmegewinne 800 kWh/a
  Grundlüftung 0,5 Luftwechsel pro h
- Arbeiten
  1 Person, anwesend 8–18 Uhr wochentags, beheizt von 7–18 Uhr wochentags, sonst abgesenkt
  interne Gewinne 1 Computer, Beleuchtung mit 10 W/m² wenn zu dunkel
  Grundlüftung 0,5 Luftwechsel pro h

Abb. 2.3.49 bis 2.3.52 zeigen den Heizwärmebedarf in Abhängigkeit des Verglasungsanteils der Fassadenfront, der Orientierungen und der unterschiedlichen Bauweisen. Aufgeführt sind die Kurven zweier Nutzungsarten.
Die Auflistung aller zu- und abfließenden Wärmeströme für den beschriebenen Raum mit einer Außenfassade zeigt, dass die Zusatzheizung bei Weitem nicht alle Verluste abdeckt, sondern interne und solare Gewinne hohe Beiträge leisten. Dabei bestimmt die Höhe der internen Gewinne – hier unterschiedlich für eine Wohn- und Büronutzung des Raumes angesetzt – den Anteil der nutzbaren solaren Gewinne. Nur diese tragen zu einer Reduzierung des Bedarfs der Zusatzleistung bei, während die restlichen solaren Gewinne als nicht nutzbar

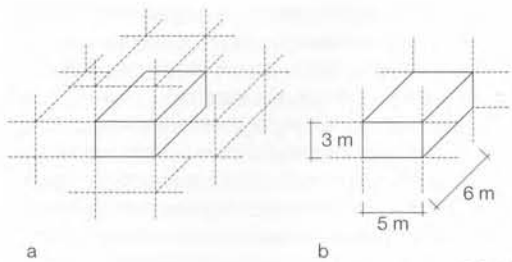
2.3.48 Beispiel Mittelgeschoss
a Raum im Gebäude
b Raum
Der betrachtete Gebäudeausschnitt besitzt nur eine Außenfassade, die übrigen Wände grenzen an Räume mit identischer Temperatur an. Dies verstärkt die Signifikanz der energetischen Effekte durch die Fassade.
2.3.49 Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der Dämmung, Einfluss des Dämmstandards bei mittlerer Bauweise, 60 % Fensteranteil, Südorientierung, Nutzung Wohnen
2.3.50 Die Nutzbarkeit der solaren Gewinne in Abhängigkeit des Verglasungsanteils
2.3.51 Die Nutzbarkeit der solaren Gewinne in Abhängigkeit der Orientierung
2.3.52 Die Nutzbarkeit der solaren Gewinne in Abhängigkeit der Bauweise
2.3.53 Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der Nutzungsart bei mittlerer Bauweise, 60 % Fensteranteil, Südorientierung, Niedrigenergie-Dämmstandard
2.3.54 Vergleich der Sommertemperaturen bei unterschiedlichen Sonnenschutzarten
2.3.55 Wirkungsweise des Sonnenschutzes

abgelüftet werden müssen oder zur Überhöhung der Raumtemperatur führen. Dabei sind die über den temperaturgesteuerten Sonnenschutz ausgeblendeten solaren Einstrahlungen nicht berücksichtigt. Die in Abb. 2.3.53 aufgeführten Zahlen belegen die geringe Nutzbarkeit von solaren Wärmegewinnen für eine Büronutzung, bedingt durch deren hohe interne Wärmegewinne. Hier liegt der Schwerpunkt »Nutzung der Sonnenstrahlung« auf einer Substitution von Kunstlicht durch Tageslicht, um somit wiederum die internen Wärmequellen zu begrenzen.

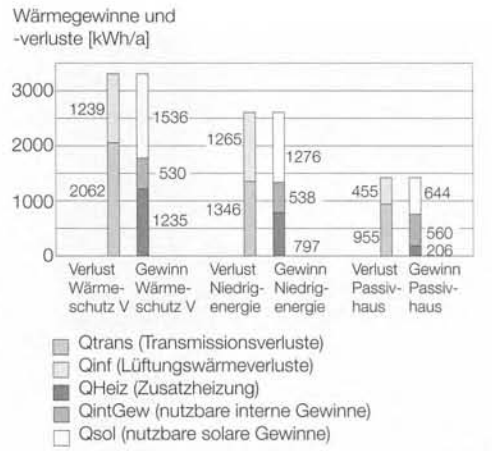
Abb. 2.3.50–2.3.52 stellen nicht mehr detailliert die einzelnen Gewinne und Verluste dar, sondern hier wird die Nutzbarkeit der solaren Gewinne über eine Erhöhung oder Reduzierung des Heizwärmebedarfs ausgedrückt. Während die Orientierung, bedingt durch das stark unterschiedliche Strahlungsangebot, eine hohe Sensitivität besitzt, spielt der Verglasungsanteil im Zusammenhang mit den höheren Verlusten bei großen Fensterflächen aufgrund der relativ guten Verglasung mit 1,1 W/m²K bei Standarddämmung eine geringere Rolle. Dies erlaubt eine größere architektonische Freiheit bezüglich der Glasflächen, allerdings muss unbedingt auf einen ausreichenden Sonnenschutz, d.h. eine Strahlungsreduzierung auf unter 25 % im geschlossenen Zustand, geachtet werden. Der Dämmstandard reduziert signifikant die Verlustseite und damit auch den Bedarf. Damit verringern sich die absoluten nutzbaren Solargewinne, und auch der Anteil am gesamten Wärmegewinn aus Zusatzheizung, internen und solaren Gewinnen, wobei sich die solaren Gewinne mittels Sonnenschutz ausblenden lassen, während die internen Wärmegewinne nicht abschaltbar sind. Der Einfluss der Bauweise, ob leicht oder sehr schwer, erhöht die Nutzbarkeit der solaren Gewinne durch die Möglichkeit ihrer Pufferung in der Gebäudemasse.

Wie die Einstrahlungssummen in Abb. 2.3.47 zeigen, verzeichnen vertikale Ost-, West- und Südfassaden sehr hohe Strahlungsgewinne im Frühjahr und Sommer. Wenn diese nicht begrenzt werden, führen sie zu Überhitzungsproblemen. In Abb. 2.3.54 ist der Temperaturverlauf für die Fälle ohne Verschattung dargestellt, mit innen liegendem und außen liegendem Sonnenschutz, was die Notwendigkeit eines Sonnenschutzes deutlich macht.

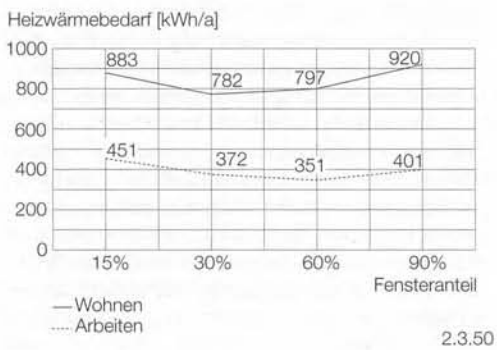
Als Konsequenz obiger Betrachtungen schreibt die Energieeinsparverordnung vor, dass die nach DIN 4108 Teil 2 (Abb. 2.3.9, S. 122) zu berechnenden höchstzulässigen Sonneneintragswerte eingehalten werden müssen. Dabei muss laut DIN ein sommerlicher Wärmeschutznachweis dann geführt werden, wenn die Fensterflächenanteile im Westen, Süden oder Osten 20 % und im Norden 30 % der Außenfassade überschreiten, d.h. in diesen Fällen muss der Sonneneintragskennwert bestimmt werden. Dieser setzt sich aus dem Fensterflächenanteil, dem g-Wert inklusive Verschattungsvorrichtung und einem Korrekturfaktor für den Rahmenanteil zusammen.



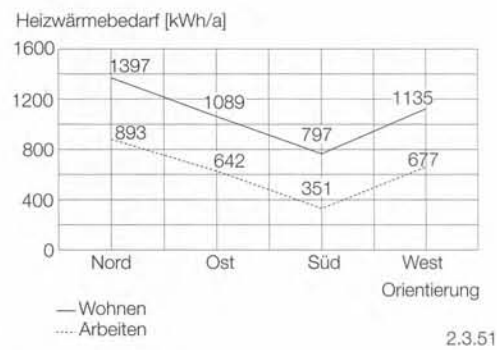
2.3.48



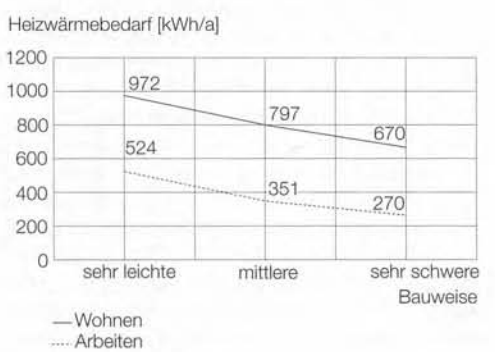
2.3.49



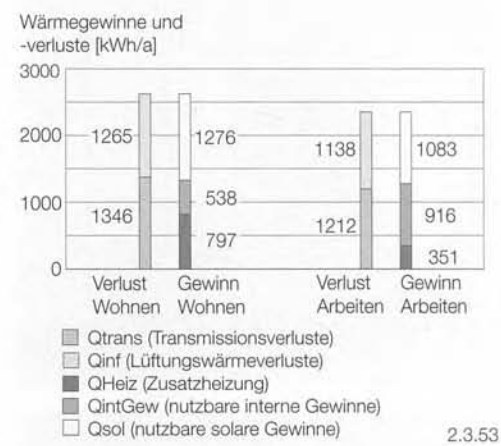
2.3.50



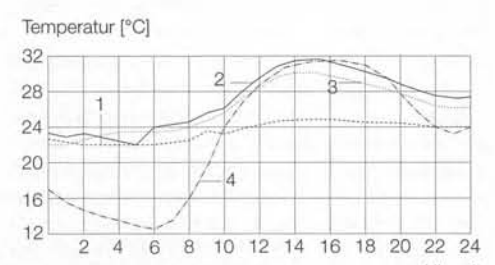
2.3.51



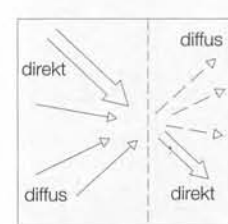
2.3.52

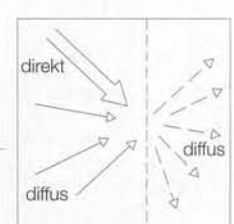


2.3.53

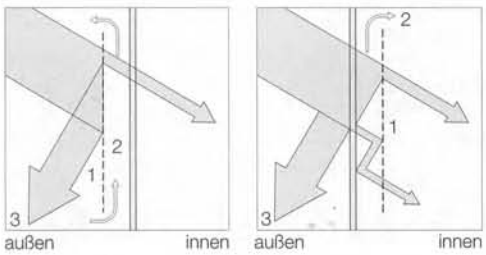


2.3.54





2.3.55



1 Sonnenschutz
2 Konvektion
3 Reflexion und Absorption

2.3.56

Sonnenschutzarten und ihre Wirkung

Betrachtet man die Strahlungszusammensetzung an einem sonnigen Sommertag für die Einstrahlung auf die Horizontale, so bildet die direkte Strahlung den Hauptanteil. Demnach ist der Energiegewinn hauptsächlich durch die Direktstrahlung verursacht und damit auch durch deren Ausblendung zu steuern. Somit ist der Höhenwinkel der Sonne, also der Winkel zwischen der Horizontalen und der aktuellen Sonnenposition, sehr wichtig.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Sonnenschutz (Abb. 2.3.55), getrennt nach ihrer Verschattungsfunktion. Strahlungsverdünnender Sonnenschutz wie beispielsweise eine Glasbedruckung, Beschichtung oder ein teildurchlässiges Material reduziert nicht die Zusammensetzung aber die maximale Intensität der Einstrahlung. Ein selektiver oder geometrischer Sonnenschutz verringert gezielt einen Strahlungsanteil, meist die Direktstrahlung, indem er sie reflektiert und/oder aber in Diffusstrahlung umwandelt. Für die rein energetische Betrachtung spielt diese Unterscheidung keine Rolle, sofern die entsprechenden Strahlungsmengen reduziert werden. Für eine Komfortbewertung ist sie aber wichtig, da für den thermischen Komfort die Direktstrahlung anders gewichtet wird als die Diffusstrahlung und beim visuellen Komfort der umgewandelte Diffusanteil zu Blendungserscheinungen führen kann.

Der Einfluss der Sonnenschutzposition

Da je nach Art des Sonnenschutzes ein kleiner oder größerer Anteil der auftreffenden Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt wird, spielt die Position des Sonnenschutzes eine entscheidende Rolle. Hier macht sich der Glashauseffekt negativ bemerkbar, da am Sonnenschutz im Raum erzeugte Wärmestrahlung nicht nach außen transmittiert werden kann und somit die Scheibeninnenseite über Wärmeabstrahlung die Raumwände und über eine konvektive Wärmeabgabe direkt die Raumluft aufwärmt. Diese in der Heizperiode gewünschte Wirkungsweise eines innen liegenden Blend- und Sonnenschutzes führt in der Sommerperiode zu deutlich höheren Temperaturen im Innenraum (Abb. 2.3.54). Deshalb sollte ein innen liegender Sonnenschutz möglichst reflektierend ausgebildet sein, um viel Solarstrahlung im kurzwelligen Bereich zu reflektieren, von der ein bestimmter Anteil wieder nach außen gelangen kann. Dies ist besonders im Zusammenhang mit hochwärmedämmenden Verglasungen zu beachten, da deren Gesamtenergiedurchlassgrad je nach Strahlungsrichtung differiert. Somit trägt die auf der Position 3 (Abb. 2.3.11, S. 124) befindliche Low-E-Schicht zu einer erhöhten Erwärmung der Innenscheibe bei, was im Winter gewünscht wird und im Sommer unerwünscht ist. Dies führt direkt zur Wirkungsweise der Sonnenschutzverglasung, die diese Effekte nutzt (siehe »Beschichtete

Verglasungstyp	Kennwerte, ohne Sonnenschutzvorrichtung				mit außen liegender Sonnenschutzvorrichtung						mit innen liegender Sonnenschutzvorrichtung						
					Außenjalousie[b] (10°-Stellung)		Außenjalousie (45°-Stellung)		vertikale Markise		innen liegende Jalousie[b] (10°-Stellung)		innen liegende Jalousie (45°-Stellung)		Textilrollo		Folie
					weiß	dunkelgrau	weiß	dunkelgrau	weiß	grau	weiß	hellgrau	weiß	hellgrau	weiß	grau[c]	weiß[c]
	U_g[d]	$g_\perp$	τ_B	τ_{D65}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}
1fach	5,8	0,87	0,85	0,9	0,07	0,13	0,15	0,14	0,22	0,18	0,30	0,40	0,38	0,46	0,25	0,52	0,26
2fach	2,9	0,78	0,73	0,82	0,06	0,10	0,12	0,10	0,20	0,14	0,34	0,43	0,40	0,47	0,29	0,51	0,30
3fach	2,0	0,7	0,63	0,75	0,05	0,07	0,11	0,08	0,18	0,11	0,35	0,43	0,40	0,47	0,31	0,50	0,32
MSIV[e] 2fach	1,7	0,72	0,6	0,74	0,05	0,07	0,11	0,07	0,18	0,11	0,35	0,44	0,41	0,48	0,30	0,51	0,32
MSIV[e] 2fach	1,4	0,67	0,58	0,78	0,04	0,06	0,10	0,06	0,17	0,10	0,35	0,43	0,40	0,47	0,31	0,49	0,32
MSIV[e] 3fach	0,8	0,5	0,39	0,69	0,03	0,04	0,07	0,04	0,13	0,07	0,32	0,37	0,35	0,39	0,30	0,40	0,31
MSIV[e] 3fach	0,6	0,5	0,39	0,69	0,03	0,03	0,07	0,03	0,12	0,06	0,33	0,37	0,36	0,39	0,30	0,40	0,31
SSV[f] 2fach	1,3	0,48	0,44	0,59	0,02	0,02	0,06	0,02	0,11	0,05	0,32	0,37	0,35	0,39	0,30	0,39	0,31
SSV[f] 2fach	1,2	0,37	0,34	0,67	0,03	0,05	0,07	0,05	0,11	0,07	0,27	0,29	0,29	0,30	0,26	0,31	0,26
SSV[f] 2fach	1,2	0,25	0,21	0,4	0,03	0,05	0,06	0,05	0,09	0,07	0,20	0,21	0,21	0,22	0,20	0,22	0,20
Transmissionssionsgrad $\tau_{e,B}$ und Reflexionsgrad $\rho_{e,B}$ der Sonnenschutzverglasung					0 0,74	0 0,085	0 0,74	0 0,085	0,22 0,63	0,07 0,14	0 0,74	0 0,52	0 0,74	0 0,52	0,11 0,79	0,30 0,37	0,03 0,75

[a] Berechnung von g_{tot} nach DIN EN 13363-1:2003-10, Folie nach DIN EN 410
[b] Lamellensysteme sind vorzugsweise mit 45° Lamellenstellung zu bewerten. Die Werte für Lamellenstellung 10° sind nach der Gewichtung $g_{tot,0°} + 1/3\ g_{tot,45°}$ ermittelt.
[c] Bei diesen Systemen ist hinreichender Blendschutz nicht gegeben. Die Nachrüstung eines zusätzlichen Blendschutzes vermindert die Lichttransmission, beeinflusst den g_{tot}-Wert jedoch kaum.
[d] Bemessungswert nach DIN V 4108-4 (einschließlich Korrekturwert von 0,1 W/(K · m²).
[e] MSIV: Mehrscheibenisolierverglasung
[f] SSV: Sonnenschutzverglasung

2.3.57

2.3.56 Energiebilanzen in Abhängigkeit der Position des Sonnenschutzes
2.3.57 tabellarische Übersicht über g-Werte für verschiedene Glas- und Sonnenschutzkombinationen (DIN 18599-2)
2.3.58 Aufbau einer thermotropen Schicht
2.3.59 microverkapselte Flüssigkristalle
2.3.60 Beispiel einer Seminarraumverglasung
a mit Durchsicht
b ohne Durchsicht

Isoliergläser für erhöhten Wärmeschutz«, S. 125f.). Abb. 2.3.56 zeigt dazu die Energiebilanzen in Abhängigkeit der Position des Sonnenschutzes.

Bewertung verschiedener Sonnenschutzmaßnahmen

Mit der Reduzierung der Strahlungsintensität durch einen Sonnenschutz nimmt auch die Tageslichtintensität im Raum ab. Da besonders die Diffusstrahlung zur Raumbelichtung herangezogen wird, ist auf die Selektivität eines Sonnenschutzes zu achten, um das Verhältnis von Lichttransmission zum Gesamtenergiedurchlass günstig zu gestalten. Wird es bei geschlossenem Sonnenschutz im Raum zu dunkel, führt dies zum Einschalten von Kunstlicht. Neben dem dafür notwendigen Strombedarf ist der zusätzliche Wärmeeintrag durch die geringere Lichtleistung pro eingesetzter Energie in lm/W von Kunst- im Vergleich zu Tageslicht zu berücksichtigen.

Zur thermischen Bewertung wird in VDI 2078 der Verschattungskoeffizient definiert, der angibt, um welchen Anteil eine Sonnenschutzmaßnahme den Gesamtenergiedurchlass im Vergleich zu einem klaren Isolierglas mit einem g-Wert von 0,8 reduziert. Beschreibt man den Sonnenschutz allein, so wird nach DIN 4108 Teil 2 hierfür der Abminderungsfaktor F_c verwendet, der für einen fehlenden Sonnenschutz mit 1 definiert ist. Die dort angegebene Tabelle ist für Einfach- bzw. Doppelverglasung aufgestellt worden. Beschichtete Wärme- und Sonnenschutzgläser verhalten sich deutlich anders, weshalb die aufgeführten Abminderungsfaktoren mit Vorsicht anzuwenden sind! Im Einzelfall ist der Nachweis in Anlehnung an EN 133633 Teil 1 »Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen« zu führen. Die neue DIN 18599 »Energetische Bewertung von Gebäuden« reagiert in Teil 2 »Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen« darauf, indem sie g-Werte für verschiedene Glas- und Sonnenschutzkombinationen tabellarisch angibt (Abb. 2.3.57).

Für eine sichere Funktion des Sonnenschutzes ist für außen liegende Verschattungssysteme die Abhängigkeit von Witterungseinflüssen zu beachten. Werden bestimmte Windgeschwindigkeiten überschritten, müssen bewegliche Lamellen oder Markisen zum Schutz vor Zerstörung eingefahren werden. Dann fällt der Sonnenschutz für den betroffenen Raum weg und es kann leicht zu Überhitzungen kommen. Dies ist besonders in windreichen Gegenden und bei hohen Gebäuden zu beachten.

Gläser mit variablem Gesamtenergiedurchlass

Der Traum vieler Architekten und Ingenieure ist eine variable Verglasung, die sich mit ihrem Gesamtenergiedurchlass an die aktuellen Gegebenheiten bzw. Raumtemperaturen anpasst oder steuern lässt. So könnte einerseits im Winter Sonnenenergie zur Raumbeheizung genutzt werden, während in der Übergangszeit und im Sommer ein Überhitzungsschutz selbst- oder nutzergesteuert aktiviert wird. Erstrebenswert ist, diese Funktion in die Verglasungseinheit bzw. ins Glas selbst zu integrieren. Damit lassen sich der Witterungsschutz, Windanfälligkeit und Wartungsproblematik eines klassischen Sonnenschutzes ausschließen. Man unterscheidet hierbei zwei Hauptgruppen nach ihrer Wirkungsweise: farblose, rein streuende Funktionsgläser (trope Gläser) und farbige, nicht streuende Funktionsgläser (chrome Gläser). Als Steuersignal werden Temperatur (Thermo-) und Strahlung (Photo-) als witterungsbedingte Größen und anliegende Spannung (Elektro-) und Gaseinleitung in dem SZR als nutzerbedingte Größen eingesetzt (Abb. 2.3.61).

Der Aufbau einer thermotropen Schicht ist in Abb. 2.3.58 dargestellt. Aufbau, Wirkungsweise und Beispiel einer elektrotropen Verglasung zeigt Abb. 2.3.59, die einer elektrochromen Verglasung zeigt Abb. 2.3.63.

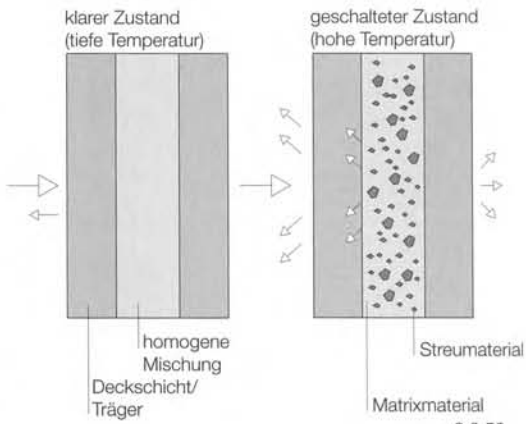
Aktuell auf dem Markt verfügbar ist lediglich ein elektrisch schaltbares Glas. Hier ist zwischen zwei Glasscheiben eine Flüssigkristallschicht einlaminiert. Wird eine elektrische Spannung angelegt, so sind die Moleküle ausgerichtet, das Glas wird transparent. Ohne angelegte Spannung orientieren sich die Moleküle ungeordnet, die Scheibe ist Licht streuend und blickundurchlässig. Dieses Glas wird hauptsächlich für Trennwände im Innenraum eingesetzt, eignet sich aber auch für Fassaden, die dann z.B. nachts im streuenden Zustand zur Projektionsflächen werden (z.B. VEAG, Berlin).

Sämtliche große Glasproduzenten unterhalten Forschungsprojekte für unterschiedliche schaltbare Gläser, so dass in naher Zukunft weitere marktreife Produkte zu erwarten sind. Des Weiteren gibt es Projektionsscreens aus Glas, bei denen eine permanent transluzente Schicht zwischen zwei Glasscheiben einlaminiert wird. Mit diesem Produkt sind Auflösungen von bis zu 1 000 000 dpi möglich.

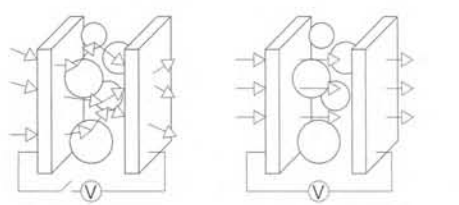
Für so genannte Medienfassaden werden LEDs (Light Emitting Diodes) in ein Verbundglas einlaminiert. In ausgeschaltetem Zustand bleibt die Verglasung sehr transparent, bei eingeschalteten LEDs können Werbebotschaften und Bilder mit großer Variabilität auf der Fassade dargestellt werden. Beispiele solcher Medienfassaden finden sich z.B. im Neubau von T-Mobile in Bonn (Peter Schmitz Architekten, Köln) und im Hauptsitz der Firma Lumino in Krefeld, die solche Fassaden selbst herstellt.

Tageslicht

Die Hauptaufgabe von Verglasungen ist es, eine Sichtverbindung nach außen zu schaffen sowie für ausreichende Helligkeit durch Tageslicht im Raum zu sorgen. Zusätzlich spielt der wärmetechnische Aspekt eine wichtige Rolle. Neben der subjektiven räumlichen Qualität einer Sichtverbindung nach außen, wie sie auch von der Arbeitsstättenrichtlinie gefordert wird, steht hinter der Tageslichtbeleuchtung eine Energiemenge, die einerseits beim Strom



2.3.58



2.3.59

a

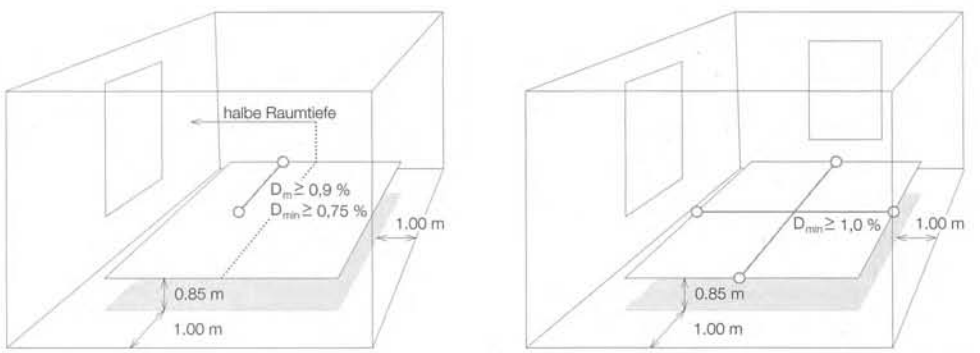
b

2.3.60

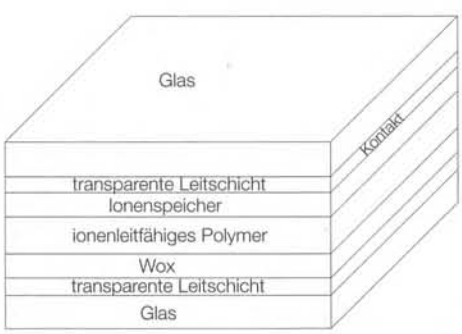
	g-Wert	Lichtdurch-lässigkeit	U-Wert des Ver-glasungssystems [W/m²K]	optischer Eindruck
thermotropes Wärmeschutzfenster	0,18–0,55	0,21–0,73	1,28	von weiß nach klar
elektrochromes Fenster	0,12–0,36	0,2–0,64	1,1	von blau nach neutral
gasochromes Wärmeschutzfenster	0,15–0,53	0,15–0,64	1,05	von blau nach neutral

Phototrope, elektrotrope (elektrooptisch) und thermochrome Gläser sind in der Entwicklung und noch nicht quantifizierbar.
Die genannten Werte für die Gläser können sich im Lauf der Zeit aufgrund von Weiterentwicklung noch stark ändern.

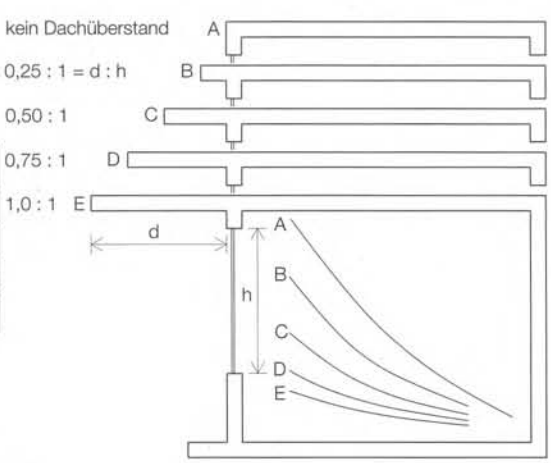
2.3.61



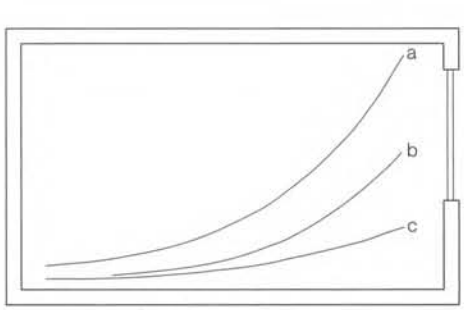
a b 2.3.62



2.3.63

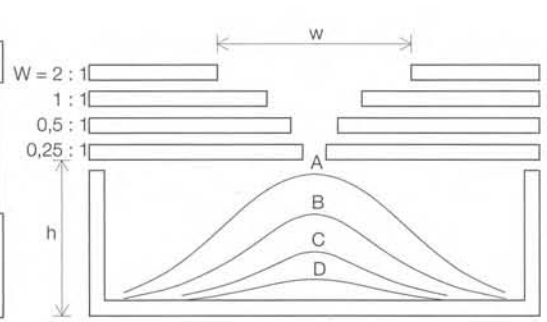


2.3.64



a Fenster zur Sonne, klarer Himmel
b jede Orientierung, bedeckter Himmel
c Fenster ohne Sonne, klarer Himmel

2.3.65



2.3.66

für Kunstlicht eingespart werden kann, andererseits aber auch nicht zu einer zusätzlichen Aufwärmung des Raumes führt. Das folgende Kapitel soll die Grundlagen der Tageslichtnutzung beleuchten. Nach einer Einführung über die Anforderungen an die Tageslichqualität, einer Beschreibung der Geometrien von Lichtöffnungen und einer Übersicht über Tageslichtkonzepte wird auf die energetischen Aspekte, die sich messtechnisch und rechnerisch bewerten lassen, und die tageslichttechnische Planung eingegangen.

Sichtverbindung nach außen

Die Sichtverbindung nach außen ist zum einen über DIN 5034 »Tageslicht in Innenräumen« Teil 1 geregelt, die der psychologischen Anforderung nach Außenbezug nachkommt. In Deutschland ist es damit nicht erlaubt, permanente Arbeitsplätze ohne einen Außenbezug zu planen, wohingegen dies z.B. in den Großraumbüros der USA üblich ist.
Nach DIN 5034 soll die Oberkante der Fenster mindestens 2,20 m und die Unterkante höchstens 0,90 m über dem Fußboden liegen. Die Breite des durchsichtigen Teils des Fensters beziehungsweise die Summe der Breiten der Fenster sollte mindestens 55 % der Raumbreite ausmachen.
Des Weiteren soll die Fensterfläche mindestens 30 % des Produkts aus Raumbreite und Raumhöhe, also der Fläche der Außenwand betragen.
Als zweites Regularium bezüglich der Sichtverbindung nach außen gilt die Arbeitsstättenrichtlinie, die angibt, dass die Unterkante von Fenstern zwischen 0,85 und 1,25 m über dem Raumfußboden liegen muss – je nachdem, ob der Raum vorwiegend sitzend oder stehend genutzt wird. Die Höhe der Fenster soll mindestens 1,25 m und die Breite mindestens 1 m betragen. Die Fensterfläche ist bei Raumtiefen bis zu 5 m mit mindestens 1,25 m² und darüber mit mindestens 1,50 m² zu wählen, wobei sie bei Räumen bis 600 m² Grundfläche ca. ein Zehntel der Grundfläche betragen sollte.

Ausreichende Helligkeit

Zur Beurteilung der durch Tageslicht erzeugten Helligkeit im Raum wurde der Begriff des Tageslichtquotienten eingeführt. Dieser gibt das Verhältnis von Beleuchtungsstärke im Raum zur gleichzeitig im Freien zur Verfügung stehenden Beleuchtungsstärke auf die Horizontale an. Die Definition des Tageslichtquotienten gilt nur für diffuses Tageslicht, also für bedeckten Himmel, wobei die Beleuchtungsstärke für typische bedeckte Zustände des Himmels zwischen 5000 und 20000 lux liegt. So führt z.B. eine Außenbeleuchtungsstärke von 10000 lux und ein Tageslichtquotient von 5 % zu einer Beleuchtungsstärke von 500 lux auf der Arbeitsfläche – ein Wert, der in Deutschland als Basis für Kunstlichtplanungen dient.
Nach DIN 5034 wird für einseitig beleuchtete Räume in halber Raumtiefe in 1 m Abstand von den Seitenwänden 0,85 m über dem Fußboden

ein mittlerer Tageslichtquotient von 0,9 % gefordert. Der ungünstigere der beiden so definierten Punkte auf der Arbeitsfläche sollte einen Tageslichtquotienten von mindestens 0,75 % aufweisen.
Bei zweiseitig tagesbelichteten Räumen steigt der Wert von 0,75 % auf 1 % (Abb. 2.3.62).
Bei der tageslichttechnischen Planung muss jedoch beachtet werden, dass die von DIN 5034 vorgegebenen Werte absolute Minimalwerte sind. So führt z.B. ein Tageslichtquotient von 1 % bei 10000 lux Außenbeleuchtungsstärke zu lediglich 100 lux Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz, was gerade mal ein Fünftel der über Kunstlicht bereitzustellenden Beleuchtungsstärke darstellt.
Der Tatsache, dass der Mensch Tageslicht dem Kunstlicht vorzieht, wird in DIN 5034 Rechnung getragen, indem die Nennbeleuchtungsstärke durch Tageslicht im Vergleich zu der durch Kunstlicht auf drei Fünftel verringert ist. So reicht z.B. für einen Arbeitsplatz, der eine Beleuchtungsstärke durch Kunstlicht von 500 lux aufweisen soll, eine Tageslichtbeleuchtung von 300 lux aus.
Studien haben jedoch ergeben, dass Menschen erst ab einer Beleuchtungsstärke von ca. 1000 lux das Gefühl haben, es sei Tag. Bei geringeren Beleuchtungsstärken bleibt der Körper im Nachtmodus. Andere Untersuchungen zeigen höhere Beleuchtungsstärkeniveaus von bis zu 2500 lux, ab welchen Licht eine biologische Wirkung auf den Menschen zeigt.

Tageslichtkonzepte, -komponenten und -systeme

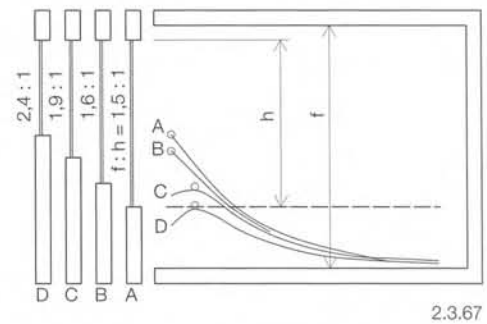
Konzepte der Gebäudegeometrie
Konventionelle Tageslichtnutzung geschieht über Öffnungen in der Gebäudehülle, d.h. in Fassade oder Dach (Seiten- oder Oberlicht). In den letzten Jahren kamen Atrien, d.h. überglaste Lichthöfe immer mehr in Mode, insbesondere bei Büro- und Geschäftsgebäuden. Hier konzentriert sich das Hauptinteresse auf die verfügbare vertikale Beleuchtungsstärke in verschiedenen Höhen des Innenhofs. Ohne zusätzliche Komponenten sind die Beleuchtungseffekte in diesen konventionellen Fällen bekannt und verhältnismäßig einfach vorherzusagen (siehe »Vom Glashaus zum Atrium«, S. 150).

Seitenlicht
Die am meisten verbreitete architektonische Tageslichtkomponente ist das Fenster. Die qualitative Tageslichtverteilung in einem seitenbelichteten Raum muss für den bedeckten und den klaren Himmel (Fenster zur Sonne und entgegengesetzt) wiedergegeben werden (Abb. 2.3.65). Hierbei sind als Richtwerte Beleuchtungsstärken im Freien von 10000 lux für bedeckten und 80000 lux für klaren Himmel mit Sonne zu nennen. Die Abhängigkeit von der Fenstergeometrie, also der Brüstungshöhe, zeigt Abb. 2.3.67. Es ist erkennbar, dass ab einer bestimmten Brüstungshöhe eine weitere Reduzierung der Brüstung die Tageslichtnutzung nicht weiter beeinflusst.

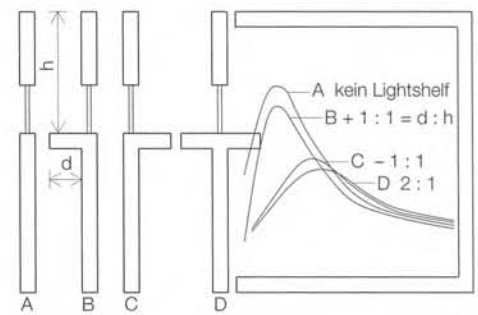
Wichtig ist vor allem der Umstand, dass in Fensternähe die Beleuchtungsstärke sehr hoch, häufig zu hoch ist und damit Blendungs- und Überhitzungsprobleme auftreten. Nur wenige Meter tiefer im Raum ist demgegenüber das Beleuchtungsstärkeniveau oft schon zu niedrig. Typische Werte für den Tageslichtquotienten – das Verhältnis von Beleuchtungsstärke innen zur gleichzeitigen horizontalen unverbauten Beleuchtungsstärke außen unter bedecktem Himmel – liegen in 3 m Entfernung von einem 1 m hohen Fenster im Bereich von 1 % und darunter. Für jeden handelsüblichen PC stehen heute Berechnungsprogramme zur Verfügung, mit denen leicht die genauen Zahlen für einen konkreten Fall bestimmt werden können. Da sich Tageslicht maßstabsunabhängig verhält, können an Modellen Tageslichtstudien durchgeführt werden (siehe »Tageslichttechnische Planung«, S. 145).
Ein verbreiteter Effekt der ungleichmäßigen Beleuchtung in seitenbelichteten Räumen ist, dass der Sonnenschutz aktiviert wird, um die hohen Leuchtdichten in Fensternähe zu reduzieren. Durch die weitere Verschlechterung der ohnehin schon ungünstigen Lichtverhältnisse in der Tiefe des Raums wird trotz strahlendem Sonnenschein Kunstlicht eingeschaltet. Deshalb wurden neue Licht lenkende Komponenten entwickelt, die für eine gleichmäßigere Raumausleuchtung sorgen sollen. Einige werden hier beschrieben.
Während Dachüberstände das gesamte Fenster verschatten und besonders vor hoch stehender Sonne und ihrer Direktstrahlung, also der Blendung, schützen (Abb. 2.3.64), sorgen Lightshelves unterhalb des Oberlichts für einen gleichmäßigen Helligkeitsverlauf in der Raumtiefe (Abb. 2.3.68).

Oberlicht
Sobald es Tageslichtöffnungen in der Decke gibt, verbessern sich die Beleuchtungsverhältnisse und Tageslichtquotienten beträchtlich (Abb. 2.3.66).
Die Effektivität eines Oberlichts als natürliche Raumbeleuchtung ist deutlich höher als die eines Seitenlichts. Bei den Öffnungen handelt es sich entweder um Oberlichter oder um Shed-Dächer, deren vertikale (Nord-)Seite verglast ist. Blendung ist meistens kein Problem. Trotzdem ist es ratsam, direkte Einstrahlung abzuschirmen oder zu reflektieren, um eine gleichmäßige Ausleuchtung und angenehme Raumtemperaturen sicherzustellen.

Atrien
Einen typischen Atriumsquerschnitt und die zugehörigen Beleuchtungsstärkeverteilungen auf den verschiedenen angrenzenden Etagen zeigt Abb. 2.3.69. Da die meisten Atrien eine individuelle Architektur aufweisen, wird die Verwendung computergestützter Planungsinstrumente zur Bestimmung der Lichtverteilung empfohlen. Abb. 2.3.109 (S. 151) zeigt die Tageslichtqualität für ein lineares Atrium je nach Dimension und Konstruktion.

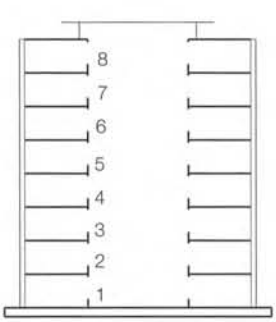


2.3.67

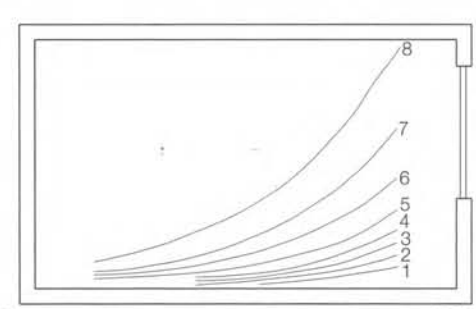


2.3.68

2.3.61 Eigenschaften von schaltbaren Funktionsgläsern
2.3.62 Anforderungen an den Tageslichteintrag
a einseitig tagesbelichteter Raum
b zweiseitig tagesbelichteter Raum
2.3.63 Aufbau einer elektrochromen Verglasung
2.3.64 Tageslichtangebot in einem seitenbelichteten Raum für unterschiedliche Dachüberstände
2.3.65 Tageslichtangebot in einem seitenbelichteten Raum
2.3.66 Tageslichtangebot in einem Raum mit verschiedenen Oberlichtbreiten bei bedecktem Himmel
2.3.67 Tageslichtangebot in einem seitenbelichteten Raum für verschiedene Brüstungshöhen bei bedecktem Himmel
2.3.68 Tageslichtangebot in einem seitenbelichteten Raum mit verschiedenen Lightshelf-Geometrien
2.3.69 mittleres Tageslichtangebot im ersten bis achten Stock eines Gebäudes mit Atrium
a Querschnitt
b Tageslichtangebot pro Geschoss

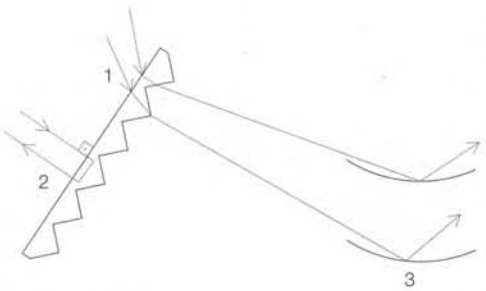


a



b

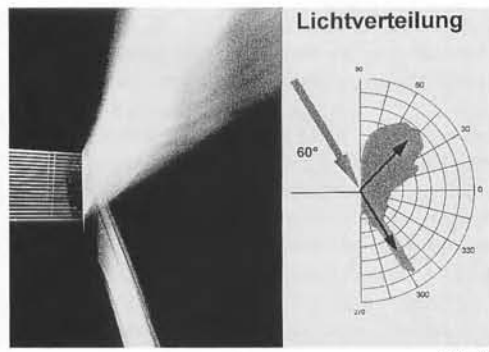
2.3.69



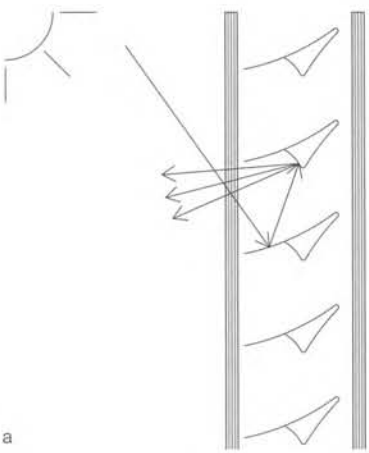
Transmission (1) des diffusen Tageslichts und selektive Reflexion (2) des direkten Sonnenlichts durch Prismenlamellen

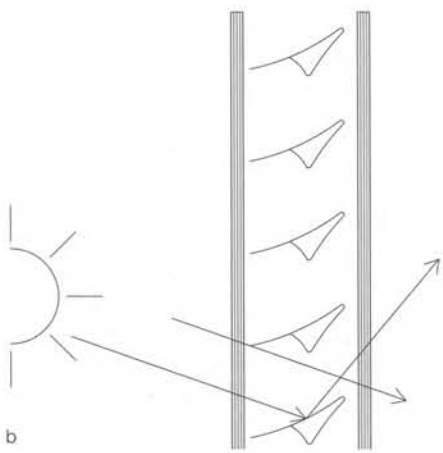
Lichtlenkung des (3) diffusen Lichts an die Raumdecke und weiter in die Raumtiefe durch parabolisch geformte Umlenklamellen

2.3.70

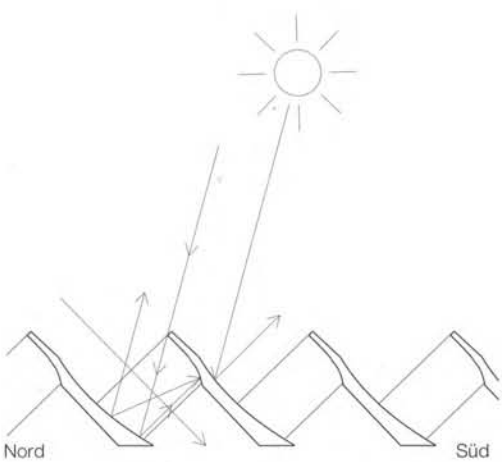


2.3.71

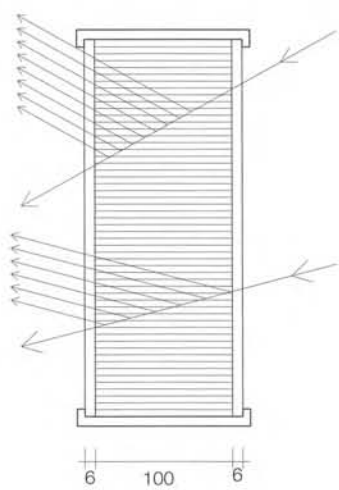




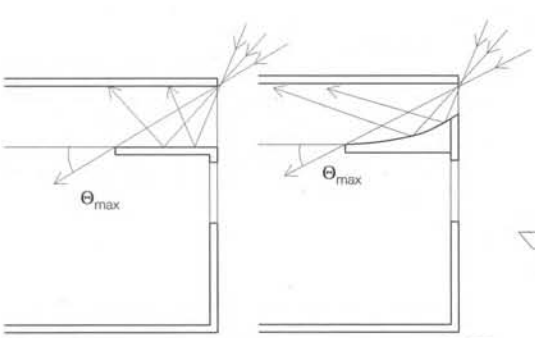
2.3.72



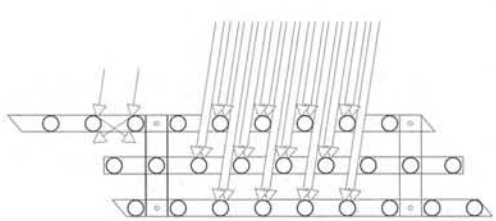
2.3.73



2.3.74



2.3.75



2.3.76

Passive Lichtlenkung

Selbst bei schlechten Witterungsbedingungen ist ausreichend Tageslicht an der Gebäudeaußenoberfläche vorhanden, um die Innenräume zu beleuchten. Angenommen es stehen 10000 lux horizontale Beleuchtungsstärke zur Verfügung (entsprechend knapp 100 W/m² Einstrahlung), würde eine Öffnungsfläche von 7–10 % der Grundfläche reichen, um 500 lux im Innern zu gewährleisten. So ist meistens mit einer Beleuchtung über Oberlichter die Beleuchtungsanforderung erfüllt. Weit häufiger gibt es jedoch seitenbelichtete Räume. Komponenten, die Licht von der Gebäudehülle tiefer in die Räume hineinlenken, sind somit von großem Interesse. Eine Vielzahl unterschiedlicher Konstruktionen ist erhältlich, und es werden ständig neue Ideen entwickelt und umgesetzt. Lamellen dienen vornehmlich als Sonnenschutz und befinden sich in oder vor vertikalen Fenstern. Sie können auch zur Lichtumlenkung genutzt werden, wenn die Oberflächen reflektierend ausgeführt sind und der Anstellwinkel der Lamellen richtig eingestellt ist. Um Blendung zu vermeiden, sollten Licht umlenkende Lamellen allerdings nur im Überkopfbereich eingesetzt werden. Die Umlenkung funktioniert besser, wenn die Lamellen mit ihrer aus Stabilitätsgründen immer notwendigen Wölbung nach unten, also konkav eingebaut werden.

Eine Weiterentwicklung stellen die in einen Glas-/Rahmenverbund integrierten, speziell profilierten, verspiegelten Lamellen dar. Sie werden sowohl für die Fassaden- als auch für die Dachintegration produziert. Ihre Profile sind so ausgebildet, dass das Licht der tief stehenden Wintersonne weitgehend durchgelassen und zur Decke umgelenkt wird, während im Sommer das Licht zum großen Teil reflektiert wird (Abb. 2.3.72). Bei Integration in Schrägdächer wird jegliche Direktstrahlung reflektiert. Fest stehende horizontale Lamellen funktionieren optimal für Südfassaden, der Einsatz in Ost- oder Westfassaden muss im Einzelfall geprüft werden. Es können auch thermische Probleme auftreten, da zwischen den Scheiben Mehrfachreflexionen und dadurch bedingt Absorption und Erhitzung auftreten, die zu hohen Scheibentemperaturen führen.

Hier muss die Positionierung der Low-E-Beschichtung an das Verschattungssystem angepasst werden. Das äußere Glas sollte so transparent wie möglich bleiben, damit die von den Lamellen reflektierende Strahlung möglichst ungehindert wieder aus dem Gebäude herausreflektiert werden kann, d.h. die Wärme- oder Sonnenschutzbeschichtung sollte auf der inneren Glasscheibe auf Position 3 angebracht werden. Eine Verwendung von eisenarmem Weißglas für die äußere Glasscheibe erhöht den Anteil der zurück nach außen reflektierten Solarstrahlung weiter.

Prismensysteme reflektieren in einstellbaren Winkelbereichen das direkte Licht nach außen und lenken diffuses Zenitlicht in eine Vorzugsrichtung um, was Abb. 2.3.70 veranschaulicht. Ein Durchblick ist nicht möglich.

Laserschnitt- und Brechungspaneele sind Plexiglasscheiben mit dünnen parallelen Einschnitten oder parallelen Lufteinschlüssen. Sie lenken auftreffendes Licht durch Direktreflexion um, ohne dabei den Sichtkontakt nach außen zu behindern. Ein durch flexible Fertigung ermöglichtes Prinzip der Lichtumlenkung durch Platten mit variablem Schnittwinkel und -abstand zeigt Abb. 2.3.71.

Eine weitere Möglichkeit zur Lichtumlenkung bieten holographische Schichten, die in den Oberlichtbereich des Fensters eingebracht werden und das einfallende Tageslicht in Abhängigkeit seines Einfallwinkels umlenken und an die Decke und damit in die Raumtiefe leiten (Abb. 2.3.79).

Die bisher vorgestellten linearen Systeme haben alle den Nachteil, dass sie lediglich dem Höhenwinkel der Sonne angepasst sind, nicht jedoch dem Azimut, also der Himmelsrichtung. Zweidimensionale Techniken berücksichtigen dagegen auch dies. Dazu gehören Spiegelraster mit optimierten Rasterprofilen, die für die Dachintegration entwickelt wurden, wo sie die Reflexion der Direktstrahlung zu jeder Tages- und Jahreszeit sicherstellen können (Abb. 2.3.73). Ein bekanntes Beispiel ist das Ausstellungs- und Kongressgebäude in Linz von Herzog + Partner.

Tageslichtelemente aus transluzenter Wärmedämmung (TWD) verbinden sehr gute optische Eigenschaften mit niedrigen U-Werten. Die hemisphärische Transmission einer typischen Wabenstruktur (Abb. 2.3.74) erreicht etwa 75 % der Transmission der Verglasung und ist damit für Beleuchtungszwecke mehr als ausreichend. Hinzu kommt die umlenkende Wirkung der Strukturen. Bei Betrachtung eines vertikal angeordneten Doppelfensters (linke Hälfte: Isolierglas, rechte Hälfte: TWD-Wabenstruktur) liegt die Leuchtdichte des TWD-Elements etwa 35 % über der der Isolierverglasung. Zwei Systeme sind zur Zeit am Markt erhältlich: Kapillar- oder Wabenstrukturen aus PC oder PMMA, die von zwei Scheiben staubdicht eingeschlossen werden (Abb. 2.3.74).

Alle in der Struktur auftretenden Reflexionen sind vorwärts gerichtet und weisen damit keine Verluste auf. Dies erklärt die hohen Transmissionswerte. Zu beachten ist, dass diese Flächen bei direkter Bestrahlung durch die Lichtumlenkung hell leuchten und deshalb ihre Position unter Berücksichtigung von Blendungsgefahr zu wählen ist.

In vielen Klimaregionen, unter anderem auch in Mitteleuropa, ist die Zahl der Sonnenscheinstunden relativ niedrig. Daher wird nach Methoden gesucht, diffuses Licht in eine Vorzugsrichtung umzulenken, damit es wie direktes Licht behandelt werden kann. Das funktioniert aber nur auf Kosten der Gesamtbeleuchtungsstärke. Dieser Nachteil kann jedoch in Kauf genommen werden, da im Allgemeinen ausreichend Tageslicht vorhanden ist.

Das in den meisten Fällen zugrunde liegende Prinzip ist die Umkehrung des Strahlengangs in der nicht abbildenden konzentrierenden Optik. Die Schnittzeichnung in Abb. 2.3.75 erläutert, wie dieses Prinzip auf herkömmliche so genannte Lightshelves übertragen ist. Damit lassen sich größere Raumtiefen aufhellen und im Fensterbereich überhöhte Helligkeiten reduzieren.

Aktive Lichtlenkung

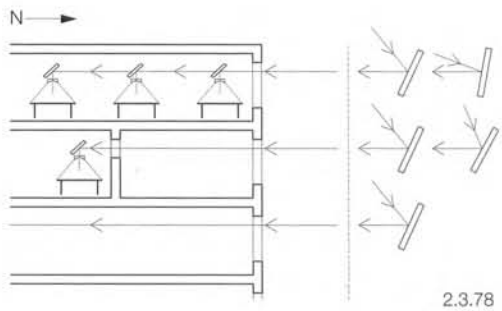
Bei einachsig nachgeführten Systemen handelt es sich meist um vor der Gebäudehülle (Fassade, Dach) angebrachte Großlamellen oder Lamellengruppen. Sie sind um eine horizontale Achse drehbar und werden computergesteuert dem Höhenwinkel der Sonne so nachgeführt, dass direktes, blendendes Licht abgeschirmt oder umgelenkt wird. Diffuses Licht kann weitgehend hindurchtreten. Ebenso wird darauf geachtet, dass ausreichender Sichtkontakt gewährleistet bleibt. Die technische Ausführung der Lamellen kann sehr unterschiedlich sein: von einfachen Glasscheiben über Prismen und TWD-Elementen bis zu hochreflektierenden metallischen Röhrchenstrukturen. Im Oberlichtbereich werden häufig opake bzw. diffus reflektierende Lamellen eingesetzt (Abb. 2.3.77).

Eine interessante Neuentwicklung kann am Abfertigungsgebäude des Flughafens München (Architekten: Busso von Busse) besichtigt werden: ein Rohrgitter-Sonnenschutz aus drei gegeneinander verschiebbaren Ebenen, bestehend aus jeweils parallelen, diffus weiß beschichteten Aluminiumrohren. Abb. 2.3.76 zeigt einen schematischen Schnitt eines solchen Rohrgitter-Sonnenschutzes. Die drei Ebenen werden vom Computer in ihrer Lage zueinander immer so eingestellt, dass kein direktes Licht in die Abfertigungshallen dringt. Vielmehr wird das direkte Licht an den Oberflächen gestreut und diffus ins Gebäudeinnere geleitet.

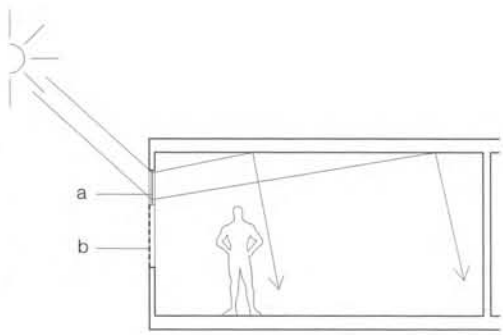
Heliostatensysteme bestehen aus zweiachsig nachgeführten und im Allgemeinen zusätzlichen fest stehenden Spiegeln. Direktes Licht wird im Tagesgang vom drehenden Heliostaten in eine bestimmte konstante Richtung reflektiert. Wie die Skizze in Abb. 2.3.78 zeigt, kann das Licht ungehindert unterhalb und parallel zur Geschossdecke geführt werden. Es wird über die zu beleuchtenden Arbeitsflächen umgelenkt und gleichzeitig aufgeweitet. Heliostaten sind auch deshalb interessant, weil durch sie Sonnenlicht für Beleuchtungszwecke konzentriert und umgelekt werden kann. Eine Heliostatenfläche von der Größe einer Postkarte ist ausreichend, um einen großen Schreibtisch vollflächig mit 500 lux auszuleuchten. Darüber hinaus erlaubt der nahezu parallele Charakter des Sonnenlichtes einen theoretisch unbegrenzten Weg des reflektierten Strahls in die Tiefe des Gebäudes. Allerdings setzt hier im Allgemeinen die Nachführgenauigkeit Grenzen. Abb. 2.3.81 zeigt eine Heliostatengruppe auf dem Dach eines Ausstellungsraums in München.

Als weiteres Beispiel für die Tageslichtversorgung innen liegender Gebäudebereiche, die nicht über Oberlichter oder Seitenlichter ver-

2.3.77

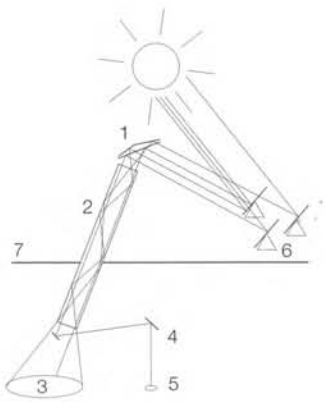


2.3.78



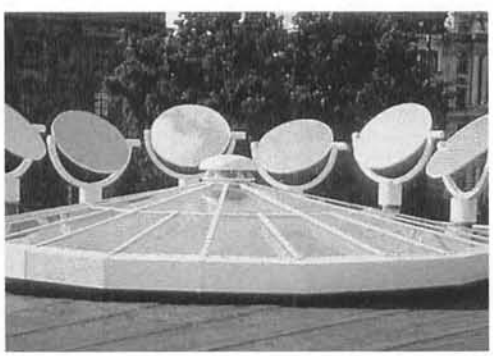
2.3.79

2.3.70 Prisma mit Sonnenschutzfunktion und Zenitlichtumlenkung
2.3.71 Schemadarstellung einer anwendungs-optimierten Verglasung mit Brechungspaneel und Lufteinschlüssen
2.3.72 statischer Sonnenschutz
a im Sommer: Sonnenhöhe 60°
b im Winter: Sonnenhöhe 15°
2.3.73 Schnitt durch ein Lichtraster
2.3.74 schematischer Querschnitt durch ein TWD-Tageslichtelement aus Waben- oder Kapillarstruktur
2.3.75 Lightshelf konventioneller und anidolischer Bauart
2.3.76 schematischer Schnitt eines Rohrgitter-Sonnenschutzes
2.3.77 einachsig nachgeführte Lamellen vor einem geneigten Glasdach als Sonnenschutz und Diffusor
2.3.78 Prinzip der Arbeitsplatzbeleuchtung mit Heliostatensystem
2.3.79 Lichtlenkung durch holografische Schichten im Oberlichtbereich
a holografische Schicht im Oberlicht zur Tageslichtumlenkung
b Fenster zur Sichtverbindung mit geeigneter Verschattung

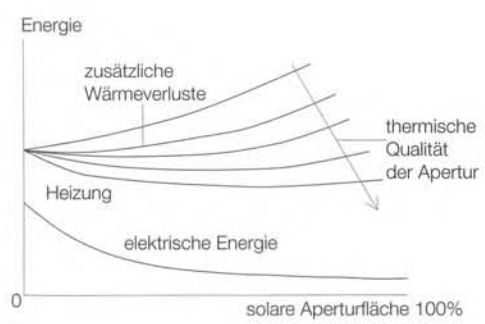


1 Focus-Spiegel
2 Lightpipe
3 Lichtkegel
4 Umlenkspiegel
5 Lichtpunkte
6 Heliostaten
7 Klimamembran

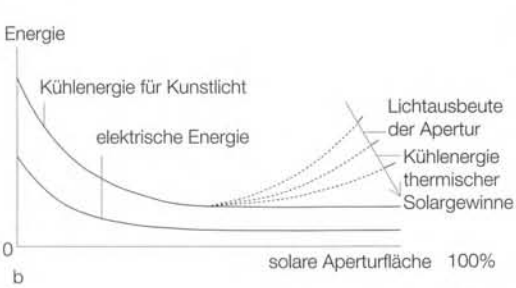
2.3.80



2.3.81



a



b

2.3.82

sorgt werden können, sind die Tageslicht führenden Rohre, so genannte Lightpipes, zu nennen. Über die mit hochreflektierendem Material ausgekleideten Lightpipes wird Tageslicht über Heliostaten eingespiegelt und dem jeweiligen Nutzungsort diffus oder direkt zugeführt (Abb. 2.3.80).

Tageslichtnutzung und Gebäudeenergiebedarf
In den meisten Büro- und Geschäftsgebäuden macht die Beleuchtungsenergie einen wesentlichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch aus. Darüber hinaus bestehen enge Wechselwirkungen zwischen Beleuchtungsenergie einerseits und thermischem Energiebedarf für Heizung und Kühlung andererseits.
Abb. 2.3.82 verdeutlicht die Abhängigkeit des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes von der Fensterfläche. Ausgehend von einer vollständig opaken Hülle sinkt zunächst der elektrische Energiebedarf mit steigender Fensterfläche, da weniger Elektrizität für die Beleuchtung erforderlich ist. Im Winter (Heizfall) bedeutet dies durch den Wegfall der Leuchtenabwärme allerdings eine Steigerung des Heizbedarfs (Abb. 2.3.82 a). Da durch die größeren Fenster im Allgemeinen auch der mittlere U-Wert der Gebäudehülle ansteigt, entstehen zusätzliche Wärmeverluste.
Entscheidend dafür, ob im Heizfall durch Tageslichtnutzung Energie eingespart werden kann oder nicht, ist die thermische Qualität der Fensterflächen. Im Sommer (Kühlfall) stellt sich die Situation völlig anders dar (Abb. 2.3.82 b): Mit dem Rückgang an elektrischem Energiebedarf für die Beleuchtung nimmt auch der Kühlbedarf ab. Der Gesamtenergiebedarf sinkt also drastisch bis zu dem Punkt, ab dem eine weitere Vergrößerung der Fensterflächen keine beleuchtungstechnische Relevanz mehr hat. Von da an ist jedes zusätzliche Watt an Einstrahlung zusätzliche Kühllast. Im Sommer ist deshalb eine hohe Lichtausbeute der Fensterfläche vorteilhaft. Es wird aber auch deutlich, dass Tageslichtnutzung Auswirkungen auf die Energiebilanz mit gegenläufigen Tendenzen nach sich ziehen kann. In extremen klimatischen Regionen dominiert entweder der Heiz- oder der Kühlfall und es bestehen keine Schwierigkeiten, ein Tageslichtsystem richtig auszulegen. In Mitteleuropa hingegen wird man häufig eine Kombination aus Heiz- und Kühlfall antreffen. Eine Optimierung ist schwierig, da zusätzlich Blend- und Sonnenschutz mit der Tageslichtnutzung abzustimmen sind.

Einflüsse der Tageslichtnutzung auf Energie und Komfort im Gebäude
Die wirkungsvollste Raumbeleuchtung ist die direkte Nutzung des Tageslichts, welches mit 140–160 lm/W die bessere Lichtausbeute besitzt als Kunstlicht mit 20–100 lm/W.

Blendungsbegrenzung und visueller Komfort
Blendung ist in Innenräumen mit hohen Leuchtdichten in einem sonst eher dunklen Umfeld ein verbreitetes Phänomen. Verursacht wird sie gewöhnlich durch Direktblendung von Lichtquellen, die zu hell, ungenügend abgeschirmt oder zu groß sind. Es gibt vielfältige Untersuchungen zur Beschreibung von Blendung, die durch Leuchten verursacht wird.
Der Grad an direkter Blendung G kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$G = \frac{L_s^m \times \omega^n}{L_b \times P^m}$$

L_s Leuchtdichte der Blendquelle
L_b Leuchtdichte des Hintergrunds
ω Raumwinkel, den die Blendquelle vom Betrachter aus gesehen einnimmt
P so genannter Positionsindex enthält im Wesentlichen den vorwärts gerichteten und seitlichen Abstand der Blendquelle vom Betrachter

Die Exponenten m und n wurden eingesetzt aufgrund unterschiedlicher Methoden. Sie variieren je nach Autor/Anwender zwischen 1,6 und 2,3 für m bzw. 0,5 und 0,8 für n. Je nach Methode wird G dann in einen Blendungsindex (»glare index«), eine »visual comfort probability VCP« oder ein System aus Leuchtdichte-Grenzkurven übersetzt. Letzteres dient hauptsächlich dem Lichtplaner zur korrekten, blendfreien Installation von Leuchten. Die Werte für den Blendungsindex G variieren zwischen 0 für keine, 2 für eine merkbare, 4 für eine störende und 6 für eine unerträgliche Blendung.
Schließlich dienen Fenster auch noch anderen Zwecken als der Bereitstellung von Licht; ein angenehmer Ausblick kann unter Umständen Blendung teilweise psychologisch kompensieren. Die Schwelle eintretender Blendung kann als obere Grenze tolerierbarer Leuchtdichtewerte interpretiert werden. Die untere Grenze wird durch vorgeschriebene Mindestbeleuchtungsstärken bestimmt, die in einschlägigen Normen zur Beleuchtungsplanung festgelegt sind.
Die Zukunft gehört der wahrnehmungsorientierten Lichtplanung. Einer ihrer Pioniere, Richard Kelly, definiert drei Lichtformen: Licht zum Sehen, Licht zum Hinsehen und Licht zum Ansehen. Unter Licht zum Sehen versteht Kelly ganz einfach die quantitative Beleuchtungsanforderung. Durch eine geeignete Helligkeitsverteilung wird es möglich, die Informationsfülle einer Umgebung zu ordnen. Dies ist mit Licht zum Hinsehen gemeint. Die dritte Form, das Licht zum Ansehen, ergibt sich aus der Erkenntnis, dass Licht auch selbst Information und Gestaltungselement darstellt. Licht zum Ansehen verleiht Räumen Leben und Stimmung. William Lam unterscheidet zwischen »activity needs« und »biological needs«. Erstere decken sich weitgehend mit den Kriterien der quantitativen Beleuchtung. Die biologischen Anforderungen, die den Grad an visuellem Komfort bestimmen, umfassen die Forderung nach Orientierung in Raum, Zeit und Umgebung, die Forderung nach Entspannung und die Balance zwischen dem Kommunika-

tionsbedürfnis des Menschen und seinem Anspruch auf einen definierten Privatbereich. Beleuchtung kann viel zur Erfüllung dieser Forderungen beitragen.

Tageslichttechnische Planung
Methoden für Modelluntersuchungen unter freiem und künstlichem Himmel beruhen auf der Maßstabsunabhängigkeit von Tageslicht. Der Bau von Gebäudemodellen ist ein weit verbreiteter Weg, architektonische Konzepte vorzustellen und zu untersuchen. Sie können im Freien oder unter einem so genannten künstlichen Himmel platziert werden. Künstliche Himmel sind große halbkugelförmige Einrichtungen mit computergesteuerten Lampen, die an der Innenoberfläche installiert sind und mit denen verschiedene Himmelsleuchtdichte-Verteilungen nachgestellt werden können. Verschiedene Konstruktionsprinzipien sind im Einsatz. Mit Kameras und Endoskopen kann man sich einen Eindruck der Beleuchtungssituation im Innern verschaffen und diese auch messen. Tageslichtelemente aus neuen Materialien müssen skaliert werden, um ein realistisches Abbild ihrer Wirkung im Raum zu erzeugen. Nur klare oder ideal diffus streuende Materialien sind davon ausgenommen. Daher ist der Wert von Modelluntersuchungen unter freiem oder künstlichem Himmel begrenzt, insbesondere beim Einsatz innovativer Tageslichttechniken. Abb. 2.3.84 und 2.3.85 zeigen eine Tageslichtsimulation im Lichtlabor.

Tageslichtangebot
Die Lichtausbeute des Tageslichts kann auch als Qualitätsmerkmal interpretiert werden: Je höher die Lichtausbeute einer Lichtquelle ist, desto geringer ist der Energiebedarf zur Erzeugung eines vorgegebenen Lichtstroms.
Die Lichtausbeute η wird wie folgt bestimmt:

$$\eta = \frac{M_v}{M_e}$$

M_v von der Lichtquelle abgegebener Lichtstrom
M_e Leitungsaufnahme der Lichtquelle

Für Tageslicht ist die spezifische spektrale Abstrahlung der Sonne für M_v über das sichtbare und für M_e über das gesamte Solarspektrum zu integrieren.

Abb. 2.3.83 enthält die berechneten Werte von η für das AM 1,5-Spektrum, dessen sichtbaren Anteil und extraterrestrische Verhältnisse, wobei hier ein Schwarzkörperstrahler von 5777 K angenommen wurde.
Die Lichtausbeute von Tageslicht ist vergleichbar mit der von Hochdruck-Natriumdampflampen und sehr viel höher als die von Leuchtstoffröhren oder Glühlampen. Betrachtet man die Gesamtheit der auf die Erde auftreffenden Solarstrahlung, so ergibt sich eine Lichtausbeute für Tageslicht von 107 lm/W. Wenn es gelingt, alle nicht sichtbaren Anteile aus dem Spektrum der Sonne herauszufiltern, kann die Lichtausbeute bis auf 204 lm/W ansteigen. Ein Wert, der von technischen Lampen bisher nicht erreicht wird. Dass die Lichtausbeute außerhalb der Erdatmosphäre geringer ist als in Meereshöhe, hängt mit den Absorptionsbanden der Atmosphäre zusammen, die hauptsächlich im infraroten Bereich liegen.

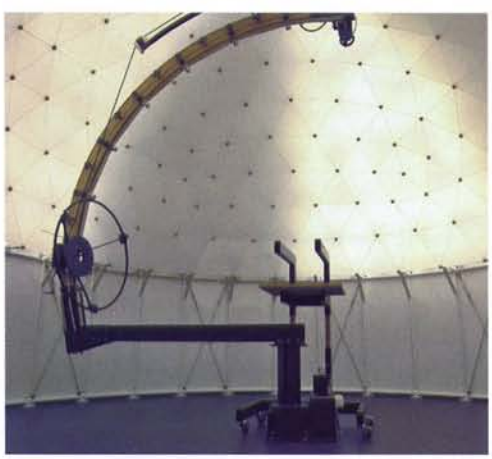
Berechnungsmethoden von Glaskennwerten sowie der Auswirkungen von Glas auf Raumklima und Energiebedarf
Glaskennwerte
Von den Glasherstellern werden die typischen Glaskennwerte in den Vertriebsunterlagen veröffentlicht, wobei diese normalerweise nach DIN EN 673 mit einer Temperaturdifferenz von 15 K und einem Sollfüllgrad des gasgefüllten Scheibenzwischenraumes (SZR) von 90 % ermittelt werden. Der Gesamtenergiedurchlass wird nach DIN EN 410 ermittelt. Die Lichtdurchlässigkeit sowie die Angaben für Reflexion und Absorption gelten für den senkrechten Strahlungseinfall. Je nach Scheibengröße und Rahmenanteil sind die Glaskennwerte für das Fenster zu korrigieren. Für hochwertige Wärmeschutzgläser verschlechtern sich meist die energierelevanten Werte.

Berechnungsmethoden, Computerprogramme
Mit der Einführung von Glasbeschichtungen zur U- und g-Wert-Veränderung sowie der Nutzung verschiedener Füllgase in der Isolierverglasung wurden die Kombinations- und damit auch Optimierungsmöglichkeiten so vielfältig, dass es nahelag, theoretische Berechnungsmethoden zur Bestimmung der energietechnischen Kennwerte von Glaspaketen beliebiger Glasart und Gasfüllung zu entwickeln und zu nutzen. Heute stehen mit den beiden Computerprogrammen Window 6.0 und optics 5 des Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) in Kalifornien (http://windows.lbl.gov/software/window/window.html bzw. http://windows.lbl.gov/materials/optics5/default.htm) Planungswerkzeuge zur Verfügung, die am amerikanischen Markt sogar als Nachweismethoden für neue Gläser genutzt werden können, ohne experimentelle Nachweise zu führen. Dies verweist auf die Zuverlässigkeit der Berechnungsmethoden gegenüber der Problematik der Messungenauigkeiten. Die Berechnungsmethoden reichen heute bis in den spektralen Bereich, und viele Glashersteller stellen die Kennwerte bis hin zu spektralen Angaben im Internet zur Verfügung. Des Weiteren haben viele Hersteller mittlerweile eigene Programme entwickelt, die eine Auslegung verschiedener Glas-, Beschichtungs- und Füllgaskombinationen erlauben. Im Rahmen dieser Programme veröffentlichen die Glashersteller auch die physikalischen Werte ihrer Schichten.
Der folgende Abschnitt zeigt Ausschnitte aus der Kennwertberechnung für ein Beispielfenster mit 1 × 1 m Abmessung und einer Wärmeschutzverglasung mit Argonfüllung. Der Rahmen besteht hier nur aus dem Randverbund und bewirkt eine Verschlechterung des U-Wer-

	AM 1,5	AM 1,5 sichtbar	extraterrestrisch
η	111 lm/W	204 lm/W	98 lm/W

2.3.83

2.3.80 Prinzip und Anwendung Lightpipe
2.3.81 Heliostaten auf dem Dach des BMW-Pavillons in München
2.3.82 qualitativer Zusammenhang zwischen dem Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes und der Fenster- (oder Apertur-)Fläche
a im Heizfall
b im Kühlfall
2.3.83 Lichtausbeute von Tageslicht unter verschiedenen spektralen Bedingungen
2.3.84 und 2.3.85 Tageslichsimulation im Lichtlabor

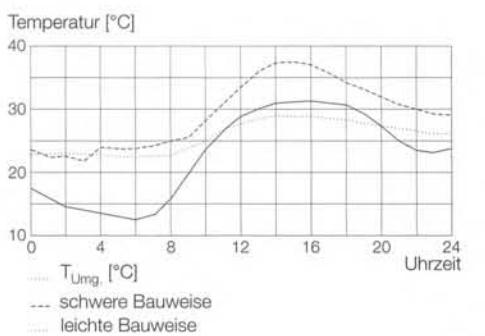


2.3.84

2.3.85

Orientierung		Jahr [kWh/m²]	nach WSVO '95 während der Heizperiode für g = 0,6
Süden	E	-792	400
	G	-274	110
Norden	E	-433	160
	G	-148	44
Osten	E	-727	275
	G	-267	76
Westen	E	-691	275
	G	-251	76
Horizontal	E	1118	
	G	-397	

2.3.86



2.3.87

tes unter Einbeziehung einer Eckkorrektur von 1,49 W/m²K auf 1,66 W/m²K, also immerhin um 11 %. Die optischen Kennwerte wie g-Wert und Tageslichtdurchlässigkeit werden durch den schmalen Randverbund kaum beeinflusst. Setzt man diese Verglasung nun in einen 6 cm starken Holzrahmen mit quadratischem Querschnitt, so erhöht sich der U-Wert auf 1,92 W/m²K, eine Verschlechterung gegenüber dem Wert in der Glasmitte um annähernd 30 %. Gleichzeitig reduzieren sich die strahlungstechnischen Kennwerte durch die Verschattung des Rahmens beim Rahmenanteil von 22 %, bezogen auf die gesamte Fensterfläche von g-Wert 0,65 auf 0,51 und die Tageslichtdurchlässigkeit von 72 % auf 57 %. Dies zeigt deutlich, dass bei der energie- und tageslichttechnischen Bewertung von Fenstern der Rahmenanteil zu beachten ist. Detaillierte Werte zu aufwendigeren Rahmenkonstruktionen mit thermischer Trennung lassen sich nur über eine zweidimensionale Wärmebrückenberechnung bestimmen, wie sie das Programm Frame anbietet, dessen Ergebnisse in Window 6.0 auch direkt einbindbar sind.
Weitere auf dem Markt befindliche Programme sind Glad – Optische und thermische Eigenschaften von Verglasungsmaterialien (Glasdatenbank GLAD-PC), Schlussbericht, EMPA (Dübendorf, CH, 1997) – und WIS – Windows Information System als Ergebnis eines europäischen Forschungsprogramms (http://windat.ucd.ie/wis/html/index.html).

Energiebilanzen
Für eine Bilanzierung der Energieflüsse an einer Verglasung muss man den solaren Gewinnen die thermischen Verluste gegenüberstellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Strahlung, die durch die Scheibe fällt, nutzbar ist, da sie unter Umständen in diesem Moment zu einer Raumüberhitzung und nicht zur Heizungsunterstützung beiträgt. Deshalb sind Bilanzen direkt nur im Stundenschritt möglich. Bei größeren Bilanzzeiträumen ist eine Nutzbarkeit der solaren Gewinne zu bewerten. Dies hängt neben der Bauweise von der Regelung und Trägheit der Raumheizung und dem Ablüftverhalten ab. Die neue DIN 18599 »Energetische Bewertung von Gebäuden« Teil 2 »Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen« berücksichtigt die Nutzbarkeit von solaren sowie von internen Wärmegewinnen über einen Ausnutzungsgrad, der abhängig ist vom Verhältnis der Verluste zu den Gewinnen und einer Auskühlzeitkonstante.

Dynamisches Verhalten von Räumen
Da sich das Innenklima in einem Raum nicht immer gleich, also statisch verhält, sondern entsprechend den wechselnden Einflüssen von außen und den Speicher- und Entspeichereffekten in der Baukonstruktion mit wechselnden Raumtemperaturen, also dynamisch reagiert, lässt sich eine exakte Energiebilanz auch nur über ein dynamisches Berechnungsverfahren abbilden. Hierzu wird einerseits das Gebäude nicht nur über die Dämmwerte, sondern auch über die Materialien und ihre Dimensionen beschrieben. Andererseits wird das Außenklima mit seinen stündlichen oder minütlichen Wechseln als Randbedingung betrachtet. So zeigt die Berechnung, dass eine schwere Bauweise sich sehr träge verhält, wenn sie über ein Fenster Solarstrahlung bezieht. Damit lassen sich gegenüber einfacheren Bilanzierungsverfahren genauere Aussagen über Raumtemperaturen und deren Verläufe machen, die wiederum eine exaktere Bewertung der solaren Nutzbarkeit erlauben. Mit diesem Verfahren können auch Speichereffekte abgebildet werden, die neben der Nutzung von solaren und internen Gewinnen zusätzlich Aussagen zum Überhitzungsverhalten eines Gebäudeentwurfs und von Lüftungsstrategien erlauben. Nur mittels dynamischer Gebäudesimulation sind die Auswirkungen unterschiedlicher Regelungsstrategien wie tageslichtabhängige Kunstlichtsteuerung, temperaturabhängige Lüftungsstrategien oder strahlungsabhängige Steuerung von Sonnenschutzvorrichtungen detailliert zu betrachten. Beispiele für dynamische Gebäudesimulationsprogramme sind TRNSYS, DOE-2, ESP und TASS. Die Anpassung der VDI 2078 zur Kühllastberechnung (1995) von der statischen an eine dynamische Auslegung zeigt die Resonanz dieser Berechnungsmethoden in den Normen. Abb. 2.3.87 zeigt die dynamische Simulation eines Temperaturverlaufs in einem Testraum in schwerer und leichter Bauweise.

Wärmeschutz mit Glas

Vergleicht man den Wärmedurchgangskoeffizienten einer Einfachverglasung (U-Wert 5,8 W/m²K) mit dem einer einfachen Ziegelwand von 17,5 cm Vollziegel (U-Wert 1,6 W/m²K), so sind Verglasungen dieser Qualität große Verlustkomponenten und ihr Fassadenanteil wird hauptsächlich über den Lichteintrag bestimmt. Wärmeschutzgläser hoher Qualität mit Edelgasfüllung erreichen heute einen U-Wert bis 0,4 W/m²K und entsprechen damit einer Dämmstärke von 10 cm Mineralwolle der Wärmeleitklasse 040. Damit werden Verglasungen unter Berücksichtigung der solaren Gewinne zu Wärmequellen. Dies erlaubt wärmetechnisch große Verglasungsflächen. Allerdings kann, bedingt durch die reduzierten Verluste, besonders bei leichter Bauweise durch die solaren Lasten sehr schnell ein Überhitzungsproblem auftreten. Deshalb muss ein Sonnenschutz unbedingt beachtet werden, zumal innen liegende Verschattungen mit hochwertigen Wärmeschutzgläsern nur stark reduziert funktionieren und Abminderungswerte F_c von 0,7 bis 0,8 abgeben. Dies bedeutet, dass immer noch 70–80 % der Strahlungsgewinne im Raum verbleiben. Die Wärmeschutzverordnung schreibt deshalb für die sommerliche Temperaturbegrenzung einen maximalen g-Wert der Verglasung mit Verschattung von 0,25 für jede Orientierung (außer Norden) vor, wenn die Gebäude mecha-

2.3.86 Angebot und Nutzbarkeit von solaren Gewinnen nach der Wärmeschutzverordnung
E = Einstrahlung, G = Gewinn
2.3.87 dynamische Simulation eines Südbüros ohne Sonnenschutz
2.3.88 Wärmebilanz zweier Wärmeschutzverglasungen nach der Wärmeschutzverordnung
2.3.89 Taupunktverlauf
2.3.90 Taupunkt-Nomogramm

nisch gekühlt werden oder einen Fensterflächenanteil von mehr als 50 % besitzen.
Der g-Wert berechnet sich wie folgt:

$g_v = g_f \times F_c$

g_v verschattete Verglasung
g_f g-Wert Fenster
F_c Abminderungsfaktor für Verschattung

Wärmeenergiebilanz an der Glasscheibe
Für eine typische und eine extreme Wärmeschutzverglasung sind in der Abb. 2.3.88 die Wärmeenergiebilanzen für unterschiedliche Orientierungen durchgeführt. Positive Bilanzen bedeuten einen Energiegewinn in der Heizperiode, negative einen Wärmeverlust in der Summe. Die Werte sind im Verhältnis zum Heizwärmebedarf auf die beheizte Fläche zu sehen, der nach geltendem Recht maximal ca. 70 kWh/m²a betragen darf und für ein Niedrigenergiehaus im Bereich von 35 kWh/m²a liegt. Dabei sind interne Wärmegewinne zu berücksichtigen, die im Wohnbereich meist bei 15 kWh/m²a und im Verwaltungsbereich bei 30 kWh/m²a liegen.

Temporärer Wärmeschutz
Wenn eine Verglasung mit einen deutlich höheren U-Wert aufweist als die Wand daneben, und wenn man Wärmeverluste gering halten möchte, liegt es nahe, in der Nacht, in der keine solaren Gewinne zu verzeichnen sind, einen zusätzlichen temporären Wärmeschutz anzuwenden. Ob durch Zuziehen von Vorhängen oder Schließen von Klappläden – zusätzliche Innen- oder Außenschichten verwenden ein eingeschlossenes Luftvolumen oder einen zusätzlichen Wärmewiderstand und reduzieren so vorübergehend den U-Wert.Bei innen liegendem temporären Wärmeschutz ist zu beachten, dass es durch die Abkühlung der Scheibe ohne thermische Anbindung an den Raum zu Kondensatbildung an der Scheibeninnenfläche kommen kann. Ohne einen luftdichten Abschluss kann ein Innenrahmen im Lauf der Zeit Schaden nehmen.
Mit der Verbesserung der Scheibenqualität nehmen die Einsparpotenziale durch einen temporären Wärmeschutz deutlich ab. Bei U-Werten unter 1,4 W/m²K erscheint dies nur sinnvoll, falls vorher alle anderen Verlustwege minimiert wurden und beispielsweise eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung genutzt wird. Der Dämmeffekt der beliebten Rolläden ist begrenzt, da oft die thermischen Verluste und die Undichtigkeiten des wandintegrierten Rolladenkastens die Einsparungen bei weitem übertreffen.

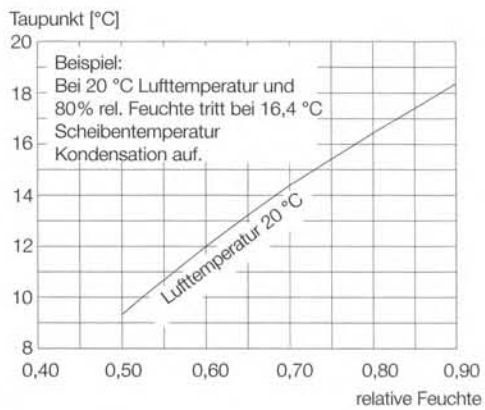
Kondensationsproblematik an Scheiben und Randverbund
Unterschreitet die Oberflächentemperatur der Scheibe den Taupunkt, so kondensiert Feuchte auf der Oberfläche. Dabei ist zwischen der Kondensation innen und außen zu unterscheiden.

Innenkondensation
Beschlagene Scheiben und Eisblumen sind die Kennzeichen eines Kondensationsproblems auf der gesamten Scheibe. Mit der Einführung von Verbund- und Isolierglas hat sich diese Problematik für die Scheibenfläche stark reduziert. Allerdings stellt der Randverbund, der lokal je nach Wahl des Abstandhalters und der Überdeckung durch den Rahmen oder die Deckleiste deutlich reduzierte U-Werte aufweist, eine Wärmebrücke dar.
Betrachtet man eine Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert in der Scheibenmitte von 1,4 W/m²K, so bedingt der Randverbund eines Aluminiumabstandhalters einen U-Wert im Randstreifen von 2,6 W/m²K. Damit sinkt bei einer Innentemperatur von 20 °C bei 0 °C Außentemperatur die Grenzfeuchte von 77 % relativer Feuchte für die Scheibenmitte auf 65 % ab. Oberhalb dieser relativen Raumluftfeuchte tritt im Randbereich der Scheibe Kondensat auf. Dabei liegen aufgrund der Konvektion im SZR die tiefsten Randstreifentemperaturen am unteren Scheibenrand. Mittels eines Edelstahlabstandhalters lässt sich die Grenzfeuchte am Randstreifen auf 70 % erhöhen, für einen isolierten Randverbund steigt sie sogar auf 77 % an. Abb. 2.3.89 zeigt den Temperaturverlauf bei 20 °C Raumtemperatur und unterschiedlichen Feuchten. Abhängig von der tieferen Außentemperatur sinkt mit fallender Innentemperatur die Grenzfeuchte. In Abb. 2.3.90, dem Taupunkt-Nomogramm, lässt sich ablesen, ab welcher Raumluftfeuchte – abhängig von der Verglasungsqualität und der Raum- und Außenlufttemperatur – Kondensat ausfällt. So ist z.B. festzustellen, dass für eine Raumlufttemperatur von 13 °C bei einer Außenlufttemperatur von -30 °C bei einem U-Wert von 1,6 W/m²K ab einer Raumluftfeuchte von 57 % Kondensat ausfällt.

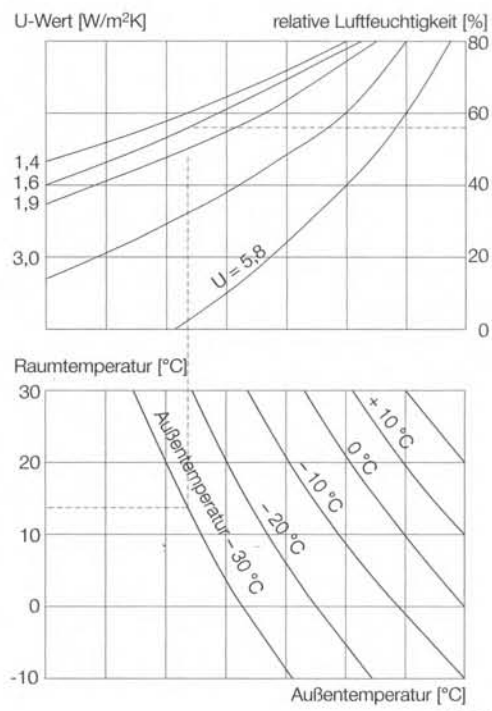
Außenkondensation
Außenkondensation für Verglasungen tritt nur in niederbeheizten Räumen oder bei hochwertigen Wärmeschutzverglasungen auf. Sie beruht auf der langwelligen Abstrahlung der äußeren Scheibenoberfläche gegen den Himmel, die bei niedrigen Raumtemperaturen – z.B. im Auto – oder sehr guten Dämmeigenschaften gegenüber dem nachfließenden Wärmestrom überwiegt. Damit sinkt die Oberflächentemperatur der Glasscheibe außen unter die Umgebungstemperatur ab und kann sogar, wie bei der Reifbildung, den Taupunkt unterschreiten. Dieser Effekt lässt sich besonders bei Dachfenstern mit hochwertigen Wärmeschutzgläsern beobachten, die deshalb in trüben Winterperioden ganztägig beschlagen oder bereift bleiben können.
Hier zeigen Versuche mit einer Low-E-Hard-Coating-Beschichtung auf Position 1 gute Ergebnisse. Die Beschichtung vermindert den Strahlungsaustausch der Außenscheibe mit dem Himmel, d.h. die Scheibenoberflächentemperatur liegt eher im Bereich der Außenlufttemperatur als unterhalb dieser und somit wird Reif- oder Kondensatbildung verhindert.

Orientierung	solare Gewinne nach WSVO '95 während der Heizperiode [kWh/m²]	Wärmeverluste [kWh/m²]	Wärmebilanz über die Heizperiode [kWh/m²]
g-Wert	g = 0,6; U = 1,4 W/m²K		
Süden	110	118	+ 8
Norden	44	118	- 74
Osten	76	118	- 42
Westen	76	118	- 42
g-Wert	g = 0,42; U = 0,4 W/m²K		
Süden	77	34	+ 43
Norden	31	34	- 3
Osten	53	34	+ 19
Westen	53	34	+ 19

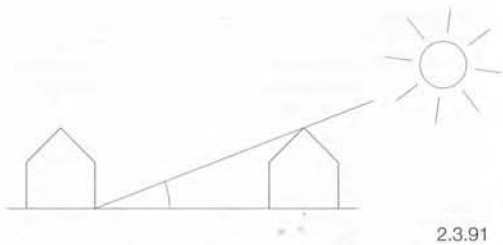
2.3.88



2.3.89



2.3.90

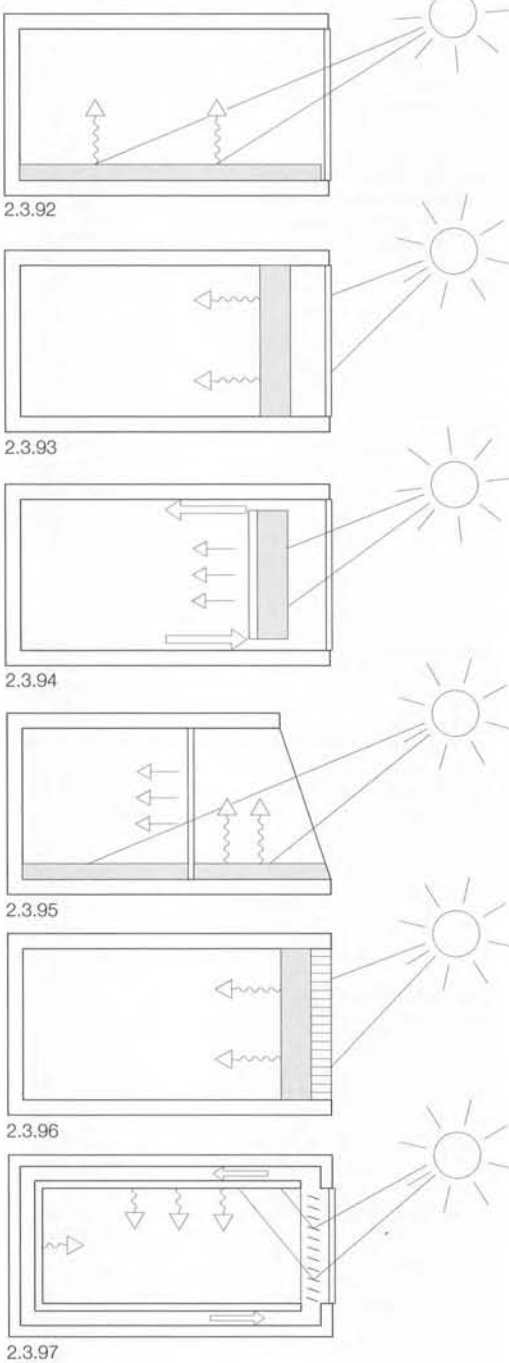


2.3.91

2.3.91 Vermeidung von Verschattung durch entsprechenden Gebäudeabstand
2.3.92 Direkt-Gewinnsystem
2.3.93 Trombewand
2.3.94 belüftete Solarwand
2.3.95 Glasanbau
2.3.96 transluzente Wärmedämmung
2.3.97 Fenster-/Luftkollektor
2.3.98 Konzept der passiven und aktiven Solarnutzung
a aktiv
b passiv

Komforteffekte durch Kältestrahlung und Kaltluftabfall

Vergleicht man die Oberflächentemperatur einer Innenscheibe mit der Rauminnentemperatur, so liegt diese, je nach Außentemperatur und Verglasungsqualität, 2–8 K tiefer. Die kalte Oberfläche strahlt in den Raum und führt zu einem Unwohlsein in der Nähe großer Glasflächen. Die empfundene Temperatur des Raumnutzers, die sich zu 50 % aus der Raumlufttemperatur und zu 50 % aus den Oberflächentemperaturen des Raumes zusammensetzt, sinkt entsprechend stark ab.
Ebenso kühlt sich die Raumluft an der Scheibenoberfläche ab und fällt aufgrund ihrer höheren Dichte nach unten. Dieser Kaltluftabfall kann bei entsprechender Höhe und schlechter Verglasungsqualität zu Zugerscheinungen in Fassadennähe besonders im Bodenbereich, führen da die umgelenkte Kaltluft bis in Raumtiefen von mehreren Metern vordringt und Geschwindigkeiten bis zu 0,5 m/s erreicht.
In der Vergangenheit führte dies dazu, Heizkörper unter den Fenstern zu positionieren, um mit der aufsteigenden Warmluft den Kaltluftabfall abzufangen. An hohen Fassaden sind deshalb oft in regelmäßigen Abständen Heizrippenrohre angebracht. Werden Verglasungen mit U-Werten von 1,0 W/m²K und besser verwendet, so lassen sich die Heizflächen aus der Fensternähe abrücken, und es kann auf Heizrohre verzichtet werden.



2.3.92

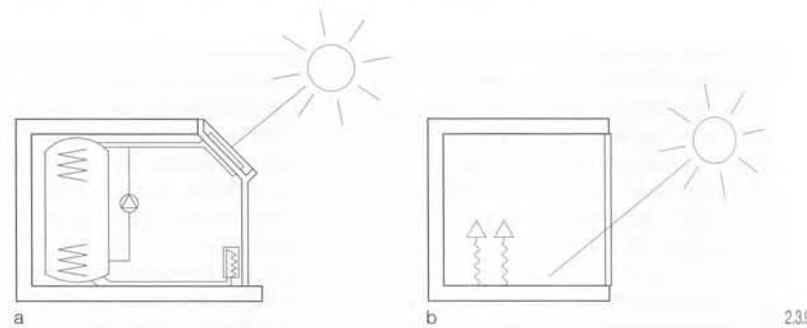
2.3.93

2.3.94

2.3.95

2.3.96

2.3.97



a b 2.3.98

Konzept	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
direkte Gewinne 2.3.92	• direkte Strahlungsgewinne über Verglasungsflächen • Speichermasse im Raum erforderlich • Verschattung notwendig • Gewinne decken Verluste in der Übergangszeit	• einfaches System • kostengünstig • gesamtes Solarspektrum nutzbar • zusätzlicher Außenbezug und Lichtquelle	• erhöhte Wärmeverluste gegenüber einer gedämmten Wand • bedingt zugängliche Speichermasse • Verschattung bzw. Blendschutz erforderlich • begrenzte Systemgröße
Solarwand/ Trombewand (bezeichnet nach Felix Trombe) 2.3.93	• dunkle Speicherwand hinter einer Verglasung • belädt sich über Solarstrahlung am Tag und gibt Wärme über Wärmeleitung zeitversetzt an den Raum ab	• zeitverzögerte Wärmeabgabe • einfaches System	• großer Teil der Gewinne gehen über Verglasung wieder verloren • Konkurrenz mit Fenster, kein Tageslicht, kein Außenbezug • unkontrollierte Entladung
belüftete Solarwand 2.3.94	• Trombewand, die über eine Hinterlüftung gezielt entladen werden kann • teilweise zum Raum gedämmt	• kontrollierte Entladung • keine Überhitzung • reduzierte Nachtverluste	• Steuerung erforderlich • Rückschlagventil notwendig • Verschmutzung
Glasanbau 2.3.95	• vorgesetzter oder integrierter Anbau mit großflächiger Verglasung • nur unbeheizt eine Einsparung	• temporär zusätzlicher Nutzraum • als Sonnenfalle nutzbar • Pufferraum nach außen schafft Zwischenklima	• kann leicht zur Energieschleuder werden • wegen Kondensation in Isolierglas auszuführen • Sonnenschutz notwendig • kein frostfreier Pflanzenplatz • reduziert Licht im angrenzenden Raum
transluzente Wärmedämmung 2.3.96	• dunkle Speicherwand mit transluzenter Dämmung • lässt Sonne durch aber Wärme nicht zurück und gibt die Wärme zeitversetzt durch Wärmeleitung an den Raum ab	• hohe Gewinne, niedrige Verluste • erhöhter Komfort durch warme Wand • ermöglicht reduzierte Raumlufttemperatur	• Überhitzungsgefahr, muss im Sommer verschattet werden • erhöhte Kosten • konkurriert mit Fenster • kein Tageslicht, kein Außenbezug
Fenster-/ Luftkollektor 2.3.97	• Kastenfenster mit integriertem Sonnenschutz und luftdurchströmtem Zwischenraum • über Thermosyphoneffekt angetrieben • Wärmeabgabe an Speicherdecke oder Wand	• Fenster und Kollektorfunktion • Speicher vom Raum getrennt • natürliche Steuerung • geringe Zusatzkosten durch Doppelnutzung	• erhöhte Temperaturen im Kastenfenster auch im Sommer • passive Entladung erlaubt keine Regelung • Luftkanalführung notwendig • zusätzliches Speicherelement notwendig

Infrarotstrahlung reflektierende Low-E-Beschichtungen auf der Scheibeninnenseite verbessern zwar den Strahlungskomfort durch die reduzierte Strahlung, kappen aber andererseits die strahlungstechnische Anbindung der Scheibe an den Raum und führen damit zu niedrigen Scheibentemperaturen und eventuell erhöhtem Kaltluftabfall. Die rechnerische Überprüfung im Detail kann nur mittels strömungstechnischer Simulation durchgeführt werden, die die Temperatur und Geschwindigkeitsverteilung der Raumluft aufzeigt.

Anwendungen von Verglasungen in Gebäuden und Systemen

Berücksichtigt man beim Einsatz von Verglasungen in Gebäuden allein ihre bisher dargestellten Eigenschaften und Effekte, stößt man im Gesamtsystem auf neue Probleme, beispielsweise bezüglich Blendung, Brandüberschlag und Rauchdichtigkeit. Einige Konzepte werden kurz vorgestellt, deren Grundverständnis die Vor- und Nachteile der einzelnen Maßnahmen verständlich machen soll.

Funktion

Die Fassade eines Gebäudes dient dem Witterungsabschluss der Gebäudehülle und der klimatischen Trennung, d.h. sie wirkt als Regen-, Wind-, Kälte-, Wärme- sowie als Lärmschutz. Variable Öffnungen in der Fassade erlauben zum Luftaustausch und zur Außenbeziehung eine partielle Aufhebung der klimatischen Trennung. Transparente und transluzente Fassadenbauteile ermöglichen zusätzlich den Energiefluss von außen nach innen in Form von kurzwelliger Solarstrahlung, die Wärme und Licht mittransportiert, sowie eine Sichtbeziehung des Nutzers von innen nach außen. Der Einsatz von Glas mit seiner Durchlässigkeit für Solarstrahlung und seiner Undurchlässigkeit für Wärmestrahlung bewirkt eine Aufheizung des verglasten Bereichs, den Glashauseffekt. Diese Wärmegewinne sind einerseits bei kalten Außentemperaturen eine willkommene Wärmequelle, können andererseits aber sehr schnell bei höheren Außentemperaturen und/oder hohen internen Wärmequellen zu Überhitzungserscheinungen führen und bedingen so Sonnenschutzmaßnahmen. Weiterhin ist z.B. für fensternahe Arbeitsplätze eine Tageslichtbeleuchtung wünschenswert, wobei der Sichtschutz und besonders in Kombination mit Bildschirmarbeitsplätzen der Blendschutz beachtet werden muss.

Grundkonzepte

Grundsätzlich wird zwischen aktiven und passiven Systemen zur Sonnenenergiegewinnung unterschieden (Abb. 2.3.98). Entscheidend ist, ob nur die Gebäudekomponenten verwendet werden (passiv) oder zusätzlich bewegte Teile zum Transport eingesetzt werden (aktiv).

Passive Nutzung

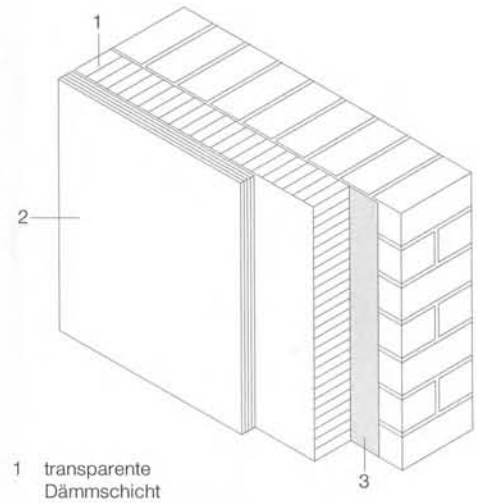
Das einfachste passive Bauteil zur Nutzung der Solarstrahlung für die Raumbeleuchtung und Heizungsunterstützung ist das Fenster, also die Nutzung der Direkt-Gewinne. Dabei ist der ungehinderte Strahlungseinfall auf das Fenster entscheidend, abhängig von der Umgebung, dem Sonnenstand und dem Einfallswinkel auf die Scheibe (Abb. 2.3.91). Der Sonnenstand richtet sich nach der geographischen Breite des Standorts und lässt sich in seinem minimalen Grenzwinkel zur Mittagszeit berechnen:

minimaler Sonnenstandswinkel =
90° - (Breitengrad + 23,45°)

Demnach muss der minimale Abstand zweier Häuserzeilen für den Standort Würzburg (Breitengrad 48,8°) bei einer Gebäudehöhe von beispielsweise 8 m mindestens 24 m betragen, wenn keine Verschattung des Erdgeschosses durch das Nachbarhaus erfolgen soll. Eine Ausformung der Dachgeschosse kann hier zu einer Verbesserung führen.
Je nach Nutzung und Bauweise lassen sich unterschiedliche Anteile der solaren Gewinne, die im Raum anfallen, nutzen (Abb. 2.3.92 bis 2.3.97). Mittels einer gewählten Verschattung muss außerdem das solare Angebot begrenzt werden, um den Raum vor Überhitzung zu schützen. Da Fenster erhöhte Wärmeverluste aufweisen und in Konkurrenz zum geschlossenen Wandbereich stehen, wurden weitere passive Systeme entwickelt, durch die versucht wird, die Nachteile des »Direkt-Gewinnsystem-Fensters« auszugleichen.

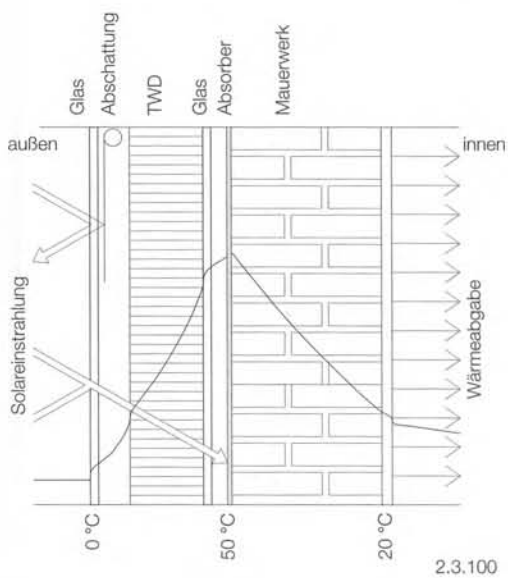
Transluzente Wärmedämmung (TWD)

Während die übliche Wärmedämmung auf Wänden opak ist, d.h. keine Solarstrahlung durchlässt, passieren bei der transluzenten Wärmedämmung (Abb. 2.3.99 und 2.3.102) große Teile der Solarstrahlung (bis 70 %). Für die Wärmestrahlung und Warmluftkonvektion bleibt die TWD undurchlässig. Dieser Effekt, der sich häufig hinter einer Verglasung abspielt, beruht auf sehr dünnen Kapillarröhrchen, die das Sonnenlicht zum Absorber (dunkel gefärbte massive Wand) leiten, die langwellige Wärmestrahlung der Wand einfangen, aber für die Konvektionswalzen ein großes Hindernis und damit reduzierte Verluste darstellen. Somit erwärmt sich bei solarer Einstrahlung die Wand hinter der transluzenten Wärmedämmung und leitet die Wärme an den Raum weiter. Dabei spielen nun die Dichte und die Materialwahl eine wichtige Rolle, die es erlauben, die Wärmegewinne zeitlich versetzt an den Raum abzugeben. Damit können Solargewinne bis zu sechs Stunden versetzt dem Raum hinter der TWD zugeführt werden. Bilanziert man die Wärmeströme an der TWD-Wand, so drehen sich diese bei solarer Einstrahlung um: von einem Verluststrom nach außen in einen Gewinnstrom oder Überschuss nach innen.
Zum Schutz vor Überhitzung sollten TWD-Fassaden mit einem Sonnenschutz ausgestattet



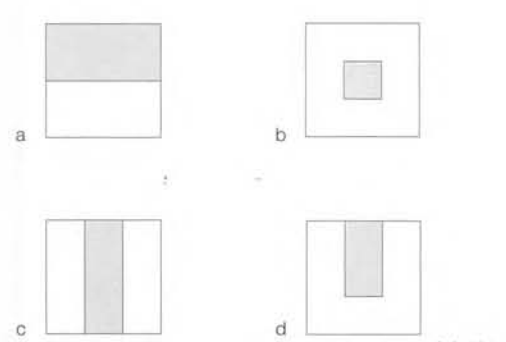
1 transparente Dämmschicht
2 Witterungsschutz (transparent), eventuell mit Sonnenschutzrollo
3 schwarzer Anstrich (absorbierend)

2.3.99

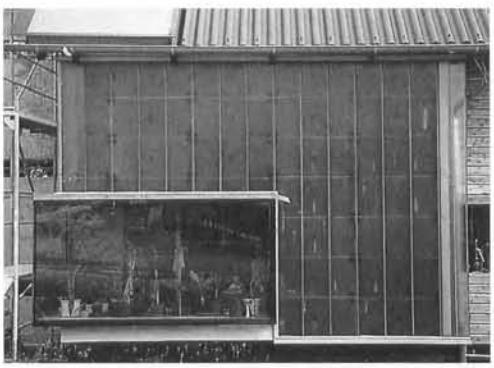


2.3.100

2.3.99 typischer Aufbau einer TWD-Wand
2.3.100 TWD-Element mit Verschattung und Temperaturprofil
2.3.101 verschiedene Bauarten von Atrien und Wärmepuffern
a angebautes Glashaus
b innen liegendes Atrium
c lineares Atrium
d eingeschobenes Atrium



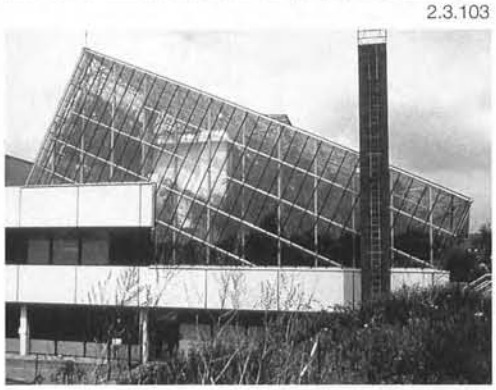
2.3.101



2.3.102

2.3.102 Wohnhaus mit Einfach-TWD-Verglasung aus Kapillarstruktur und Gussglasabdeckung
2.3.103 Sanierungsprojekt mit TWD-Wand und mit transluzentem Putz
2.3.104 Tegut-Gebäude in Fulda Architekt: LOG ID
2.3.105 Universität in Trondheim (Norwegen) Architekt: Per Knudsen

2.3.103



2.3.104

2.3.105

sein (Abb. 2.3.100). Meistens kommen motorisch betriebene Folienrollos zum Einsatz, wobei auch fest stehende Verschattungen bei reiner Südausrichtung denkbar sind. Als Alternative wurde ein kostengünstiges System mit transluzentem Putz entwickelt, der aus Glaskugeln und Bindemittel besteht und wegen seiner reduzierten Transmission auf eine Verschattung verzichten kann. Eine interessante Anwendung ist der Einsatz von TWD bei der Gebäudesanierung, da dadurch fehlender Wärmeschutz ergänzt und bauphysikalische Probleme wie Durchfeuchtung gelöst werden können (Abb. 2.3.103).

Vom Glashaus zum Atrium

Ein wichtiger Vorläufer des heutigen Glashauses ist der Kristallpalast in London von 1851 (siehe S. 20). Er maß immerhin über 500 m Länge und diente bis zu seiner Zerstörung im Jahre 1936 vorwiegend der Veranstaltung von Messen. Die 1996 in Leipzig fertig gestellte gläserne Messehalle (siehe Beispiel 38, S. 325ff.) setzt die Tradition der alten Kristallpaläste fort. Allein durch die glatte gedrungene Dachform ist der Heizwärmebedarf der neuen Leipziger Messehalle geringer als bei der alten Architektur mit Türmchen und Erkern. Manche Glashäuser dienen lediglich als Wetterschutzhülle und werden auch als Haus-im-Haus-Konzept bezeichnet. Sie erzeugen ein lokales Mikroklima, in dem sich kleinere konditionierte Gebäude befinden (Abb. 2.3.104). Eine zahlenmäßig starke Gruppe stellen die Gewächshäuser für Kulturpflanzen dar. Dachform, Beheizung, Verschattung und Verglasungsart sind nicht zufällig, sondern werden auf die zu kultivierende Pflanzenart abgestimmt, um betriebswirtschaftlich optimale Ergebnisse zu erzielen. Je nach Grundgeometrie und Anordnung zum Gesamtgebäude unterscheidet man verschiedene Glashausarten (Abb. 2.3.101).

Angebautes Glashaus

Bei dieser Bauart steht das Glashaus nicht frei, sondern grenzt mindestens mit einer Wand an einen massiven Gebäudeteil. Es verfügt daher in der Regel über mehr thermische Speichermasse als das reine Glashaus.

Innen liegendes Atrium

Bei dieser klassischen Bauform bildet lediglich das gläserne Dach einen nach außen grenzenden Raumabschluss. Das Raumklima wird in hohem Maße von den umschließenden Wänden des Atriums bestimmt, die wiederum die umgebenden Räume vom zentralen Atrium trennen.

Lineares Atrium

Das lineare Atrium (Abb. 2.3.105) verbindet zwei parallel verlaufende Gebäuderiegel. Es schließt mit verglasten Giebeln an den Enden ab und schafft in der Regel ein Zwischenklima, das für reine Verkehrsflächen auch ohne zusätzliche Beheizung ausreichend ist.

Eingeschobenes Atrium

Bei dieser Abwandlung des innen liegenden Atriums ist eine Wand des Atriums zugleich Außenfassade.

Nutzungsarten

Glashäuser und Atrien werden meistens nicht für den dauerhaften Aufenthalt von Menschen geplant. Sie prägen oft das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, vermitteln unter Umständen spannende Raumeindrücke und schaffen unterschiedliche Klimazonen. Man unterscheidet folgende Nutzungsarten:

- Wetterschutz:
  Das Glashaus dient zum Schutz vor Regen und Wind und nur als kurzfristiger Aufenthaltsort für Personen. Beispiele: unbeheizte Glasvorhallen, Bahnhofshallen und Markthallen. Raumlufttemperaturen unter 0 °C sind möglich.
- Durchgangsraum:
  Das Atrium ist die Verkehrsfläche und verbindet beheizte Gebäudeteile. Es wird nur als kurzfristiger Aufenthaltsort von Personen genutzt. Raumlufttemperaturen 10–14 °C genügen auch erhöhten Komfortansprüchen.
- Aktive Nutzung:
  Personen bewegen sich permanent im Raum. Beispiele: Sporthalle, Kunstausstellung, Hoteleingangshalle. Raumlufttemperatur 12–18 °C.
- Vollnutzung bei sitzender Tätigkeit:
  Personen halten sich sitzend über mehrere Stunden im Raum auf. Beispiele: Restaurant, Büroraum. Raumlufttemperaturen 20–22 °C.
- Hallenbad:
  Raumlufttemperaturen 27–32 °C.
- Nutzung für Flora und Fauna:
  Zucht und Präsentation von Pflanzen, Haltung exotischer Tiere. Beispiele: Gartencenter und Zoogebäude. Raumlufttemperaturen mindestens 5 °C, höchstens 35 °C.

Das Raumklima im Glashaus kann also variieren vom Beinahe-Außenraum mit Schutz gegen Niederschläge (z.B. alte Bahnhofshallen) über das moderate Zwischenklima von Einkaufspassagen bis hin zum tropischem Klima von Gewächshäusern.
Das Spektrum des daraus resultierenden Heizenergieverbrauchs reicht von weniger als 0 kWh/m²a (Energiesparen durch unbeheizte Glasbauten) bis zu 500 kWh pro m² Grundfläche und Jahr für ständig auf 20 °C beheizte Einfachglashäuser.

Energetische Funktionen

Glashäuser benötigen bei entsprechender Planung nicht nur klimatechnische Anlagen zur Aufrechterhaltung gewünschter Bedingungen, sondern können andererseits auch klimatechnische Funktionen übernehmen:

Heizung

Sofern das Glashaus nicht auf Raumtemperatur (20–22 °C) beheizt wird, wirkt es als thermischer Puffer (Abb. 2.3.106). Es ermöglicht passive Solarenergiegewinne, die über die Lüftung

zu den angrenzenden Räumen transportiert werden können. Die Verglasung sollte daher möglichst als vertikale Südfassade ausgeführt sein. Die Pufferwirkung ist umso effektiver, je hochwertiger die Verglasung des Atriums ist. Durch folgende Effekte kann Heizenergie eingespart werden:

- solare Vorwärmung der in den angrenzenden Räumen benötigten Frischluft
- Begrenzung der Transmissionswärmeverluste der angrenzenden Räume

Kühlung

Das Atrium kann vor allem im Sommer die natürliche Luftbewegung durch Temperaturunterschiede in Gang setzen und so unerwünschte solare Gewinne abführen. Durch Ausnutzung der Temperaturschichtung und richtiger Anordnung der Öffnungsflächen können große Luftaustauschraten (50–80fach) erzielt werden, besonders nachts, wenn das Atrium zunächst noch wärmer als die Außenluft ist.

Oft bietet das Atrium auch Öffnungsflächen, die nachts ohne Einbruchrisiko geöffnet werden können und so das Gebäude abkühlen lassen.

Lüftung

Das Atrium kann als Verteiler der frischen Zuluft oder auch als Sammelkanal für Abluft verwendet werden (Abb. 2.3.107). Offene, bewegte Wasserflächen lassen sich als natürliche Luftbefeuchtung und begrenzt als Verdunstungskühlung einsetzen.

Belichtung

Das Atrium kann Tageslicht an angrenzende Räume liefern (Abb. 2.3.108). Durch die thermische Pufferwirkung des Atriums können die Fensterflächen größer gewählt werden, ohne dass der Heizenergieverbrauch dramatisch steigt. Auf diese Weise kann ein Atrium mehr Tageslicht einbringen als die Fassade zu einem offenen Innenhof. Die Tageslichtversorgung der angrenzenden Räume wird vor allem durch folgende Parameter bestimmt (Abb. 2.3.109):

- Form des Atriums
- Verhältnis von Breite zu Höhe
- Farbe der Oberflächen
- Fensterflächenanteil der Trennwände
- Verglasungsqualitäten des Atriums und der Trennwände

Energiebetrachtungen

Heizenergieverbrauch

Jedes Atrium bildet einen thermischen Puffer für die angrenzenden Räume, da es in jedem Fall deren Heizenergieverbrauch reduziert. Falls das Atrium selbst nicht beheizt wird, ergibt sich dennoch ein Energiegewinn. Bei Vollnutzung des Atriums mit Raumtemperaturen von 20 °C bis 22 °C, wird im Allgemeinen jedoch Energie verschwendet, da die transparente Dachhaut weniger Wärmeschutz bietet als ein gedämmtes opakes Dach. Das Wechselspiel von Wärmeverlusten des massiven Kerngebäudes und Energiegewinnen des Glasatriums ist in Abb. 2.3.110 skizziert.

Es ergeben sich drei Betriebszustände:

- Zeiten, in denen weder das Atrium noch das Kerngebäude die Energiegewinne des Atriums nutzen kann
- Zeiten, in denen das Atrium Wärme liefert, die vom Kerngebäude genutzt werden kann (Atrium als Wärmelieferant)
- Zeiten, in denen auch das Atrium Heizenergie benötigt, um das erwünschte Raumklima zu erhalten (Atrium als zusätzlicher Wärmeverbraucher)

Wie lange die Periode als Energielieferant währt und ob am Schluss das Atrium ein Energiesparer oder ein Energieverbraucher ist, hängt von vielen Parametern ab, wie z.B.:

- Atriumtyp
- Verglasungstyp
- Wärmeschutzstandard
- Klimabedingungen außen
- Lüftungskonzept
- Speichervermögen
- erwünschtes Raumklima

Die Auswirkung einiger Schlüsselparameter sind im Folgenden aufgeführt:

Atriumtyp

Je stärker das Atrium mit dem Kerngebäude verbunden ist, desto besser ist die Pufferwirkung und somit auch das Potenzial des Energiesparens. Das innen liegende, eingeschobene und das lineare Atrium haben hier die besten Voraussetzungen. Das Anlehn-Glashaus, das nur wenig thermische Verbindung zum Kerngebäude hat, kann allenfalls zur solaren Frischluftvorwärmung herangezogen werden.

Verglasungsart und Wärmedämmung

Viele unbeheizte Glasatrien besitzen lediglich Einfachverglasung. Trotzdem sind sie Energielieferanten, solange sie nicht beheizt werden. Diese Einschränkung ist wichtig, da es Fälle gibt, bei denen ursprünglich unbeheizte Atrien aus Raumnot umgenutzt werden. Diese höherwertige Nutzung bedeutet eine Beheizung auf 20 °C, was einen enormen Energieaufwand mit sich bringt.

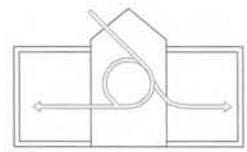
Bei Temperaturen im Atrium von 15 °C und mehr ist deshalb eine Wärmeschutzverglasung der Atriumaußenhaut unbedingt ratsam.

Der Einfluss der Verglasungsqualität ist in Abb. 2.3.105 beispielhaft am linearen Atrium der Universität Trondheim (Norwegen) dargestellt. Das Atrium wird auf maximal 5 °C beheizt. Der Energieverbrauch des Gesamtgebäudes ohne Atrium aber mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung der Fassade zum Innenhof ist um 20 % höher als der Verbrauch mit Atrium in Zweifach-Wärmeschutzverglasung und Innenfassade in Standard-Isolierglas.

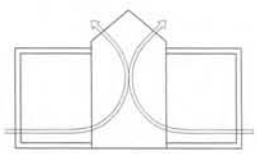
Abb. 2.3.111 zeigt den Heizwärmebedarf als Funktion der Atriumsverglasung.

Lüftungskonzept

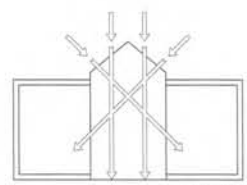
Atrien sind oft ein wichtiger Bestandteil des Lüftungskonzeptes eines Gebäudes. Unter



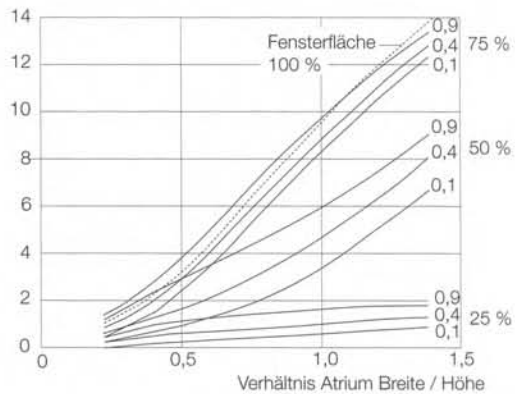
2.3.106



2.3.107



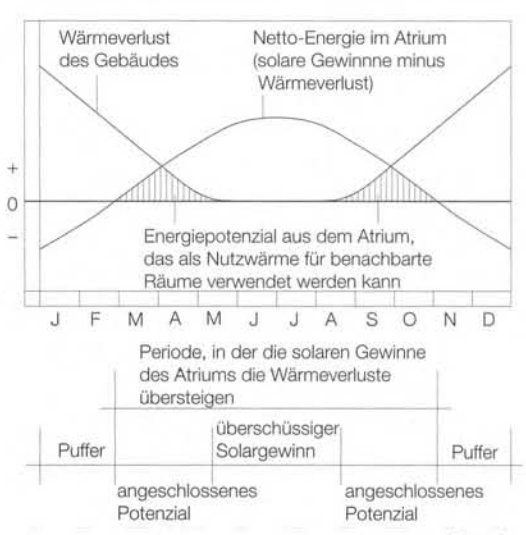
2.3.108



0,9/0,4/0,1 Reflexionsgrad der Wände
20 %, 50 %, 75 %, 100 % Verglasungsanteil in der Fassade

2.3.109

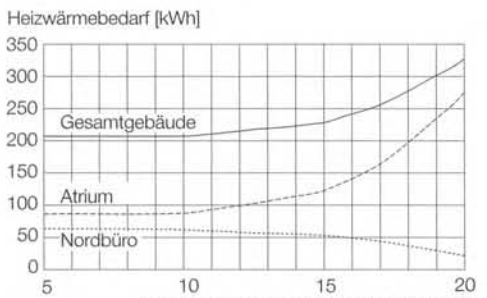
2.3.106 Atrium-Heizkonzept
2.3.107 Atrium-Lüftungskonzept
2.3.108 Atrium-Lichtkonzept
2.3.109 Tageslichtquotient eines linearen Atriums in Abhängigkeit der Konstruktion
2.3.110 Jahresgang des Zusammenspiels der solaren Gewinne und Wärmeverluste von einem Atrium-Gebäude



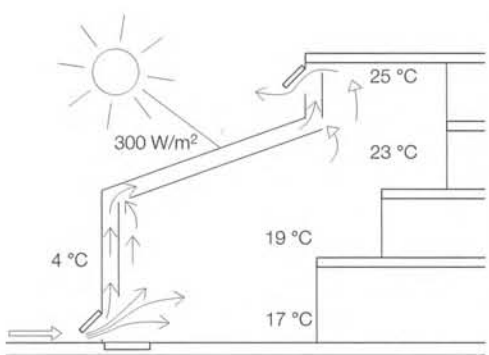
2.3.110

A			92	Isolierglas in Dach und Giebelwand, Einfachglas in Fassade
B			82	Isolierglas mit Low-E-Schicht in Dach und Giebelwand, Einfachglas in Fassade
C			91	Isolierglas überall
D			81	Isolierglas mit Low-E-Schicht in Dach und Giebelwand, Isolierglas in Fassade
E			100	kein Glasdach, Dreifach-Glasscheiben in Fassade

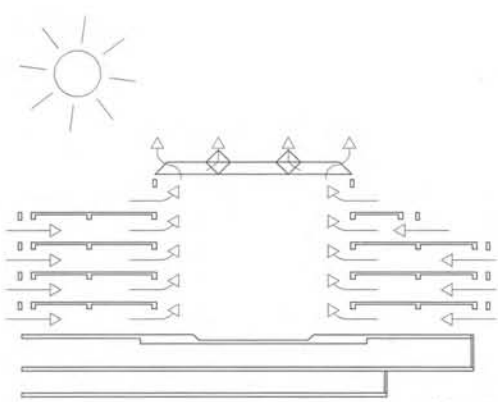
2.3.111



2.3.112



2.3.113



2.3.114

anderem sind folgende Lüftungsarten üblich:

- mechanischer Lüftungsverbund von Atrium und Kerngebäude
- reine Fensterlüftung
- kein Luftverbund mit dem Atrium
- Atrium als Abluftsammler
- Atrium als Frischluftverteiler eventuell mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- Atrium als Frischluftverteiler und Abluftsammler
- solare Vorwärmung von Frischluft

Raumtemperaturen im Atrium

Das gewünschte Raumklima spielt eine entscheidende Rolle beim Energieverbrauch, falls Temperaturen über 10 °C verlangt werden. Auch bei Wärmeschutzverglasungen steigt der Verbrauch drastisch, wenn die Solltemperatur über 15 °C liegt. So erhöht sich der Wärmeverbrauch des Gesamtgebäudes der Universität Trondheim bei einer Anhebung der Temperatur im Atrium von 15 °C auf 18 °C um ca. 30 % (Abb. 2.3.112). Die erhöhten Raumtemperaturen resultierten aus einer veränderten Nutzung des Atriums. Zunächst als Verkehrsfläche geplant, wurden wegen Platzmangel an der Universität nachträglich Flächen als Übungsräume ausgewiesen und damit erhöhte Raumtemperaturen erforderlich.

Kühlung

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass Glasatrien nur in nördlichen bis gemäßigten Breiten ohne mechanische Kühlung zu betreiben sind. Bereits im maritimen Klima erzeugen Glasatrien erhebliche Kühllasten. In weiten Teilen der USA übersteigt der Kühlenergiebedarf den Heizenergiebedarf bei Weitem. Deshalb sind die meisten amerikanischen Glasatrien als Energieschleudern zu bezeichnen.
Glasatrien können, obwohl dies zuerst paradox klingt, in gemäßigten Klimazonen zur Kühlung von Gebäuden beitragen. Doch zunächst hat jedes Atrium ein eigenes Kühlproblem, das mit folgenden Maßnahmen entschärft werden kann:

Natürliche Lüftung

Aufgrund der natürlichen Temperaturschichtung der Luft können Atrien leicht be- und entlüftet werden, ohne dass mechanische Lüftungseinrichtungen notwendig sind. Die Sicherstellung der natürlichen Lüftung ist die wichtigste Maßnahme, um eine Überhitzung des Atriums einzugrenzen. Durch entsprechende Anordnung von Belüftungsöffnungen im Bodenbereich und Abluftöffnungen im Dachbereich kann ein ca. 3–5facher Luftwechsel im Atrium erzielt werden. Die zu öffnende Fläche des Glashauses sollte für eine Entwärmung mindestens 5 % der Grundfläche betragen. Dabei ist zu beachten, dass in Übergangszeiten das Atrium durch Öffnungen lediglich im oberen Bereich quergelüftet werden kann, ohne dass bei niedrigen Außentemperaturen in der Aufenthaltszone Fassadenflächen geöffnet werden müssen, was zu Zugerscheinungen führen würde. Das heißt das sich unter dem Dach kommulierende Warmluftpolster kann ohne Beeinträchtigungen für die Nutzer abgelüftet werden.

Verschattung

Eine weitere wichtige Maßnahme ist die Verschattung des Atriums, die auf jeden Fall beweglich sein sollte, um in den Jahreszeiten ohne Kühlproblem den Weg für Licht und Wärme freizuhalten. Aus Kostengründen kommen in Atrien meist innen liegende Verschattungen zum Einsatz. Da sich dadurch im Dachbereich ein Hitzepolster bildet, herrschen im obersten Stockwerk oft wesentlich höhere Temperaturen, wie die Messwerte des Anbau-Glashauses der Universität Neuchâtel (Schweiz) bestätigen (Abb. 2.3.113). Deshalb ist bei innen liegendem Sonnenschutz eine Überhöhung des Dachbereichs zur Ablüftung der solaren Gewinne anzustreben.

Gebäudekühlung mittels Atrium

Bei entsprechender Ausbildung der Dachüberhöhung und der Zuluftöffnungen im Gebäudekern kann das Atrium die Durchlüftung des Kerngebäudes mit relativ kühler Außenluft verstärken. Dieses Konzept ist besonders effektiv für die Nachtluftspülung des massiven Kerngebäudes einsetzbar. Abb. 2.3.114 zeigt die Sommernachtlüftung im Gateway 2-Gebäude in London.

Tageslicht

Zunächst verringert die Überdachung eines offenen Innenhofs oder auch der Anbau eines Glashauses die Tageslichtversorgung der dahinter liegenden Räume. Meistens kann man von einer Reduktion der Beleuchtungsstärke von 20 % ausgehen, vorausgesetzt es wird Klarglas und kein Sonnenschutzglas verwendet. Allerdings ermöglicht die Pufferwirkung des Atriums, den Verglasungsanteil der Zwischenfassade zu erhöhen und dadurch mehr Licht ins Innere des Kerngebäudes zu bringen. Der Einfluss der Farbe der Innenfassade ist zu berücksichtigen, denn bei 50 % Verglasungsanteil der Innenfassade verbessert eine weiße Oberfläche der Wände im Atrium die Tageslichtversorgung um ca. 30 % im Vergleich zu einer dunklen Oberfläche.
Abb. 2.3.109 zeigt die Abhängigkeit des Tageslichtquotienten von den Einflussgrößen Fassadenfarbe, Verglasungsanteil der Zwischenfassade und Verhältnis von Höhe zu Breite eines linearen Atriums.

Energiesparen mit Glashäusern

Bei Beachtung der folgenden Punkte können Glasatrien zu Energiesparern werden:

- notwendige Raumtemperaturen möglichst niedrig ansetzen
- Verglasung ausschließlich in Klarglas, um Tageslichtversorgung der angrenzenden Räume nicht permanent zu verschlechtern
- beweglichen Sonnenschutz vorsehen, vor-

zugsweise außen liegend
- mindestens 5 % Öffnungsfläche für natürliche Belüftung vorsehen, dadurch besteht die Möglichkeit, ohne mechanische Kühlung auszukommen
- Dachüberhöhung mit Öffnungsflächen direkt unterhalb des Dachs, um die Ablüftung des Warmluftpolsters zu ermöglichen
- niedrigen U-Wert bei der Verglasung wählen, da sonst die Gefahr besteht, dass bei Änderung der Nutzung kein ausreichender Wärmeschutz vorhanden ist
- helle Farben im Atrium bevorzugen

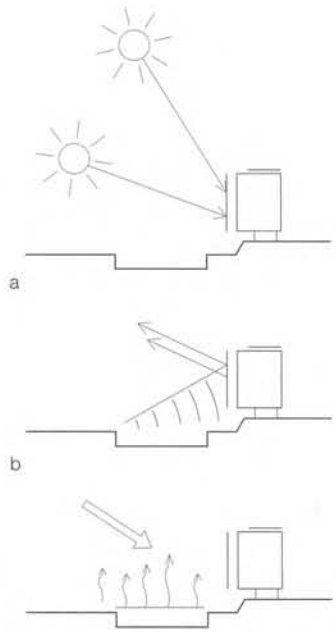
Doppelfassaden

Direkt-Gewinnsysteme sind auf die Funktion eines Sonnenschutzes angewiesen und besitzen durch eine manuelle Kontrolle der Lüftung eine hohe Nutzerakzeptanz. Allerdings führen die Windanfälligkeit einer außen liegenden Verschattung und Schallschutz- und Sicherheitsprobleme bei geöffneten Fenstern zu deutlichen Einschränkungen in der Nutzbarkeit (Abb. 2.3.115). Diese Probleme für den außen liegenden Sonnenschutz haben in Kombination mit Überlegungen zur Beeinflussung der »äußeren« Fassadenbedingungen zur Entwicklung von Doppelfassadenkonzepten geführt. Bei dieser Fassadenkonzeption wird in einem gewissen Abstand zur Fassade außen quasi eine zweite Haut, meist gläsern, über das Gebäude gezogen. Damit lassen sich folgende Aspekte verbessern:
- thermischer Puffer
- Wind- und Witterungsschutz für Fassade, Sonnenschutz, Öffnungen,
- Schallschutz
- Sicherheitsaspekte
- Luftführung
- Installationsraum
- Erlebnisraum

Die Funktionen der einschaligen Fassade werden nun auf die beiden Fassadenebenen verteilt. Die äußere übernimmt in jedem Fall den Wind- und Witterungsschutz. Energetische Bewertungen zeigen, dass im Vergleich mit einer Einfachfassade in guter Verglasung ein Doppelfassadenkonzept als reiner thermischer Puffer kaum zu Einsparungen beim Heizwärmebedarf führt, die Reduzierung der solaren Gewinne über die äußere Verglasung wiegt die Reduzierung der Transmissionsverluste auf. Bezüglich Komfort und möglichen bauphysikalischen Problemen, wie beispielsweise Kondensation in Räumen mit erhöhter Feuchte und Temperatur, wirken sich die erhöhten Oberflächentemperaturen der Innenfassade sehr positiv aus. Andererseits muss auf eine Ablüftungsmöglichkeit des Puffers im Sommer geachtet werden, um die am Sonnenschutz gebundenen solaren Gewinne abzuführen.
Eine Einbindung der Doppelfassade in das Lüftungskonzept (Abb. 2.3.117) beginnt als einfachste Variante mit einer Fensterlüftung in einen gezielt undichten Puffer. Ist diese Undichtigkeit fest installiert, so führen die für den Sommerfall notwendigen Lüftungsquerschnitte im Winter zu einer starken Hinterlüftung und machen die solare Vorwärmung bzw. Rückgewinnung der Transmissionsverluste größtenteils zunichte. Werden die Lüftungsspalte für den Winter optimiert, so übersteigt bei einer mechanischen Raumkühlung der erhöhte Kältebedarf die Einsparungen im Heizwärmebedarf deutlich im Vergleich zu einer Einfachfassade in Wärmeschutzglas. Bei einer Lüftung des hinter der Doppelfassade befindlichen Gebäudes in und aus der Doppelfassade ist die Zulufttemperatur im Sommer gegenüber der Außenluft merklich erhöht, was in diesem Fall zu ernsthaften Überhitzungsproblemen führen kann. Von daher werden permanente Öffnungsflächen sinnvollerweise nach dem Sommerfall ausgelegt. Die Funktion der Doppelfassade reduziert sich dadurch zum Witterungs- und Lärmschutz. Bei regelbaren Klappen ist bei einer Fensterlüftung in die Doppelfassade über einen entsprechenden Luftwechsel die Gefahr der Kondensatbildung an der äußeren Fassade zu beachten, da sich für dieses Konzept eine Anordnung mit Einfachglas außen und Isolierverglasung innen empfiehlt. Kombiniert mit einem Abluftkamin in der Fassade wird ein ähnliches System unter dem Namen Twinface (Abb. 2.3.116) von mehreren Fassadenherstellern am Markt angeboten und wurde in verschiedenen Projekten, z.B. Sanierung Telekom in Köln (Architekten: Günter Müller und Horst Schlosser, Bauabteilung der Deutschen Telekom), erfolgreich eingesetzt. Durch Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen in der Innenfassade auf verschiedenen Höhenniveaus kann eine gute Durchlüftung des Raumes sichergestellt werden.

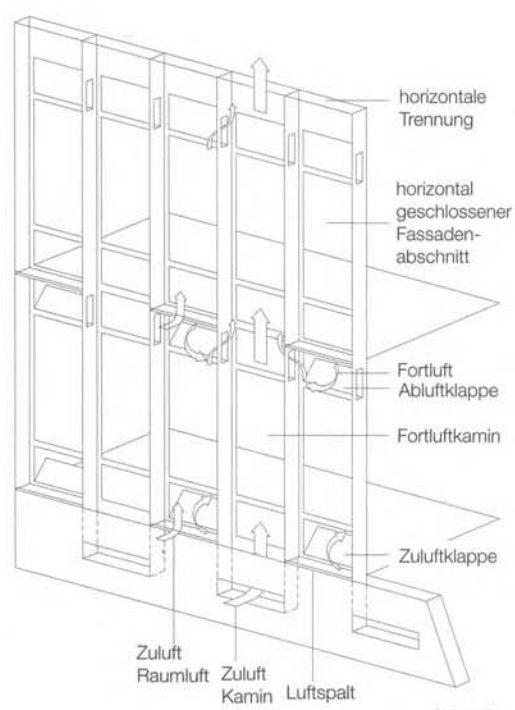
Zuluftfassade

Eine Zuluftfassade lässt sich nur in Kombination mit einer mechanischen Abluft aus der Bürozone realisieren. Damit ist es möglich, eine solare Vorwärmung sowie eine partielle Rückgewinnung der Transmissionsverluste in die Doppelfassade zu erreichen. In Verbindung mit öffenbaren Fenstern kann eine manuelle Kontrolle bzw. Beeinflussung erfolgen, um individuell auch höhere Luftwechsel zu ermöglichen. Die Einsparungen beim Heizwärmebedarf liegen in der Größenordnung von 30 % gegenüber einer Ausführung in Wärmeschutzverglasung und Außenlüftung. Dabei ist aus Komfortgründen im Raum – Oberflächentemperatur der inneren Scheibe – die Verglasung der Doppelfassade mit Einfachverglasung außen und Doppelverglasung innen auszuführen.
Eine erhöhte Hinterlüftung der äußeren Fassade spielt im Winter eine untergeordnete Rolle. Im Sommer hingegen müssen bei Beibehaltung der Lüftungsrichtung Abluftklappen in der äußeren Fassade geöffnet werden, um die Temperatur in der Doppelfassade im Bereich der Umgebungstemperatur zu halten. Dabei ist der im Fassadenzwischenraum platzierte Sonnenschutz möglichst reflektierend auszufüh-

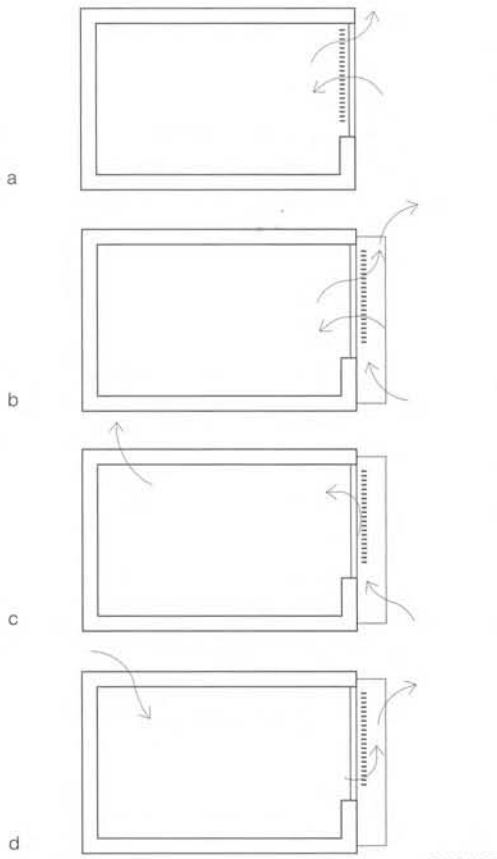


2.3.115

2.3.111 Heizwärmebedarf als Funktion der Atriumverglasung
2.3.112 Heizbedarf als Funktion der Solltemperatur im Atrium
2.3.113 Glashausanbau der Universität Neuchâtel (Schweiz)
Architekt: O. Gagnebloc
2.3.114 Gateway 2-Gebäude in London,
Architekt: Arup Associates
2.3.115 Probleme des Direkt-Gewinnsystems
a Strahlung
b Schall
c Emission
2.3.116 Konzept Twinface-Kombination aus Fensterlüftung und Lüftungskamin



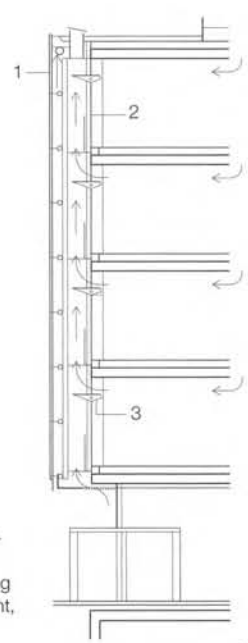
2.3.116



2.3.117

2.3.117 Einbindungsmöglichkeiten einer Doppelfassade in ein Lüftungskonzept
a Referenzfall
b Puffer, Doppelfassade zur Be- und Entlüftung
c Zuluftfassade
d Abluftfassade

2.3.118 Abluftfassade: Doppelfassadenaufbau der Volksbank Pforzheim
Architekten: Kauffmann Theilig & Partner



1 Wärmeschutzverglasung
2 Einfachverglasung
3 Überströmelement, schallgedämmt

2.3.118

ren. Wird die Hinterlüftung im Sommer nicht beachtet, so zeigen Simulationsrechnungen, die mittels Messungen an einer Testfassade überprüft wurden, dass sich der Kühlbedarf selbst im Vergleich zu einer Version mit innen liegendem Sonnenschutz nahezu verdoppelt und die Größenordnung der Einsparungen im Heizwärmebedarf erreicht. Ein weiterer Vorteil der Zuluftvariante gegenüber der Fensterlüftung ist die Möglichkeit einer mechanisch unterstützten Nachtlüftung mittels der vorhandenen Lüftungsanlage.
Die Kombination einer Zuluftfassade mit dezentralen Lüftungselementen wurde z.B. beim Bürogebäude Post-Tower in Bonn ausgeführt. Hier wird die Zuluft ausschließlich aus der Doppelfassade über gebläsebetriebene Konvektoreneinheiten im Doppelboden in den Raum transportiert, wobei zur Komfortsteigerung die Zuluft am Konvektor geheizt bzw. gekühlt wird. Temperaturabhängig geregelte Klappen in der äußeren Fassade stellen sicher, dass eine Überhitzung des Fassadenzwischenraums und somit der Bürozuluft ausgeschlossen wird. Damit konnte auf eine Zuluftversorgung verzichtet und eine hohe Einsparung bei Technik- und Schachtflächen erreicht werden.

Abluftfassade

In einer Abluftfassade kehrt sich die oben beschriebene Lüftungsrichtung um. Hierbei wird die warme Fortluft in die Doppelfassade gedrückt und somit zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste herangezogen. Wird die Verglasungsreihenfolge der Zuluftfassade beibehalten, so reduzieren sich die Einsparungen gegenüber der Referenzfassade durch den Wegfall der solaren Vorwärmung auf ca. 20 %. Um Kondensationserscheinungen an der äußeren Fassade zu vermeiden, sollte diese in Doppelverglasung ausgeführt werden, während für die innere Scheibe ohne Komfortbedenken Einfachglas verwendet werden kann. Als Abluftfenster ist diese Konzeption im kleineren Maßstab in Skandinavien und der Schweiz realisiert worden, in Deutschland wird dieses System in Kombination mit einem dezentralen Lüftungssystem in der Fensterbrüstung vertrieben. Der Nachteil der Abluftfassade ist, dass die solaren Gewinne im Fassadenzwischenraum nicht direkt wie im Zuluftsystem genutzt werden können, was in der Sommersaison jedoch zum Vorteil wird, da jetzt die Gefahr der Überhitzung durch eine aktive Ablüftung der Doppelfassade mit Raumluft erfolgt. Verglichen mit der Referenzfassade mit innen liegendem Sonnenschutz kann der Kühlbedarf in Kombination mit einer erhöhten Nachtlüftung und thermisch aktiven Gebäudemassen stark reduziert werden. Allerdings führt der hohe U-Wert der Einfachverglasung zwischen Büro und Fassadenzwischenraum zu erhöhten Scheibeninnentemperaturen und damit reduziertem Komfort im Büro.
Abb. 2.3.118 zeigt den Aufbau der Doppelfassade der Volksbank Pforzheim.

Im Vergleich mit einer mechanischen Be- und Entlüftung der Büroräume bei einer Einfachfassade mit Wärmerückgewinnung ist bei einer reinen Zu- oder Abluftfassade ohne Wärmerückgewinnung ein um ca. 15 % höherer Heizwärmebedarf zu erwarten. Bei einem Vergleich sollte jedoch auch der erhöhte Strombedarf für die Zu- und Abluftführung mit Wichtung in Primärenergie nicht vernachlässigt werden.
Eine Einbindung der Doppelfassade in ein System mit Wärmerückgewinnung bietet sich eher für die Abluftfassade an, da bei der Zuluftfassade ein Teil der zurückgewonnen Wärme über die äußere Fassadenhülle wieder verloren geht. Neben der Nutzung des Fassadenkorridors als reine Zu- oder Abluftfassade kann die Einbindung der Fassade ins Lüftungssystem auch so erfolgen, dass die Fassade im Sommer als Abluftfassade und im Winter als Zuluftfassade genutzt wird. Damit umgeht man den Nachteil der Zuluftfassade, im Sommer Frischluft mit Temperaturen über der Außenlufttemperatur in die angrenzenden Räume zu führen. Gleichzeitig werden im Winter, wenn die Frischluftzufuhr über den Fassadenzwischenraum erfolgt, solare Gewinne des Pufferraums genutzt. Dieses System wurde z.B. beim Verwaltungsgebäude »Prisma« in Frankfurt am Main eingesetzt (Architekten: Auer + Weber + Partner, Stuttgart 2001).

Reiner Witterungsschutz

Ein großes Problem bei der Kostenbetrachtung ist, dass die meisten Doppelfassaden heute aus zwei hintereinander platzierten Außenfassaden bestehen. Die reduzierten Anforderungen an die innere Fassade sind nicht spürbar und machen sich somit auch nicht im Preis bemerkbar. Manche Fassadenbauer bieten aus Standardisierungsgründen zum reduzierten Preis lieber zwei Außenfassaden an. Für die innere wettergeschützte Fassade sollten nicht nur aus Kostengründen sondern auch aus Rücksicht auf die eingesetzte graue Energie - die im Baustoff enthaltene Energie – eine einfachere Konstruktion gewählt werden, die die Vorteile, nicht Wind und Wetter ausgesetzt zu sein, voll nutzt. Die Fassade der Berufsschule in Bregenz (Abb. 2.3.119) ist hierfür eine gutes Beispiel. Die regendichten aber lüftungsoffenen Glaslamellen der äußeren Haut schützen die kostengünstige Holzkonstruktion der inneren Fassade.

Einbindung in die mechanische Lüftung

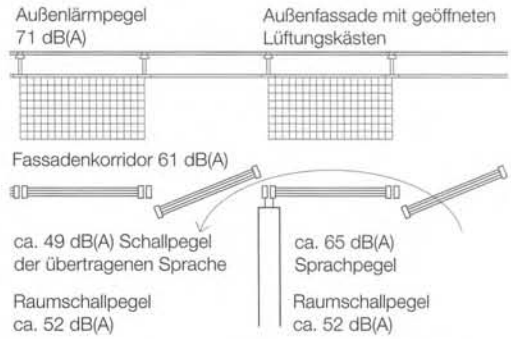
Bindet man die Doppelfassade als Luftführungselement in ein mechanisches Lüftungssystem ein, so lassen sich Zu- und/oder Abluftführungen im Gebäude einsparen. Ein Beispiel dafür ist die Sanierung des Martini-Towers in Brüssel durch Kohn Pedersen Fox, London in Zusammenarbeit mit Battle McCarthy. Hier konnten durch Verlagerung der Zu- und Abluftführung in die Doppelfassade, bedingt durch die geringe lichte Raumhöhe, ca. 30 % mehr Mietfläche gewonnen werden. Bei diesem Beispiel wird der über 30 Geschosse

geplante,offene Fassadenraum zur Abluftführung genutzt, während die Zuluft über Zuluftrohre im Fassadenraum geführt wird.

Mehrgeschossig oder eingeschossig?
Für mehrgeschossige Doppelfassadenlösungen ist die Akkumulation von Strahlungs- und Lüftungsgewinnen über die zunehmende Fassadenhöhe zu berücksichtigen. Die aufgeführten Beispiele zeigen mehrgeschossig offene Doppelfassadenlösungen, im Gegensatz dazu stehen die Fassadenlösungen der Projekte Stadttor Düsseldorf (Abb. 2.3.120), Hochhaus einer Konzernverwaltung in Essen (siehe Beispiel 27, S. 290ff.) und auch der Commerzbank Hauptverwaltung in Frankfurt (Architekt: Norman Foster & Partners). Diesen drei Projekten mit geschossweise und partiell auch vertikal achsweise abgeschotteten Doppelfassaden liegen ähnliche Nutzungskonzepte der Doppelfassade zugrunde: Während eines Großteils der Nutzungszeit sollen über Fensterlüftung die dahinter befindlichen Büroräume versorgt werden. Zusätzlich sind die Gebäude mit einer mechanischen Raumbe- und -entlüftung und Kühldecken ausgestattet. Durch die geschossweise Trennung soll den Problemen der Schallübertragung und des Brandschutzes begegnet werden. Die Schallausbreitung in der Doppelfassade des Düsseldorfer Stadttores zeigt Abb. 2.3.121.
Reinigungsprobleme sollten bei der Planung von Doppelfassadenkonzepten beachtet werden, da statt zwei nun vier Glasebenen zu reinigen sind und eine Zugänglichkeit erfordern. Dies führt zu einem Fassadenkorridor mit einem Mindestabstand der beiden Fassaden von 40 bis 50 cm als freie Tiefe, was den Mindestwert aus thermisch-lüftungstechnischen Aspekten von 30 cm übersteigt.

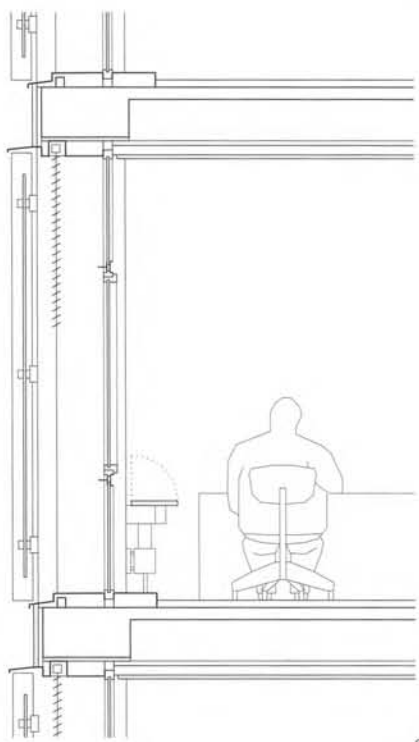
Doppelfassadenkonzept bei der Fassadensanierung
In der Gebäudesanierung bieten sich Doppelfassadenkonzepte verstärkt an, da sich so mehrere Probleme lösen lassen. Eine vorgesetzte Glashaut kann den Witterungsschutz der Innenfassade übernehmen und deren bauphysikalische Probleme lösen. Gleichzeitig erlaubt der erzielte Schallschutz zwischen Pufferraum und Außenbereich – 30 db(A) bei geschlossener und 10–15 db(A) bei spaltgeöffneter Außenverglasung – eine Fensterlüftung und eine Nachtlüftung, ohne dass Sicherheitsbelange verletzt werden. Ein Beispiel ist das Zeppelin-Carré in Stuttgart, wo die Architekten Auer, Weber & Partner und Michel & Wolf diese Konzeption in Form von geschosshohen Kastenfenstern realisiert haben (Abb. 2.3.122 und 2.3.123).

Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum (SZR)
Soll eine Doppelfassade lediglich den Witterungsschutz für den außen liegenden Sonnenschutz garantieren, so sind bewegliche Lamellen im SZR eine gute Alternative. Diese können entweder in eine Zweifach- oder eine Dreifachverglasung integriert werden, wobei die Dreifachverglasung neben dem besseren U-Wert (0,7 W/m²K statt 1,2 W/m²K bei Argonfüllung und marktüblicher Beschichtungstechnologie) auch geringere g-Werte aufweist. Für optimierte Lamellenkonfigurationen (außen hochreflektierend, innen grau zur Blendungsbegrenzung) lassen sich Gesamt-g-Werte von bis zu 0,06 bei geschlossenen Lamellen erreichen. Dieses System wurde z.B. in der Hauptverwaltung Gelsenwasser in Gelsenkirchen eingesetzt (Abb. 2.3.127, Architekten: Anin, Jeromin, Fitilidis & Partner, Düsseldorf).

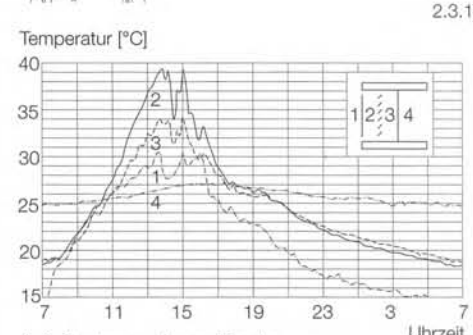


Bewertung: Schallschutz gegen Nachbarn bei normaler Vertraulichkeit ausreichend; Sprache hörbar, jedoch nicht zu verstehen (DS-Plan)

2.3.121



2.3.122



1 Außentemperatur am Fenster
2 Temperatur zwischen Außenscheibe und Sonnenschutz
3 Temperatur zwischen Sonnenschutz und Innenscheibe
4 Raumtemperatur

2.3.123

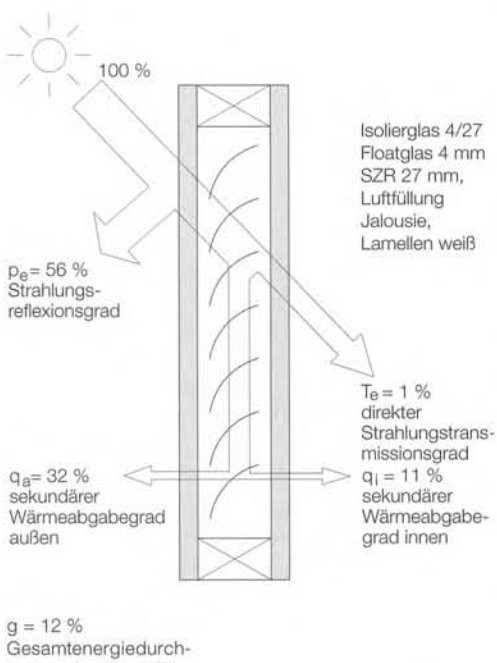
2.3.119

2.3.120

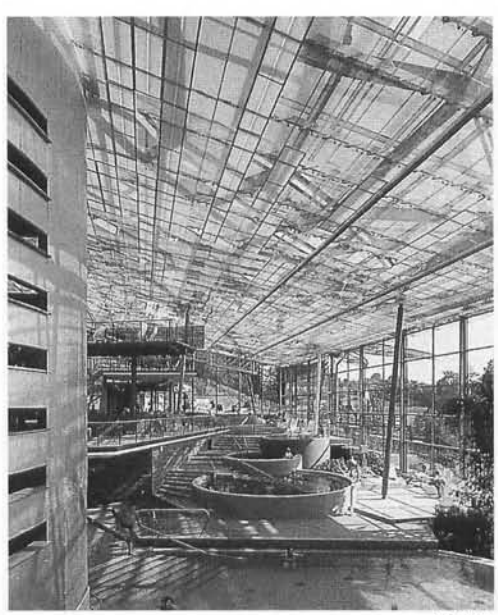
2.3.119 Berufsschule Bregenz, Österreich
Architekten: Baumschlager & Eberle
2.3.120 Düsseldorfer Stadttor
Architekten: Petzinka, Pink & Partner
2.3.121 Schallausbreitung in Doppelfassaden, Düsseldorfer Stadttor
2.3.122 Fassadenaufbau Zeppelin-Carré in Stuttgart
Architekten: Auer, Weber & Partner
2.3.123 gemessene Temperaturen im Kastenfenster des Zeppelin-Carrés

Zweischalige Glasdächer
Die Problematik von hohen Glasfassaden durch abfallende Kaltluft bei Wärmedurchgangskoeffizienten über 1,4 W/m²K, die an Glasfassaden zu den scheinbar unvermeidlichen Rippenrohren führt, verschärft sich unter Glasdächern insofern, als sich hier, bedingt durch Adhäsion, Kaltluftblasen unter dem Dach bilden. Da die kalte Luft jedoch schwerer ist als die warme, überwiegt irgendwann die Schwerkraft, und eine große Kaltluftblase löst sich und fällt als spürbare Luftbewegung herunter. Danach beginnt der Vorgang von vorne. Zusätzlich führt besonders in Räumen mit hohem Verglasungsanteil die verringerte Oberflächentemperatur der Glasflächen zu einer als reduziert empfundenen Temperatur im Raum, so dass derselbe Komfort nur über eine erhöhte Innentemperatur zu erzielen ist. Daher sind Glashäuser am besten als un- oder schwach beheizte Pufferräume zu nutzen, die mit guter Verglasung ausgestattet, fast 80 % des Jahres Temperaturen im Komfortbereich aufweisen.
Soll ein Glashaus trotzdem beheizt werden, so muss aus Rücksicht auf den Heizwärmebedarf eine thermische Verbesserung besonders der Dachverglasung erfolgen. Dies steht scheinbar im Widerspruch mit der Anforderung an eine hohe Transparenz. In Anlehnung an das Prinzip der Doppelfassade bietet sich auch hier eine Doppelschaligkeit an, die als stehende Luftschicht je nach Verglasungsart eine Verbesserung von 25 bis 50 % bei den Wärmeverlusten bewirken kann. Allerdings ist bei doppelschaligen Glasdächern die Reinigungsmöglichkeit zu beachten, die meist zu einer fixen Doppelverglasung außen und einer beweglichen Einfachverglasung innen führt.
Eine weitere Anforderung leitet sich aus dem sommerlichen Überhitzungsschutz ab, der eine Verschattung von horizontalen und leicht geneigten Glasflächen erfordert. Außen liegender Sonnenschutz ist thermisch wirksamer, muss aber witterungsfest sein und ist, wenn nicht als fest stehende Version ausgeführt, sehr wartungsbedürftig. So bietet sich eine Kombination der Verschattungsfunktion mit der Forderung nach Doppelschaligkeit an. Mit der Beweglichkeit der inneren Glasebene, beispielsweise in Form von drehbaren Glaslamellen, können beide Anforderungen verbunden werden. Bei Verschattungsbedarf oder Komforteinbußen im Winter kann die innere Ebene verschlossen werden. Da bei Sonnenschein auch im Winter kein Kaltluftabfall zu erwarten ist und sich das Glas bei Besonnung aufwärmt, können die Glaslamellen geöffnet und die solaren Gewinne direkt dem Raum zugeführt werden. Die Verschattungswirkung wird unter Beibehaltung der Transparenz über eine Bedruckung der Glaslamellen erreicht.

Die Eingangshalle der Industrie- und Handelskammer in Stuttgart (siehe Beispiel 28, S. 296f.) zeigt dieses Konzept für das annähernd waagrechte Glasdach. Dabei führt eine aus thermischen Gründen gewählte Bedruckung der Lamellen mit schwarz und zusätzlich weißer Farbe dazu, dass die bedruckten Bereiche wie erwartet gut verschatten und über die weiße Deckschicht gut reflektieren. Gleichzeitig wirkt der Bedruckungsgrad von 75 % von unten betrachtet nicht geschlossen, sondern das Auge ergänzt das Bild gegen das schwarze Muster problemlos, die Transparenz bleibt erhalten. Eine geplante Nutzung der solaren Gewinne im Pufferraum bei Verschattung in der Übergangszeit – die Halle hat dann 23 °C Raumlufttemperatur überschritten – wurde letztlich nicht realisiert. Im Sommer mit hoch stehender Sonne sind die Lamellen geschlossen. Der Warmluftstau im Pufferraum wird dann über photovoltaisch betriebene Lüfter mechanisch abgelüftet, die durch das Photovoltaik(PV)-



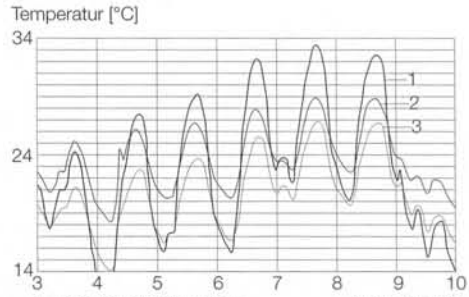
2.3.124


2.3.125

2.3.126

Modul in der Dachebene gerade für hoch stehende Sonne ein großes Potenzial besitzen. So lassen sich die Temperaturen im Glashaus auf Werte unter der Umgebungstemperatur beschränken, gestützt über eine Zuluftkühlung im Erdreich. Abb. 2.3.129 zeigt das Simulationsergebnis aus TRNSYS, einem Computerprogramm zur dynamischen Gebäudesimulation, mit dem die Konzeptauslegung erfolgte. Die Raumtemperatur bleibt wie gewünscht unter der Umgebungstemperatur und erreicht bei äußeren Maximaltemperaturen von 31 °C gerade die 28 °C Grenze, was die Funktion des Klimakonzeptes des Raums belegt. Dabei wurden gemessene Wetterdaten zugrunde gelegt.
Für Glashallen mit einem innen liegenden Sonnenschutz kann die Ablüftung des Warmluftpolsters direkt unter dem Dach auch thermisch unterstützt erfolgen, wenn eine entsprechende Überhöhung des Glasdachs zum Restgebäude beachtet wird und dort Lüftungsöffnungen vorgesehen sind.
Abb. 2.3.125 zeigt das überhöhte zweischalige Glasdach des Thermalbades Bad Colberg (Architekten: Kauffmann Theilig & Partner).

Solarkamin
Eine besondere Form des Glashauses oder Direkt-Gewinnsystems stellt der Solarkamin dar. Hier wird im Gegensatz zur hinterlüfteten Solarwand nicht Wärme für den Raum gewonnen, sondern mittels der eingefangenen Solarwärme die Fortluft überhitzt und so ein zusätzlicher Kamineffekt erzielt. Sinn dieser Konzeption ist es, natürliche Fortluftsysteme auch im Sommer bei niedrigen oder negativen Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen in Betrieb zu halten. Ein Beipiel dieser Konzeption ist die Eingangshalle der LVA Schleswig-Holstein in Lübeck (Abb. 2.3.126). Die siebengeschossige Glashalle mit einer großzügigen geneigten Verglasung nach Süden wird durch einen 15 m hohen Solarkamin bei großer Einstrahlung mittels der solar überhitzten Fortluft verstärkt durchlüftet. Hierzu ist der Glaskamin mit Absorberflächen ausgestattet, die die Fortluft stark überhitzen.
Ein weiteres Beispiel für einen Solarkamin stellt das Bürogebäude Debitel in Stuttgart-Vaihingen dar (Abb. 2.3.128). Hier wird die gesamte Abluft über den Solarkamin natürlich aus den Büros abtransportiert und somit ein Großteil des Strombedarfs für den Lufttransport der Anlage eingespart.



1 Umgebungstemperatur
2 Hallentemperatur
3 Temperatur Erdkanal

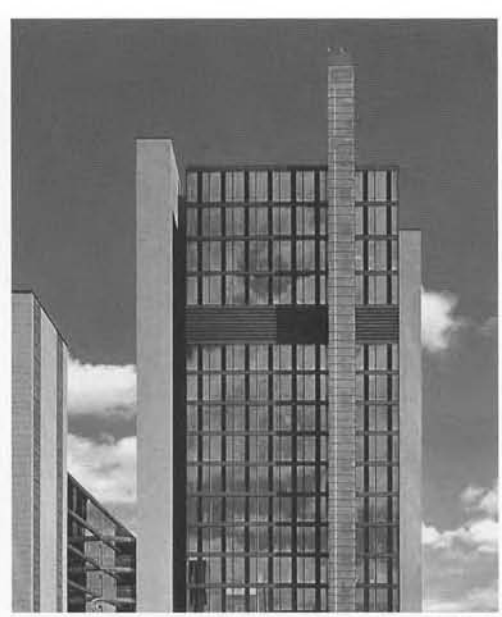
2.3.129

Aktive Nutzung

Im Gegensatz zur passiven Nutzung werden bei der aktiven Nutzung Hilfsantriebe verwendet und Wärmeträgermedien eingesetzt, um die aus der Sonne gewonnene Energie zu transportieren und zu speichern.

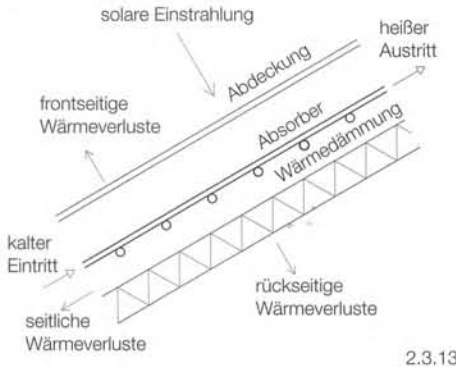
Sonnenkollektor
Ein Sonnenkollektor nutzt dieselben Effekte wie ein Direkt-Gewinnsystem indem er die kurzwellige Solarstrahlung in Wärmestrahlung umwandelt, nur dass der Kollektorraum nicht zur Nutzung zur Verfügung steht, sondern ein Wärmetauscher die Energie aufnimmt und möglichst viel der auftreffenden Strahlung als Wärme über Luft oder Wasser abführt (Abb. 2.3.130). Ein Sonnenkollektor hat die Aufgabe, Solarstrahlung zu sammeln und die absorbierte Energie mit minimalen Verlusten an ein Transportmedium wie Wasser oder Luft weiterzugeben. Daher wird ein Kollektor über sein Vermögen, Solarstrahlung zu absorbieren, und die Größe seiner Wärmeverluste beschrieben. Diese photothermische Nutzung zur Erzeugung von Wärme über Sonnenkollektoren unterscheidet sich grundsätzlich von der photovoltaischen Nutzung zur Erzeugung von Strom aus der Solarstrahlung durch Solarzellen.

2.3.127



2.3.128

2.3.124 Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum (SZR)
2.3.125 Thermalbad Bad Colberg,
Architekten: Kauffmann Theilig & Partner
2.3.126 Eingangshalle der LVA Schleswig-Holstein in Lübeck
Architekten: Behnisch und Partner
2.3.127 Hauptverwaltung Gelsenwasser in Gelsenkirchen
Architekten: Anin, Jeromin, Fitilidis & Partner, Düsseldorf
2.3.128 Bürogebäude Debitel in Stuttgart-Vaihingen
Architekten: RKW Architektur + Städtebau, Düsseldorf
2.3.129 Temperaturverlauf im Sommer in der Eingangshalle der IHK Stuttgart

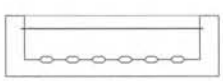


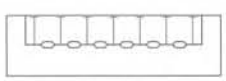
2.3.130

	1	1155	1155	1155	1155	1155
	2	1368	1368	1368	1368	1368
	3	1360	1360	1360	1360	1360
	1	1072	1199	1250	1199	1072
	2	1270	1475	1560	1475	1270
	3	1260	1476	1562	1474	1260
	1	987	1149	1213	1149	987
	2	1170	1430	1545	1430	1170
	3	1160	1435	1550	1435	1160
	1	885	1055	1122	1055	885
	2	1050	1334	1456	1334	1050
	3	1040	1336	1462	1336	1040
	1	650	771	808	771	650
	2	773	995	1088	995	773
	3	763	995	1090	995	763

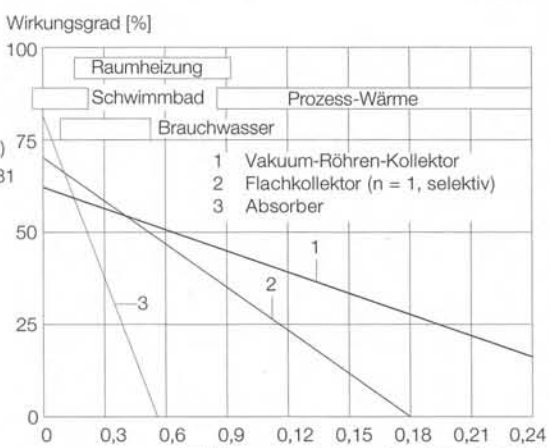
1 440 m; Nordseite der Alpen, 47° 30'
2 1560 m; Alpen, 46° 50'
3 210 m; Südseite der Alpen, 46° 10'

2.3.134



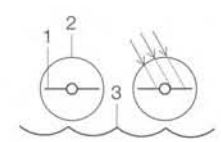


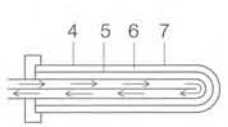
2.3.131



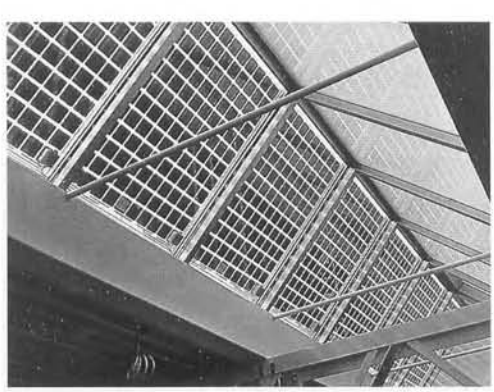
2.3.135

1 Absorber
2 Glasrohr
3 Reflektor
4 transparente Oberfläche
5 selektive Oberfläche
6 Vakuum
7 evakuiertes doppelwandiges Glasrohr



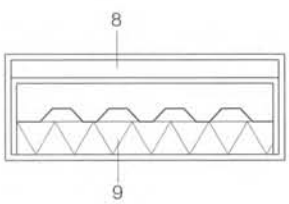


2.3.132



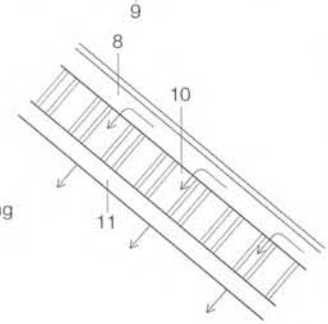
2.3.136

Zwei-Pass-Typ (Satcunanthan)



Ausführung mit porösem Bett und Glaszellen zur Unterdrückung der Konvektion

8 Luftkanäle
9 Wärmedämmung
10 Glaszellen
11 poröses Bett



2.3.133

System	Nutzung	Betriebszeit	Ertrag
Wasserkollektor	Warmwasserbereitung	ganzjährig	300–450 kW/m²a
Wasserkollektor	Heizungsunterstützung	Heizperiode	80–120 kW/m²a
Luftkollektor	Luftvorwärmung im Schwimmbad	ganzjährig	400–700 kW/m²a
Luftkollektor	Frischluftvorwärmung Bürogebäude	Heizperiode	40–100 kW/m²a

2.3.137

Die optischen Eigenschaften der Kollektorabdeckung – meist Glas – und der Absorberoberfläche bestimmen die Absorption des Kollektors von Solarstrahlung. Eine Kollektorkonstruktion, die die Abdeckung auf niedriger Temperatur hält, reduziert die frontseitigen Wärmeverluste. Dies lässt sich über eine Reduzierung des Wärmetransports zwischen Absorber und Abdeckung erreichen. Die Verwendung eines selektiven Absorbers reduziert den Strahlungsanteil dieses Wärmetransporters vom Absorber zur ersten Abdeckungsschicht. Diese Oberflächenbehandlung hat ein hohes Absorptionsvermögen von 90 % im Spektrum der Solarstrahlung und ein niedriges Emissionsvermögen von 15 % im Spektrum der langwelligen Wärmestrahlung zur Folge. Damit wird die Solarstrahlung gut eingefangen und die Strahlungsverluste des nun warmen Absorbers minimiert. Eine Abdeckung mit einer infrarot-reflektierenden Beschichtung nach innen bewirkt Ähnliches und reduziert die Transmissionsverluste um ca. 15 %.

Wasserkollektoren

Abb. 2.3.131 zeigt verschiedene Konzepte für wassergekühlte Kollektoren. Ohne Abdeckung und ohne rückseitige Wärmedämmung werden sie als Absorber bezeichnet und häufig zur Schwimmbadbeheizung verwendet sowie als Wärmetauscher zur Umgebung und als Wärmequelle für Wärmepumpen.

Diese Absorber sind aus Metall oder Kunststoff gefertigt und müssen resistent gegenüber UV-Strahlung sein. In einem Flachkollektor ist dieser Absorber mit einer transparenten Abdeckung auf der Frontseite und einer nicht transparenten (opaken) Wärmedämmung auf allen anderen Seiten versehen, quasi als ein kleines Glashaus. Die Vakuum-Kollektoren reduzieren die frontseitigen Verluste zwischen Absorber und Abdeckung durch eine Konvektionsunterdrückung über ein Vakuum. Für Flachkollektoren mit reduziertem Innendruck muss trotz niedrigem Vakuum die Abdeckung als Gegenmaßnahme zum Umgebungsdruck mit Distanzhaltern unterstützt werden.

In Vakuum-Röhren-Kollektoren (ETC-evacuated tube collectors; Abb. 2.3.132) wird ein Hochvakuum verwendet, um noch zusätzlich die Verluste durch Wärmeleitung über die Luftmoleküle zu unterdrücken. Einige dieser Röhrenkollektoren nutzen das Wärmerohr-Prinzip, um die Wärme vom Absorber über den Kondensator an das Wasser abzugeben. Die thermische Wärmeleitfähigkeit eines solchen Wärmerohres ist zehnmal höher als die eines massiven Kupferrohres gleicher Dimension.

Der Wärmetransport geschieht über die Verdampfung von Wasser oder eines Kältemittels in der Absorberzone und über die Kondensation am Kopf des Wärmerohres, welches außerhalb des Glasrohres frei im Transportmedium steht. Dies erlaubt es, die Konstruktion auf einen kritischen Durchstoßpunkt zu reduzieren.

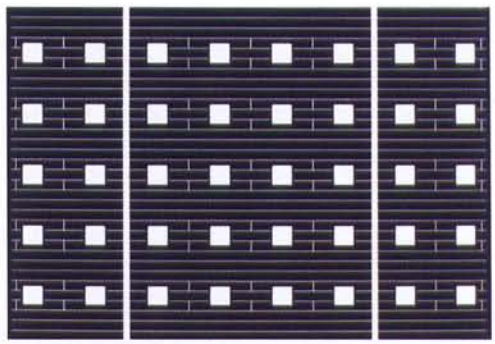
Luftkollektoren
Luftkollektoren haben keine Korrosions- und Frostschutzprobleme und stellen geringere Anforderungen gegenüber Leckage.
Abb. 2.3.133 zeigt verschiedene Konzepte, die alle den Nachteil einer schlechten Wärmeübertragung zwischen dem Absorber und dem Transportmedium Luft über eine Vergrößerung der Wärmeaustauschfläche auszugleichen versuchen. Andererseits sollte der Kontakt der aufgewärmten Luft mit der Abdeckung vermieden werden. Luftkollektoren zur Frischluftvorwärmung oder Umlufterwärmung können leicht in raumlufttechnische Anlagen (RLT) integriert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei luftgekühlten Sonnenkollektoren auch mit optimiertem Druckabfall im System bis zu viermal mehr Energie für die Ventilatoren verbraucht wird, als für die Pumpen bei wassergekühlten Kollektoren benötigt wird.
Die Entscheidung, welcher Kollektortyp eingesetzt werden soll, hängt sehr stark vom Prozess oder Temperaturbereich ab, in dem die Kollektorgewinne genutzt werden. Abb. 2.3.135 zeigt die verschiedenen Kollektortypen mit ihrem Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und ihren Hauptanwendungsbereichen. Abb. 2.3.137 führt den Wärmeertrag von Kollektoren in ihren Anwendungen auf.

Photovoltaik- oder Solarzellen
Solarzellen wandeln im Gegensatz zum Sonnenkollektor die Solarstrahlung nicht in Wärme, sondern direkt in Strom um. Hierbei wird die Energie der Sonne dazu verwendet Elektronen aus einem Halbleiterverband zu lösen und mittels angelegter metallischer Verbindungen abzuleiten. Für diese Halbleiter wird vorwiegend Silizium verwendet, neben Sauerstoff das häufigste Element auf der Erde. Zum Schutz der hauchdünnen Siliziumplättchen werden diese üblicherweise auf eine Glasscheibe geklebt. Man unterscheidet in Anlehnung an das verwendete Ausgangsmaterial amorphes, kristallines und polykristallines Silizium und entsprechende Solarzellen. Eine Solarzelle der Abmessungen 10 × 10 cm leistet ca. 1,5 Watt bei voller Einstrahlung und einer Spannung von 0,5 Volt.
Der Ertrag einer Solarzelle ist von der Art der Zelle abhängig, von der Neigung und Orientierung der Photovoltaikfläche zur Sonne und zudem vom geografischen Standort (Abb.2.3.134). Während monokristalline Solarzellen im Bereich von 12–16 % Wirkungsgrad liegen, erreichen die polykristallinen noch 9-12 %, die amorphen Siliziummodule sinken auf 3-6 % ab.
Da der Wirkungsgrad der Solarzelle mit steigender Temperatur abnimmt, sollte immer für eine gute Be- oder Hinterlüftung der Photovoltaikmodule gesorgt werden. Die Einzelzellen lassen sich auch mit Abstand in eine Verbundverglasung integrieren und dienen so als feste Verschattung mit Energieversorgungseffekt. Abb. 2.3.136 zeigt PV-Module als fest stehenden Sonnenschutz in einem nach Süden gerichteten Dachoberlicht.

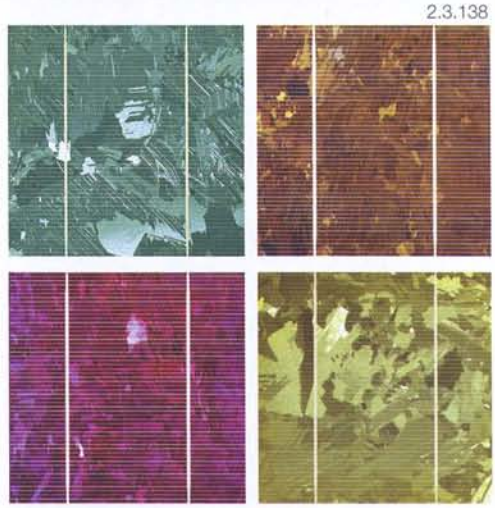
Dünnschicht-Solarzellen
Eine neuere Entwicklung im Bereich der Solarzellen stellt das Dünnschicht-Verfahren dar, bei dem Silizium direkt auf eine Glasplatte aufgedampft wird. Durch Zufall wurde beim führenden Entwickler »Zentrum für Solartechnik und Wasserstoff (ZSW) Stuttgart« entdeckt, dass mit normalen Floatglasscheiben bessere Zellenwirkungsgrade erreicht werden als mit den anfänglich benutzten hochwertigen Quarzglasscheiben.

Farbige und transparente Solarzellen
Auf den Bedarf des Marktes nach gestalterisch interessanteren Photovoltaikmodulen für den Einsatz in sichtbaren Fassaden haben die Hersteller mit neuen Produktentwicklungen reagiert. Es gibt beispielsweise farbige multikristalline PV-Module (Abb. 2.3.239), die einen Wirkungsgrad von 11 bis 14 % besitzen. Teiltransparente Solarzellen (Abb. 2.3.138) können mit unterschiedlichem Lochanteil hergestellt werden, wobei die Stromausbeute mit steigender Transparenz sinkt. Für einen 10 %igen Lochanteil ergibt sich ein Wirkungsgrad von 13,8 %.

Organische Solarzellen
Entsprechend des Konzepts der Solarzellen aus Halbleitern werden bei organischen Solarzellen unter Lichteinstrahlung Elektronen aus einer Komponente der Zelle herausgelöst, die dann von einer anderen Komponente aufgenommen werden. Die Ladungsträger werden anschließend als Fotostrom zur jeweiligen Elektrode abgeführt. Die organischen Schichten werden dabei im Hochvakuum auf ein Trägermedium aufgedampft. Als Materialien eignen sich z.B Zn-Phthalocyanin und C60. Organische Zellen bezeichnet man auch als DSC-Zellen bzw. Graetzel-Zellen (Abb. 2.3.140).



2.3.138



2.3.139

2.3.140

2.3.130 schematischer Aufbau eines Sonnenkollektors
2.3.131 schematischer Aufbau eines Wasserkollektors
2.3.132 schematischer Aufbau eines Vakuum-Röhren-Kollektors
2.3.133 schematischer Aufbau von Luftkollektoren
2.3.134 solare Einstrahlung an verschiedenen Standorten, Höhen und Ausrichtungen [kWh/m²a]
2.3.135 verschiedene Kollektortypen für unterschiedliche Prozesse
2.3.136 PV-Module im Dachoberlicht nach Süden als fest stehender Sonnenschutz
2.3.137 Energieerträge von Kollektorsystemen
2.3.138 teiltransparente Photovoltaikzelle
2.3.139 farbige multikristalline Photovoltaikzellen
2.3.140 flexible DSC-Photovoltaikzelle

Teil 3 Konstruktionen im Detail

Vorbemerkung 162

3.1 Lagerungsarten von Glas

Glashalteleiste
Profil mit Dicht- und Haltefunktion 163
Pressleiste 164
Structural Sealant Glazing (SSG) 166
Klemmhalter 168
Klemmverbindung 169
Lochlaibungsverbindung 169
Punkthalter ohne Durchdringung der Glasscheibe 170
Punkthalter in Bohrloch 171
Fuge bei freier Kante 172
Eckausbildung Isolierglas 173
Profilbauglas 174
Glassteinmauerwerk / Glassteindecke 175

3.2 Öffnungen

Fenster in massiver Wand 176
Lamellen
Dachflächenfenster 180
Oberlichtverglasung
Lamellen
Öffnung in Pressleistenverglasung 181
und Structural-Sealant-Glazing-Fassade
182

3.3 Architekturdetails

Flachdachanschluss 184
Deckenanschluss 186
Brüstung 188
Fassade mit Vor- oder Rücksprüngen 190
Deckenanschluss 192
Fußpunkt / niveaugleicher Übergang zwischen innen und außen 194
Sockel 196
Glasdachkonstruktionen 198

Abb. 3 Neue Messe Leipzig, 1996, von Gerkan Marg & Partner (gmp)

Vorbemerkung

Der nachfolgendeBeitrag »Konstruktionen im Detail« zeigt die vielfältigen Lagerungsmöglichkeiten von Glas (Kapitel 3.1) und unterschiedliche Beispiele von Öffnungselementen (Kapitel 3.2).
Im Abschnitt 3.3 sind wesentliche Details von Glasfassaden im baulichen Zusammenhang vom Dach bis zum Sockel am Beispiel einer Pfosten-Riegel-Fassade dargestellt. Der besseren Anschaulichkeit wegen liegt allen Details in diesem Kapitel das gleiche Aluminium-Pressleistensystem zugrunde. Auf dem Markt ist eine große Vielzahl von Profilen erhältlich, die nicht nur in gestalterischer und statischer Hinsicht unterschiedliche Möglichkeiten bietet, sondern teilweise auch unterschiedliche Lösungsansätze für konstruktive Anschlüsse eröffnet, z.B. der Dampfsperre an die Deckenstirn.
Alle hier gezeigten Lösungen bauen auf unterschiedlichen konstruktiven wie gestalterischen Vorstellungen auf. Im Vordergrund stehen grundsätzliche Zusammenhänge und nicht die Vielfalt unterschiedlicher Ansätze. Alle Konstruktionen im Abschnitt 3.3 beziehen sich nicht auf konkrete Bauaufgaben, sondern sollen zusammen mit den erläuternden Texten auf Problempunkte aufmerksam machen und Lösungsansätze aufzeigen. Dabei handelt es sich nicht um allgemein gültige Lösungen, vielmehr sollte jede Lösung an die individuellen Gegebenheiten (Ort, Klima, Konstruktion, Normen, etc.) angepasst werden.
Die Außenhaut umschließt das Gebäude wie eine Hülle. Sie steht so im Zusammenhang mit vielen anderen Gewerken. Eine genaue Koordination in konstruktiver wie terminlicher Hinsicht ist unbedingt erforderlich. An der Fassade treffen der relativ grobe Rohbau, der Innenausbau, der Sonnenschutz und der präzise Glas- und Metallbau aufeinander. Die zulässigen Bedingungen und Toleranzen dieser verschiedenen Gewerke müssen frühzeitig koordiniert und bei den Anschlüssen berücksichtigt werden.
Grundsätzlich sollte man für Entwurf und Ausführungsplanung derartig komplexer Fassaden Fachleute für Fassadentechnik, Bauphysik, Klima, Tragwerksplanung usw. einbeziehen.
Eine Fassade kann aufgestellt oder – wie die klassische Vorhangfassade – an den Geschossdecken vorgehängt werden. In jedem Fall ist es wichtig, dass bei den Verankerungspunkten dafür gesorgt wird, dass Bewegungen aus der Baukonstruktion – Verformungen aus Eigenlasten, Verkehrslasten und Schwinden etc. – oder anderen Bauteilen, aber auch Temperaturdehnungen der Metallkonstruktion zwängungsfrei aufgenommen werden können. Die Fassade muss am Befestigungspunkt in drei Richtungen justierbar angebracht werden können.
Verbindungen und Anschlüsse sind so auszuführen, dass sie von innen dauerhaft diffusions- und luftdicht bleiben.
Zwischen Stahl- und Aluminiumbauteilen muss eine Trennlage eingebracht werden, um Kontaktkorrosion zu vermeiden. Notwendige Dämmstärken sind individuell, den gültigen Regelwerken (z.B. EnEV) entsprechend auszuführen.

Der Baustoff Glas weist eine Vielzahl besonderer Eigenschaften auf. Diese können nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn das Glas und seine Unterkonstruktion aufeinander abgestimmt sind. Das bedeutet, dass Kräfte, die aus der Konstruktion in das Glas geleitet werden, bei der Berechnung zu berücksichtigen sind. So können beispielsweise Temperaturbelastungen zu Bewegungen führen, die erkannt und beachtet werden müssen. Grundsätzlich sind Anschlüsse derart auszubilden, dass eine Lastübertragung aus der Unterkonstruktion in die Glasfassade ausgeschlossen werden kann. Entscheidend ist auch die Dauerhaftigkeit der verwendeten Materialien und ihre Verträglichkeit untereinander. Mehr denn je werden heute organische Baustoffe verwendet, die miteinander reagieren und sich beeinflussen. Große Sorgfalt ist bei der Auswahl der Produkte erforderlich und gegebenenfalls müssen die jeweiligen Hersteller hinsichtlich der Verträglichkeit befragt werden. Dies gilt besonders für Versiegelungsmaterialien, die auf dem Bau eingesetzt werden.

Die Abbildungen auf den folgenden Seiten sollen grundsätzliche architektonische Lösungsansätze illustrieren und entsprechen deshalb nicht immer den gezeigten Konstruktionen.

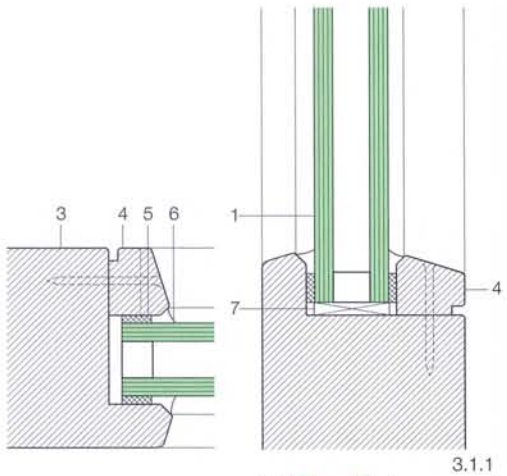
Für kreative Anregungen und Unterstützung zum Beitrag »Konstruktionen im Detail« sind die Autoren und der Herausgeber zahlreichen Kollegen und Beratern zu Dank verpflichtet. Sie sind auf Seite 352 ebenso genannt wie die vielen Firmen, die freundlicherweise Material für den Beitrag zur Verfügung gestellt haben.

3.1 Lagerungsarten von Glas

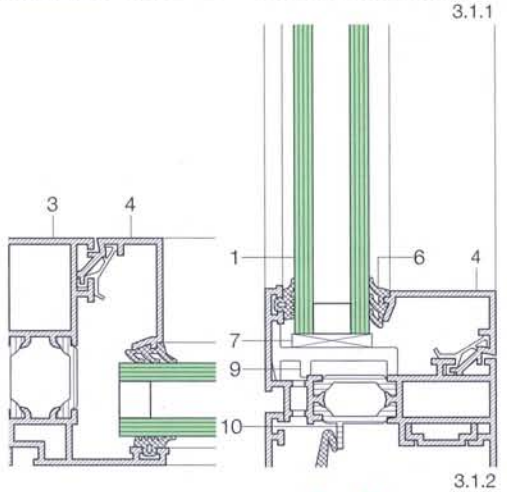
Glashalteleiste
Profil mit Dicht- und Haltefunktion
Lineare Lagerung

3.1.1 Holz
3.1.2 Aluminium
3.1.3 Stahl
3.1.4 Kunststoff
3.1.5 Holz-Aluminium
3.1.6–3.1.8 EPDM-/APTK-Profile

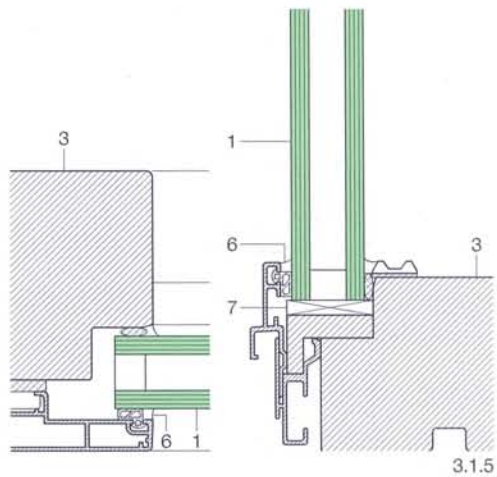
Horizontal- und Vertikalschnitte
Maßstab 1:2,5



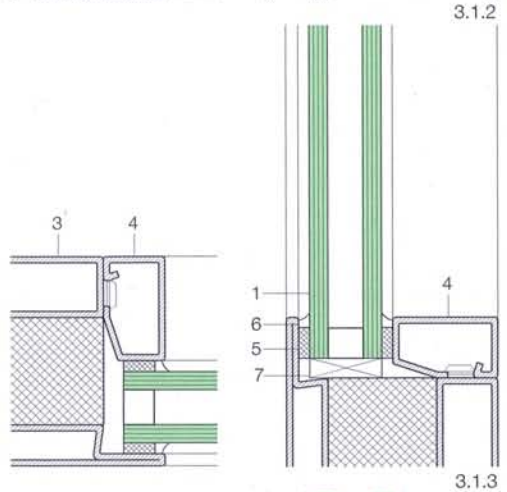
3.1.1



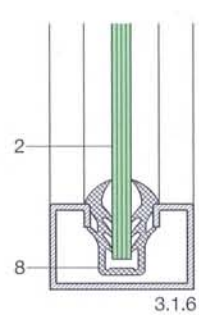
3.1.2



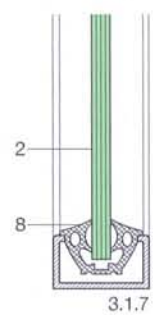
3.1.5



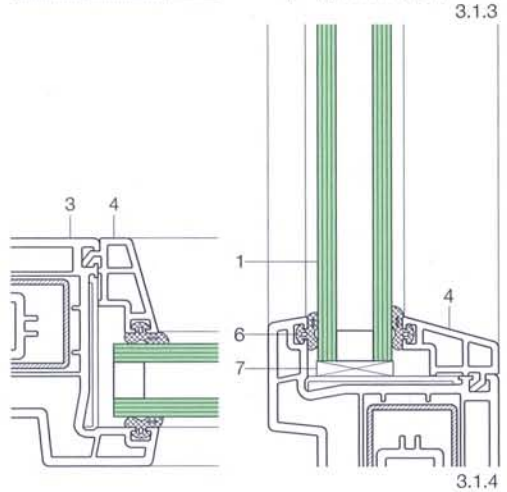
3.1.3



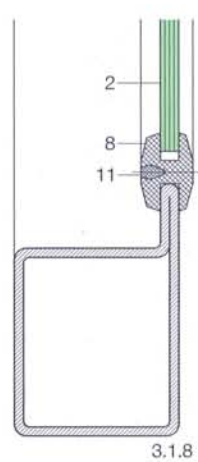
3.1.6



3.1.7



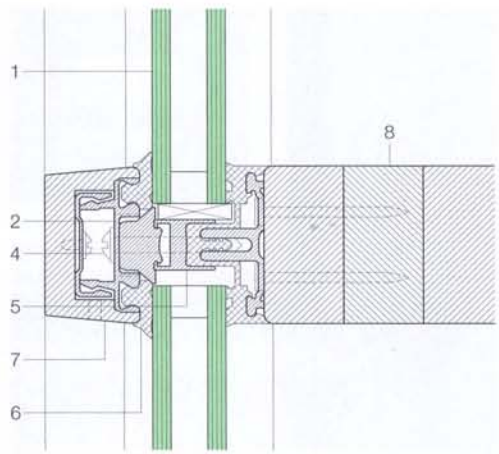
3.1.4

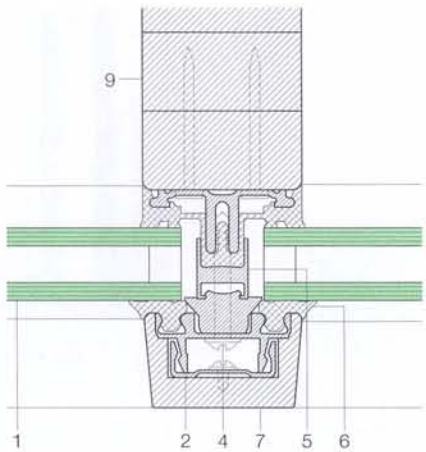


3.1.8

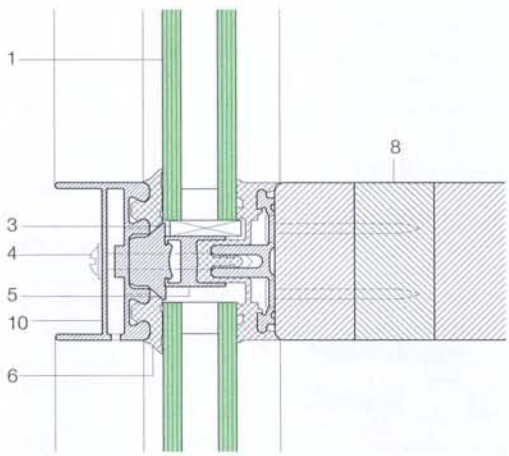
1 Isolierglas
2 Einfachglas
3 Fensterrahmen
4 Glashalteleiste
5 Vorlegeband
6 Dichtung
7 Verklotzung
8 Glashalte- und Dichtprofil
9 Klotzbrücken
10 thermische Trennung
11 Einsteckprofil

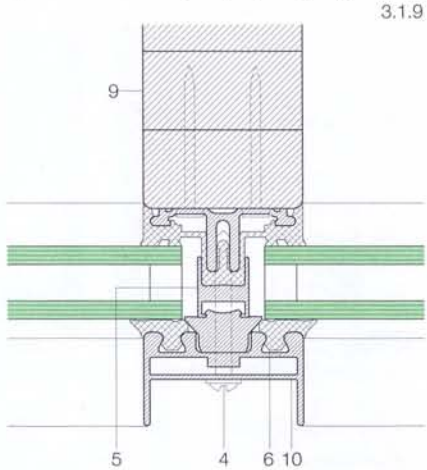
Die Glasbefestigung mit Glashalteleiste ist nach wie vor die gebräuchlichste Lösung im Fensterbau (Abb. 3.1.1–3.1.4). Das Glasgewicht wird über Verglasungsklötze (Tragklötze) abgetragen. Abb. 3.1.1 zeigt am Beispiel eines Holzfensters eine Verglasung mit Vorlegeband und Versiegelung. Der Falzraum bleibt dichtstofffrei. Die Verglasungsklötze dürfen den Dampfdruckausgleich und die Drainage nicht behindern. Eine Vernagelung der Glashalteleiste in der Fuge zwischen dem Glas (Verdeckte Vernagelung) kann unter Umständen zur Beschädigung der Glaskante und zum Bruch führen.
In Abb. 3.1.2 ist die Verglasung in einer Aluminiumkonstruktion mit Dichtprofilen dargestellt. Der Anpressdruck des Profils sorgt hier für die Halterung der Scheiben und die Abdichtung. Zum Ausgleich der Unebenheiten der thermischen Trennung des Profils liegen die Verglasungsklötze auf Klotzbrücken auf, die eine ebene Auflage gewährleisten. Abb. 3.1.3 zeigt ein Stahlfenster mit zwischengelegter Wärmedämmung und eine Verglasung mit Vorlegeband und Versiegelung, Abb. 3.1.4 ein Kunststofffenster mit Dichtprofilen und Abb. 3.1.5 die Variante eines Holz-Aluminiumfensters, bei dem das Aluminium die Witterungsbeständigkeit des Holzes gewährleistet. Das Glas wird hier umlaufend von der Aluminiumschale gehalten.
Bei den in Abb. 3.1.6–3.1.8 gezeigten Beispielen übernimmt ein Profil aus EPDM/APTK sowohl die Halte- als auch die Dichtfunktion. Derartige Lösungen kommen vor allem bei Industrieverglasungen zum Einsatz. Bei Abb. 3.1.8 wird nach dem Einsetzen des Glases ein umlaufender keilförmiger Streifen eingebracht, der dem Profil den mechanischen Halt gibt. Bei den Lösungen in Abb. 3.1.6 und 3.1.7 wird der mechanische Halt durch die Pressung im Metallprofil erreicht. Bei allen Verglasungen mit Dichtprofilen müssen sämtliche Einzelheiten des Systems exakt aufeinander abgestimmt sein. Die Aufnahme der Dickentoleranz der Glasscheibe ist hier ein entscheidender Faktor. Bei allen Beispielen (Abb. 3.1.1–3.1.8) ist die Glasscheibe spannungsfrei gelagert. Sind aus ästhetischen Gründen sehr schmale Profile gewünscht, muss darauf geachtet werden, dass zwischen Glaskante und Falzgrund genügend Abstand für den Dampfdruckausgleich verbleibt.



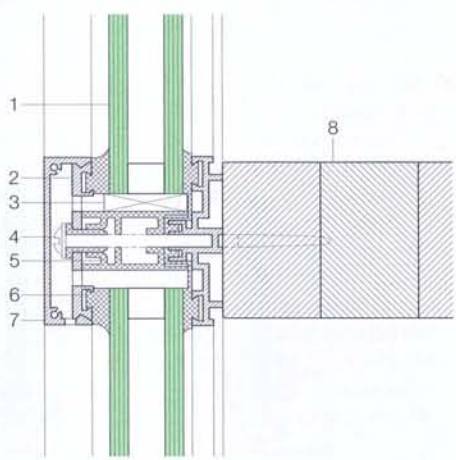


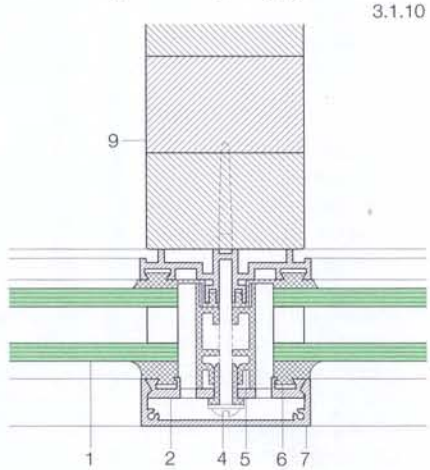
3.1.9



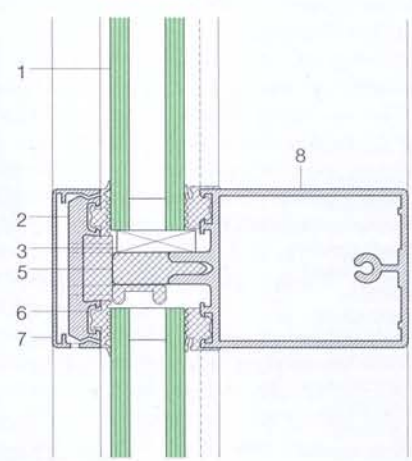


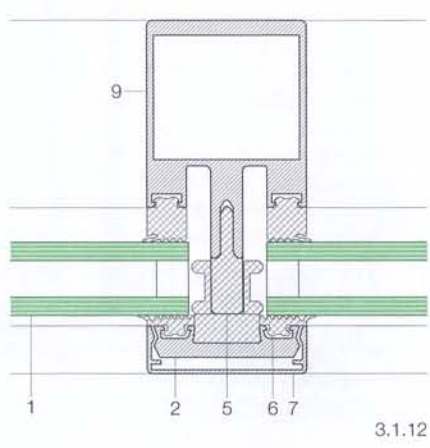
3.1.10





3.1.11





3.1.12

Pressleiste
Lineare Lagerung

3.1.9 Holz
3.1.10 Aluminium/Holz
3.1.11 Aluminium/Holz
3.1.12 Aluminium mit Deckleiste
3.1.13 Stahl mit Deckleiste
3.1.14 Stahl ohne Deckleiste
3.1.15 Aluminium mit Wärmedämmung
3.1.16 EPDM-Integralprofil

Vertikal- und Horizontalschnitte
Maßstab 1:2,5

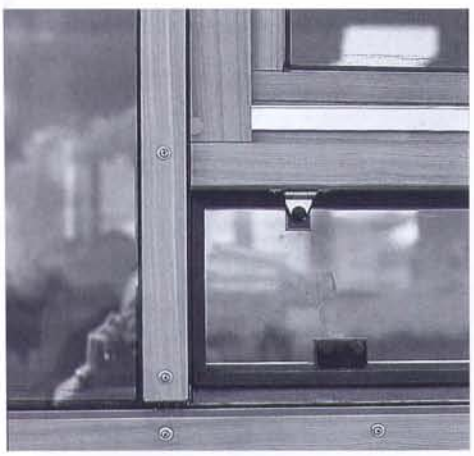
Bei der Pressleistenverglasung wird durch von außen aufgebrachte Profile aus Aluminium, Stahl, Holz oder Kunststoff ein linearer Anpressdruck auf das Glas und die Unterkonstruktion erzeugt. Zwischengelegte dauerelastische Dichtprofile aus Silikon oder EPDM/APTK sorgen für Dichtigkeit und ausreichende Elastizität der Befestigung. Die Stärke des Anpressdrucks wird bestimmt von den Dichtprofilen, aber auch von dem Randverbund der Isolierglaseinheit. Da bei der Pressleistenverglasung die tragende Struktur hinter der Glasebene liegt, kann die Ansichtsbreite der Glashaltekonstruktion relativ klein ausfallen. Sie ergibt sich aus den zu überdeckenden Glasfälzen, dem notwendigen Maß für das Befestigungsmittel und einem Vorhaltemaß zur Aufnahme von Glastoleranzen und Längenänderungen infolge Temperaturbeanspruchung. Bei Isolierverglasung üblicher Größe und Pressleisten aus Metall sind hierfür in der Regel 50 mm ausreichend.

Bei der Pressleistenverglasung muss die Verglasungseinheit im Rahmen verklotzt werden. Der Freiraum im Bereich der Glasstöße muss zum Dampfdruckausgleich nach außen geöffnet sein. Kondenswasser bzw. von außen eingedrungenes Leckwasser muss nach außen abgeführt werden. Bei großflächigen Verglasungen entsteht die Notwendigkeit, vertikale und horizontale Fugen zu differenzieren und zu einem kommunizierenden Drainagesystem zu verbinden. Werden Einfachverglasungen und ungedämmte Konstruktionen eingesetzt, können Tauwassersammelrinnen notwendig werden.

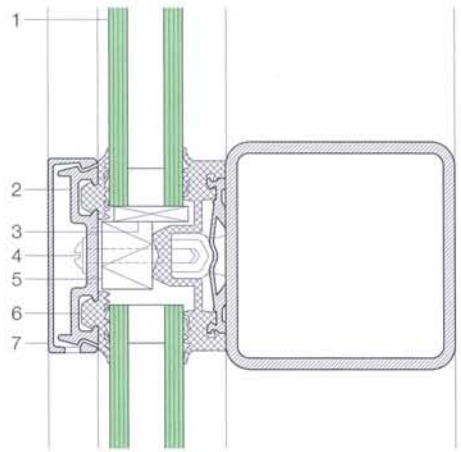
Der freie Falzraum zwischen Glaskante und Falzgrund sollte für die Drainage und den einwandfreien Dampfdruckausgleich mindestens 5–6 mm betragen. Andernfalls verbleibt Feuchtigkeit im Falz, die zu Schäden am Randverbund der Isolierglaseinheit bzw. VSG- oder VG-Einheit führen kann.

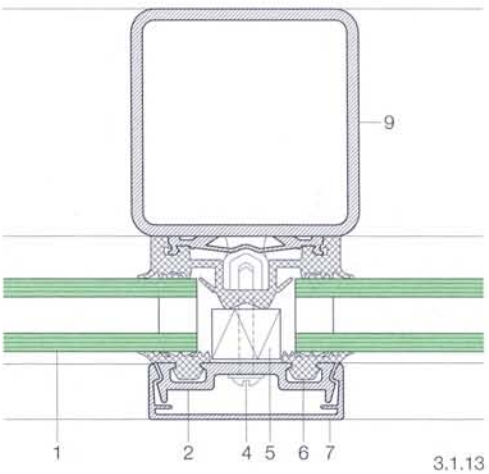
Bei Isolierverglasung muss die Pressleiste vom Tragprofil thermisch getrennt werden.

Pressleisten aus Stahl und Aluminium zeichnen sich durch Präzision und Scharfkantigkeit aus. Bei den meisten Systemen kann durch aufclipsbare Deckleisten die Verschraubung abgedeckt werden (Abb. 3.1.11–3.1.13).

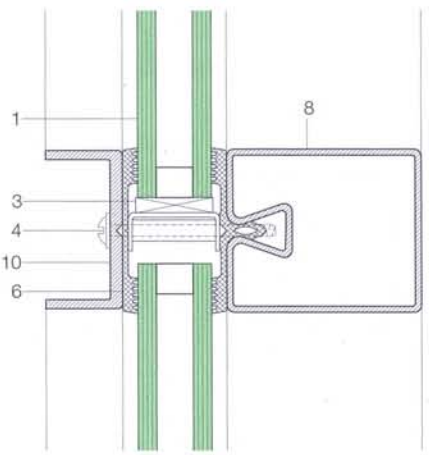


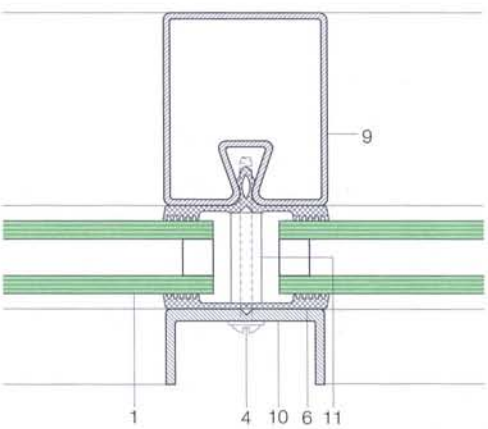
1 Isolierglas
2 Druckprofil
3 Verklotzung
4 Schraube
5 Dämmprofil
6 Dichtung
7 Deckprofil
8 Riegelprofil
9 Pfostenprofil
10 Pressleiste
11 Distanzhülse
12 Anpress-/Dichtprofil (Integralprofil)
13 Befestigungs-/Dämmprofil



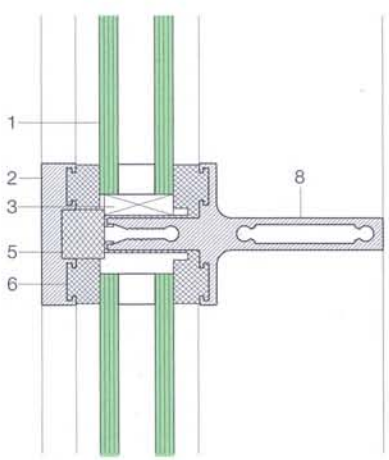


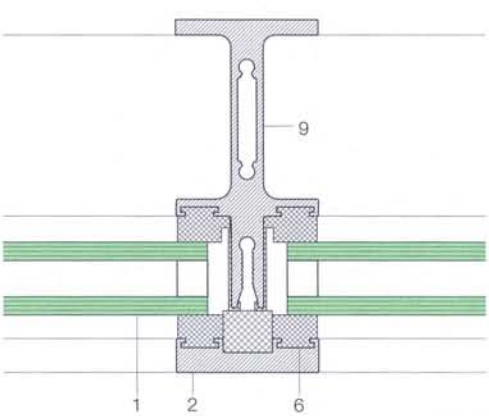
3.1.13



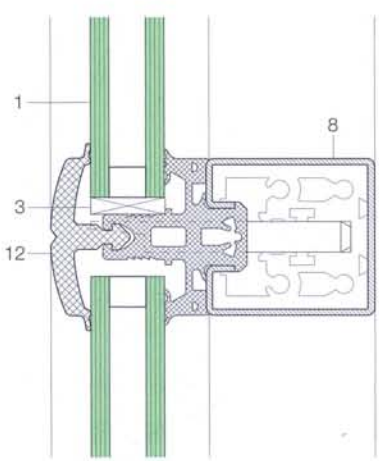


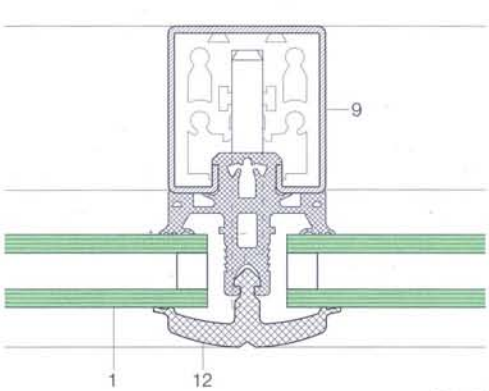
3.1.14





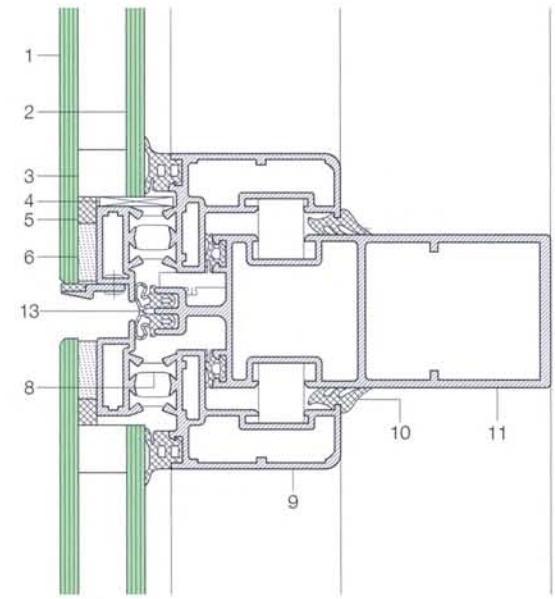
3.1.15

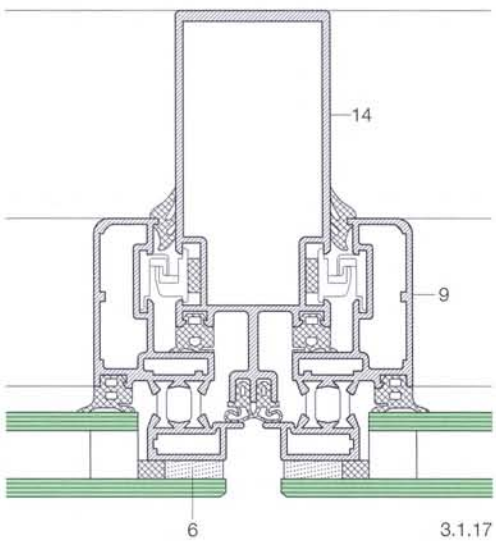




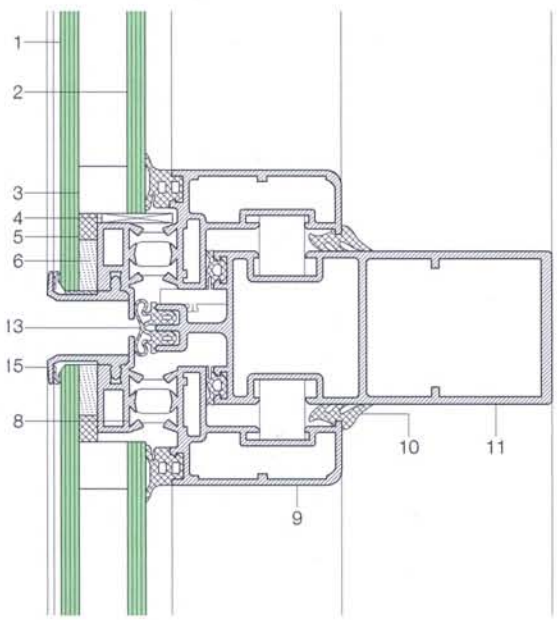
3.1.16

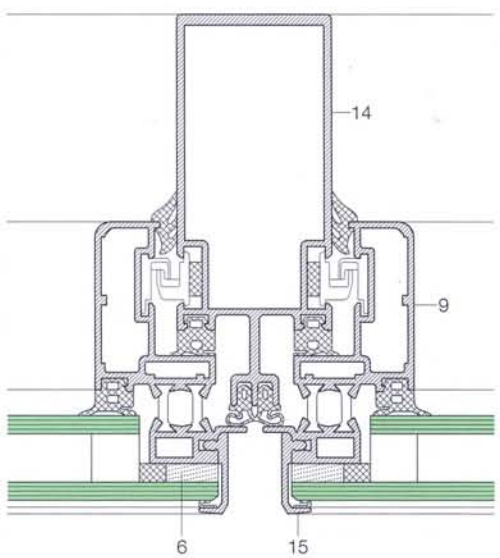
Neben der formalen Wirkung hat diese Maßnahme positive Auswirkungen auf die Schmutzanfälligkeit.
Bei allen Pressleisten aus Metall ist eine große Vielfalt an Oberflächen möglich. Aluminium zeichnet sich gegenüber Stahl durch seine Korrosionsbeständigkeit und durch die dank des Strangpressverfahrens mögliche Vielfalt an Profilen aus. Das Material der Pressleiste kann unabhängig vom Material der Unterkonstruktion gewählt werden.
Eine Sonderform der Pressleiste zeigt Abb. 3.1.16. Hier übernimmt das in die Unterkonstruktion geclipste dauerelastische Kunststoffprofil (Integralprofil) gleichzeitig die Anpress- und Abdichtungsfunktion.
Bei Holzkonstruktionen werden oft Pressleisten aus Aluminium verwendet bzw. eine Kombination aus Aluminium und Holz. Diese ermöglichen in der Regel schlankere Profile und sie schützen das Holz vor der Witterung (Abb. 3.1.10 und 3.1.11).
Auf die Befestigung von Subsystemen wie Sonnenschutzeinrichtungen oder Absturzsicherungen auf Pressleisten sollte verzichtet werden, damit die Gläser keinen unkontrollierten Belastungen ausgesetzt werden, die zum Bruch führen können, und um die Stabilität des Gesamtsystems nicht zu beeinträchtigen.



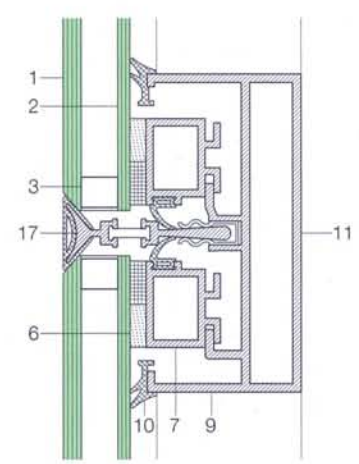


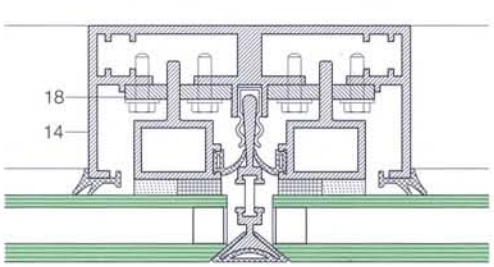
3.1.17





3.1.18





3.1.19

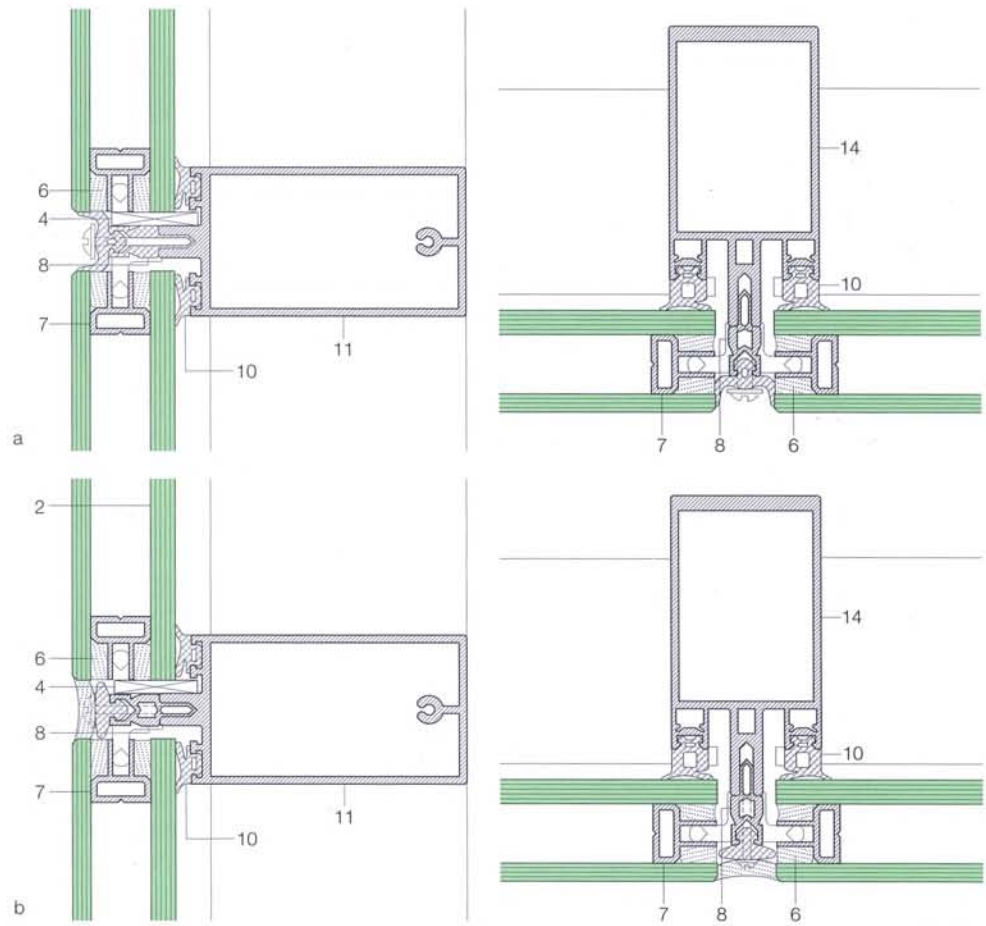
Structural Sealant Glazing (SSG)
Lineare Lagerung

3.1.17 ohne mechanische Sicherung
3.1.18 mechanische Sicherung, umlaufend
3.1.19 mechanische Sicherung und Dichtung in einem Profil
3.1.20 mechanische Sicherung der Innenscheiben
a Trockenversielung
b Nassversiegelung
3.1.21 Sonderlösung zweischalige Fassade, mechanische Sicherung, punktförmig

Vertikal- und Horizontalschnitte
Maßstab 1:2,5

Structural-Sealant-Glazing-Konstruktionen sind ein in sich geschlossenes System, d.h. alle Materialien und Ausführungen müssen aufeinander abgestimmt werden.
Durch die unmittelbare Verklebung der Glaselemente mit einem Adapterrahmen, eingesetzt in die Unterkonstruktion, werden rahmen- und halterlose Fassadenflächen ermöglicht. Die ringsumlaufende Verklebung kann neben der zwängungsfreien Lagerung der Scheibe auch eine schalldämpfende sowie bei einigen Anwendungen eine thermisch trennende Wirkung ermöglichen. Die Verklebung erfolgt grundsätzlich in der Werkstatt unter genau vorgegebenen Klima- und Umgebungsbedingungen. Das Verklebungsmittel muss hohen Anforderungen im Hinblick auf seine Beständigkeit gegenüber Feuchte-, Licht- und Temperatureinflüssen sowie Mikroorganismen gerecht werden. Metallrahmen (Adapterrahmen) und Glas werden als Element gefertigt und an der Baustelle im Allgemeinen in eine Pfosten-Riegel-Tragstruktur eingesetzt.
Grundsätzlich müssen die zu verklebenden Oberflächen auf ihre Eignung überprüft werden. Vor dem Verkleben ist der SSG-Klebstoff auf die Oberflächenqualitäten der Klebeflächen (Legierung des Rahmens, Beschichtung der Glasoberflächen) hin auszuwählen. In der Regel werden die Eignungsprüfungen vom Klebstoffhersteller projektbezogen vorgenommen. Bei diesen Zug- und Scherversuchen muss immer ein Kohäsions- und kein Adhäsionsversagen auftreten. Werden beide Scheiben des Isolierglases am Rahmen verklebt, muss eine der Verklebungen weicher sein als die andere. Ansonsten entstehen aufgrund der Glasbewegungen infolge von Temperatureinflüssen Scherspannungen im Randverbund, die zum Ablösen und zur Undichtigkeit des Isolierglas-Randverbunds führen können. Die ausschließliche Befestigung der Scheiben durch Verkleben ist in Deutschland nur bei Einbauhöhen der Elemente bis zu 8 m über Gelände zulässig (Abb. 3.1.17). Bei größeren Einbauhöhen wird eine zusätzliche mechanische Sicherung gegen das Herabfallen der Scheiben gefordert. Diese Sicherung, die erst dann in Kraft tritt, wenn die Klebung versagt, kann als umlaufender Halterahmen

1 äußere Scheibe
2 innere Scheibe
3 Isolierglas-Randverbund
4 Verklotzung
5 Vorlegeband
6 Silikon/Klebemittel
7 Stahl-/bzw. Aluminiumelement
8 thermische Trennung
9 Modulrahmensystem
10 Anschlagdichtung
11 Riegelprofil
12 Abdeckprofil
13 Dichtungsprofil
14 Pfostenprofil
15 mechanische Sicherung, umlaufend
16 mechanische Sicherung, punktförmig
17 Integralprofil für mechanische Sicherung und Dichtung
18 Halteplatte



3.1.20

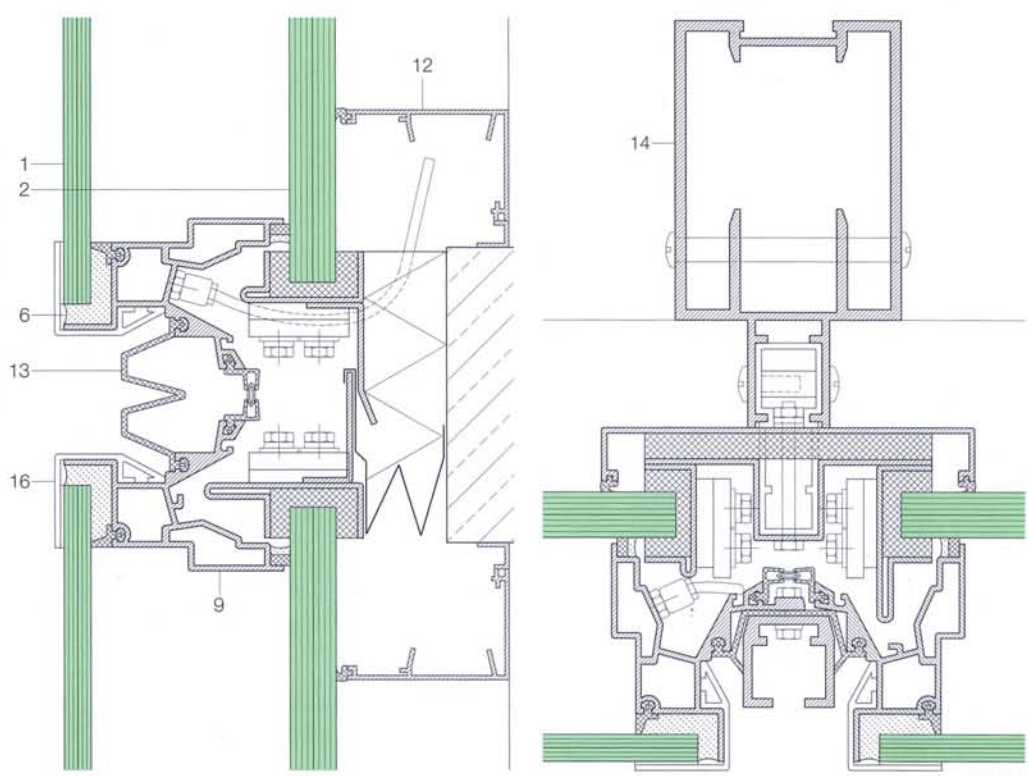
(Abb. 3.1.18) oder punktweise ausgebildet werden.

Eine Sonderform zeigt Abb. 3.1.19. Ein in den Fugen durchlaufendes Integralprofil übernimmt neben der mechanischen Sicherung auch die Funktion der Dichtung.

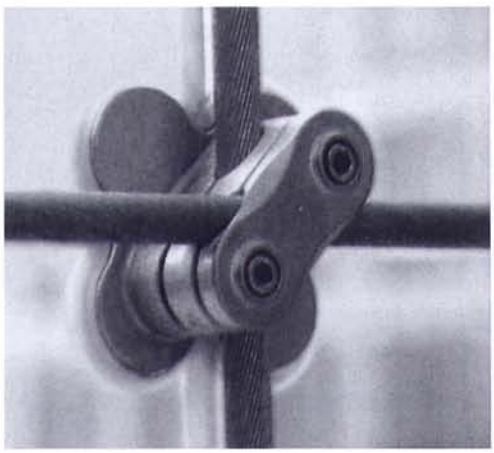
SSG-Systeme benötigen in Deutschland immer eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall durch das Deutsche Institut für Bautechnik. Unabhängig von der Verklebung muss das Scheibeneigengewicht über Klotzung auf die Unterkonstruktion abgegeben werden. Über die Verklebung dürfen nur die Windsoglasten aufgenommen werden. Bei der Verwendung von Isolierglas ist darauf zu achten, dass der Randverbund der Isolierglasscheibe für Structural Sealant Glazing geeignet sowie UV-beständig ist die Wahl der geeigneten Glasart ist wichtig.

Bei SSG-Fassaden werden häufig getönte oder verspiegelte Gläser eingesetzt, damit die Unterkonstruktion an den Rändern außenseitig nicht in Erscheinung tritt.

In Abb. 3.1.20 halten eingeschobene Stahl- oder Aluminiumelemente die Innenscheiben im Bereich des Randabstandhalters mechanisch gegen Windsog. Auf die Verklebung der Isolierglasscheiben mit der Unterkonstruktion kann hier verzichtet werden. Aber auch für dieses System gilt: Die verklebte Außenscheibe muss in Deutschland ab einer Einbauhöhe von 8 m zusätzlich durch mechanische Halterungen gesichert werden.



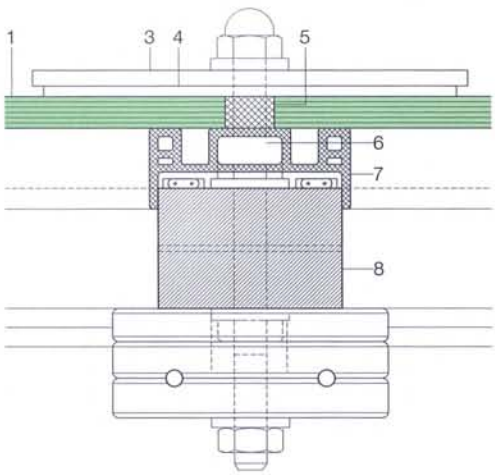
3.1.21

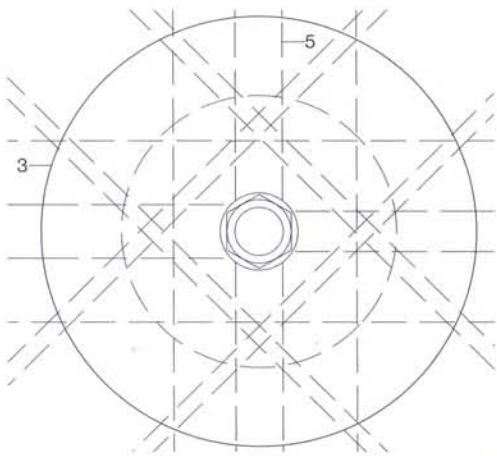


Klemmhalter
Lineare Lagerung/Punktförmige Lagerung

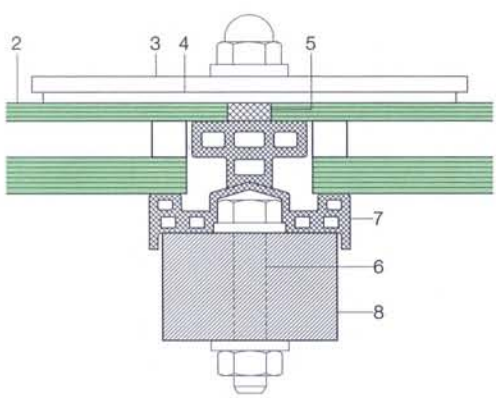
3.1.22 Einfachglas
3.1.23 Isolierglas
3.1.24 Einfachglas

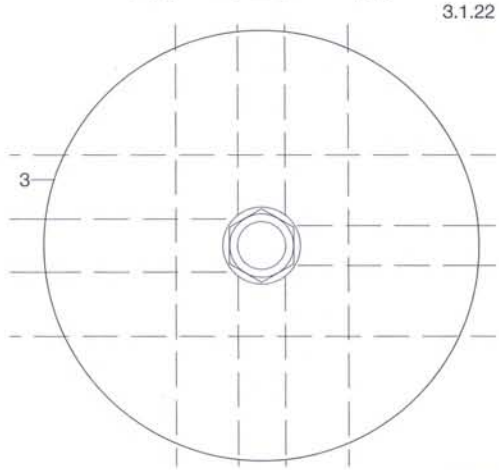
Schnitte und Ansichten
Maßstab 1:2,5



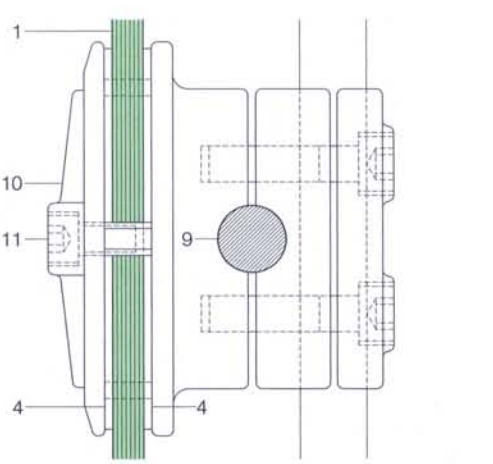


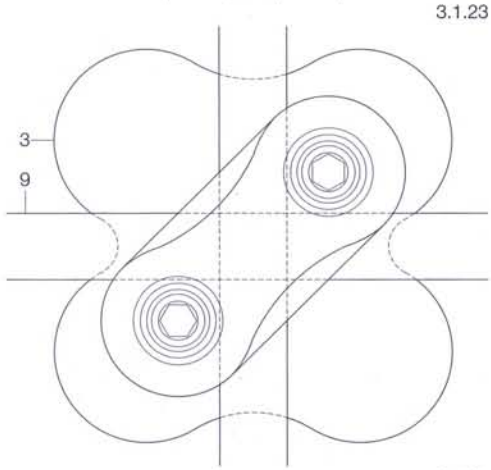
3.1.22





3.1.23





3.1.24

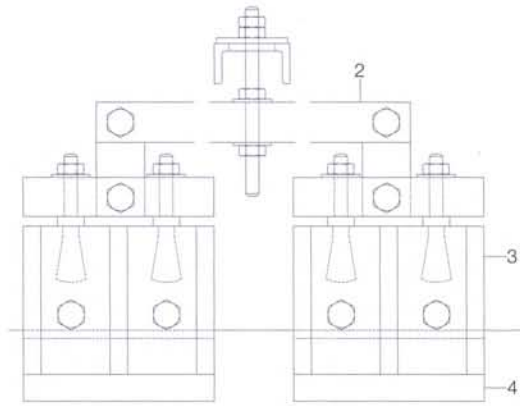
1 Einfachglas
2 Isolierglas
3 Klemmplatte
4 Zwischenlage
5 dauerelastische Verfugung
6 Gewindebolzen
7 Dichtungsprofil
8 lineare Metall-tragkonstruktion
9 Stahlseil
10 Klemmprofil
11 Schraube

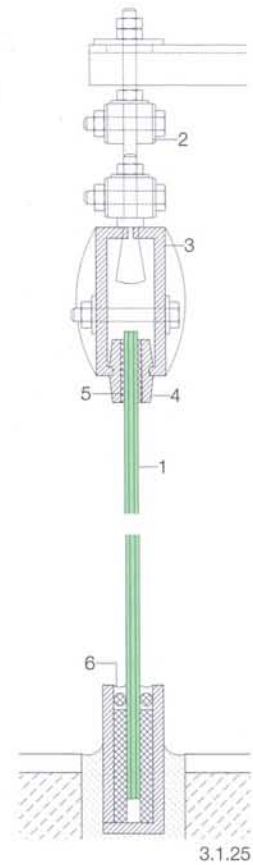
Die Befestigung mit Klemmhaltern ist eine Material sparende und ästhetische Möglichkeit der Glaslagerung, die ohne Kantenkontakt auskommt. Die Glastafeln können dabei entweder linear auf einer Unterkonstruktion gelagert und punktförmig gehalten (Abb. 3.1.22 und 3.1.23) oder punktförmig gelagert und gehalten werden (Abb. 3.1.24). Klemmhalter in der hier gezeigten Form werden unter anderem bei Netzschalen- und Seilnetzkonstruktionen eingesetzt. Die Ausführung solcher Seilnetzkonstruktionen erfordert eine genaue Planung von erfahrenen Fachingenieuren. Aufgrund der hohen Vorspannkräfte in den Seilen ist eine enge Koordination zwischen Tragwerks- und Fassadenplaner notwendig.
Es ist darauf zu achten, dass die Gläser nicht eingespannt werden. Das Glas soll bei Belastung und Durchbiegung seiner natürlichen Biegelinie folgen können. Jede Behinderung in der Biegung führt zu erhöhten Spannungen im Glas. Beim Durchbiegen der Scheibe müssen die Kräfte durch die Klemmhalter in die Tragkonstruktion eingeleitet werden, dabei ist die Lage des Drehpunkts der Halter zu beachten.

Klemmverbindung

3.1.25 Glasaufhängung mit Klemmhaltern

Vertikalschnitt und Ansicht
Maßstab 1:5





1 Glas
2 Pendellager
3 Klemmhalter
4 Klemmbacke
5 Zwischenlage als Reibfläche
6 dauerelastische Verfugung

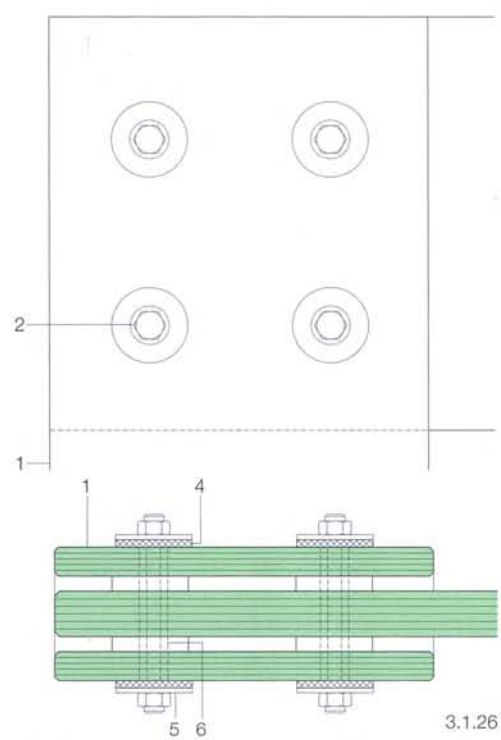
3.1.25

Für rahmenlose Verglasungen ist es in vielen Fällen sinnvoller, diese als hängende Fassadenscheibe auszubilden, anstatt sie aufzustellen, um stabilitätsgefährdende Einflüsse auszuschließen. Dieser Vorteil wird jedoch nur durch aufwendige Anschlusskonstruktionen erreicht. Die dargestellte Klemmkonstruktion ist gezielt für die Befestigung einer Einfachverglasung entwickelt worden. Über eine Schraubenvorspannung wird eine Klemmkraft in die Glasscheibe eingeleitet, die in Abhängigkeit vom Reibbeiwert der Zwischenlage zwischen Glas und Klemmbacken das Glasgewicht aufnehmen kann. Grundsätzlich stellt eine Klemmkonstruktion eine für Glas geeignete Fügetechnik dar, da im Gegensatz zur punktförmigen Lagerung Lasten gleichmäßig und unter weitgehender Vermeidung von Spannungskonzentrationen in das Glas eingeleitet werden können. In der praktischen Umsetzung sind Randbedingungen wie Oberflächenqualität der Reibflächen, Kriecheigenschaften von Zwischenlagen und Umweltbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, Verschmutzung etc.) zu berücksichtigen. In Abb. 3.1.35 ist eine gleichmäßige und statisch bestimmte Lasteinleitung durch Gelenkausbildungen und entsprechend langen Klemmschienen umgesetzt worden. Am unteren Rand müssen die Glastafeln beweglich bleiben. Sie werden hier in nutartigen Profilen so angedichtet, dass Bewegungen des Tragwerks oder Durchbiegungen der Decke ausgeglichen werden können.

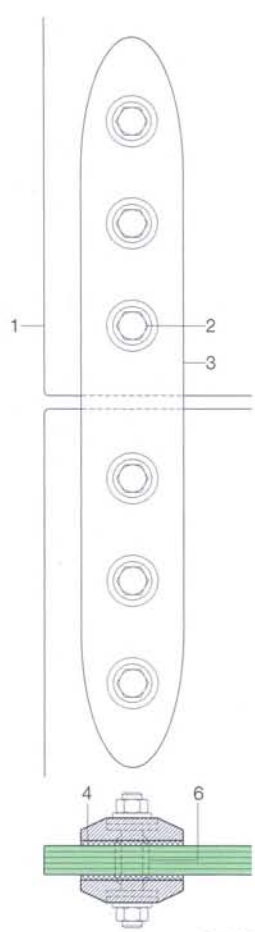
Lochlaibungsverbindung

3.1.26 Biegesteifer Anschluss über eine Lochlaibungsverbindung
3.1.27 Glasschwert

Horizontalschnitte und Ansichten
Maßstab 1:5



3.1.26



1 Glas
2 Schraube mit Gegenmutter
3 Stahlverbindung
4 Zwischenlage
5 Unterlegscheibe
6 Hülse aus Vergussmaterial

3.1.27

Lochlaibungsverbindungen haben sich im Stahl- und Holzbau bewährt. Sie zeichnen sich durch ihre einfache, unempfindliche und damit baustellengerechte Handhabung aus. Bei Glas kann jedoch – im Gegensatz zum Stahlbau – nicht von einer gleichmäßigen Verteilung des Lochlaibungsdrucks ausgegangen werden. Um diesen möglichst gleichmäßig auf die Glasbohrung zu verteilen, muss zwischen Bolzen und Glasbohrung eine Hülse eingelegt werden, die die Spannungsspitzen abbaut. Dazu werden bei vorgefertigten Hülsen spezielle Aluminiumlegierungen oder Kunststoffe (Teflon, Polyamid), bei eingegossenen Hülsen Epoxid, Polyester oder Polyurethan verwendet. Das Hülsenmaterial muss beständig gegenüber Umwelteinflüssen sein und ein gutes Dauerstandverhalten aufweisen. Die dauerhafte Eignung von Hülsenmaterialien ist im Vorhinein durch Versuche zu belegen. Bei einer kraftschlüssigen Verbindung können die Gläser keine Bewegungen gegeneinander ausführen. Die in Abb. 3.1.26 und 3.1.27 gezeigte Verschraubung wirkt so, als wären die einzelnen Gläser zu einer einzigen Scheibe verbunden. Die Verbindung erfolgt starr. Die sich daraus ergebenden Eigenschaften müssen bei der Berechnung der Spannungen im Glas berücksichtigt und eine notwendige Dehnfuge konstruktiv an anderer Stelle ausgeführt werden. Bei VG und VSG muss die Fließeigenschaft der Folie beachtet werden.

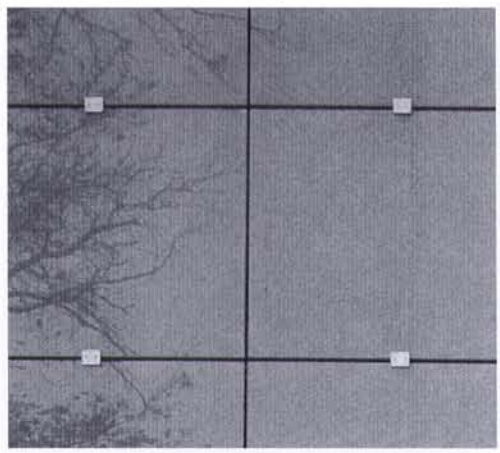
Punkthalter ohne Durchdringung der Glasscheibe
Punktförmige Lagerung

3.1.28 Vierpunkt-Klemmhalter
3.1.29 punktförmige Lagerung in der Fuge

Ansichten und Vertikalschnitte
Maßstab 1:2,5

3.1.30 Halter für schindelartige Überlappung

Horizontal- und Vertikalschnitt
Maßstab 1:5



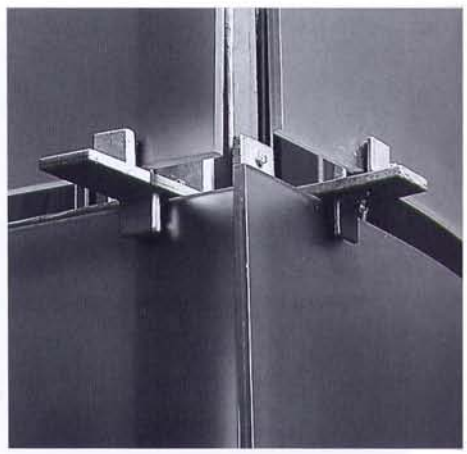
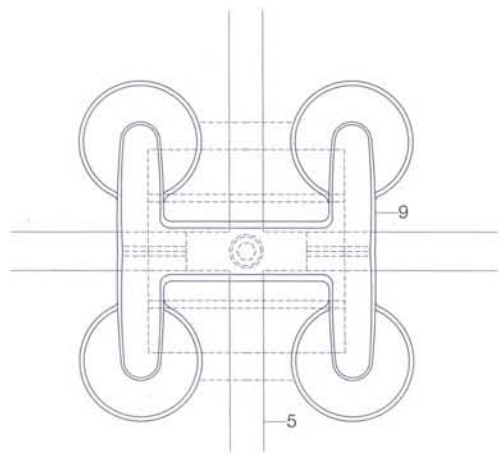
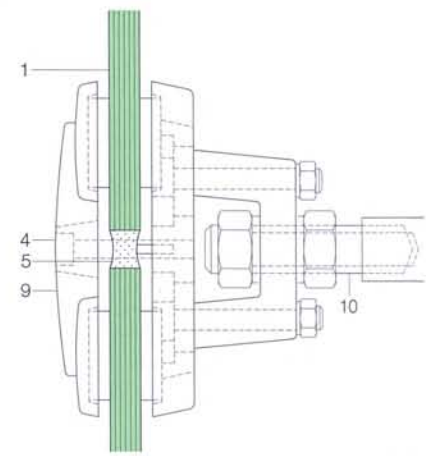
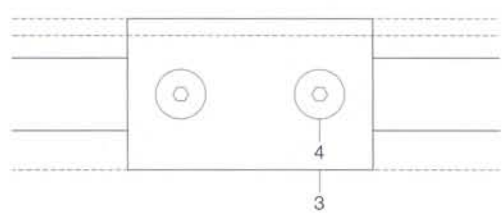


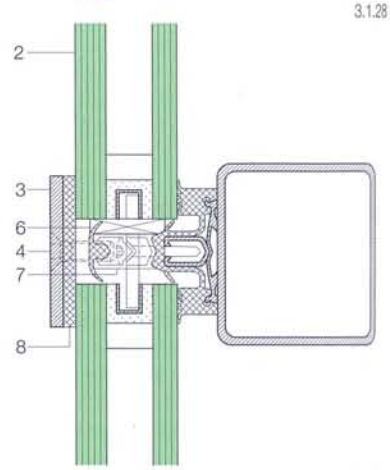
Abb. 3.1.28–3.1.30 zeigen Möglichkeiten der punktförmigen Lagerung, bei denen die Glasscheibe nicht durchbohrt werden muss. Auch bei diesen Lösungen ist darauf zu achten, dass die Glasscheibe zwängungsarm gelagert wird. Eine Glaseinspannung, verursacht durch punktförmige Klemmhalter, ist grundsätzlich zu vermeiden. Ist eine einspannende Wirkung durch die Klemmhalter konstruktiv nicht auszuschließen, so müssen die Lagerungsbedingungen bei der Glasdimensionierung berücksichtigt werden.
Bei dem in Abb. 3.1.28 dargestellten Klemmhalter aus Aluminiumguss werden die Gläser im Eckbereich gehalten.
Abb. 3.1.29 zeigt eine Möglichkeit der punktförmigen Befestigung von Glas in der Fuge. Das Glasgewicht wird über die Verklotzung auf Stahlbolzen (Konsolen) abgetragen, die an der Unterkonstruktion angeschweißt bzw. geschraubt sind. Die punktförmige Lagerung in der Fuge ist in der Regel kostengünstiger als die punktförmige Lagerung in der Scheibe, da keine aufwendigen Bohrungen (und Randverbund um das Bohrloch bei Isolierverglasung) notwendig sind.
In Abb. 3.1.30 ist ein Edelstahlgusshalter dargestellt, der eine schindelartige Überlappung der Glastafeln ermöglicht. Derartige Halterungen werden üblicherweise objektbezogen entwickelt. Dabei sollte eine Nachstellbarkeit der Halterungen eingeplant werden, um Toleranzen des Rohbaus oder der Unterkonstruktion aufnehmen zu können.



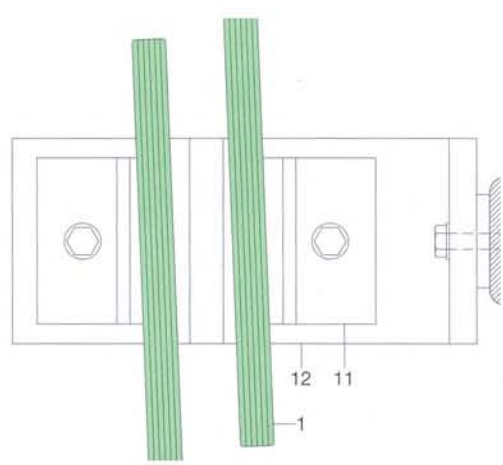


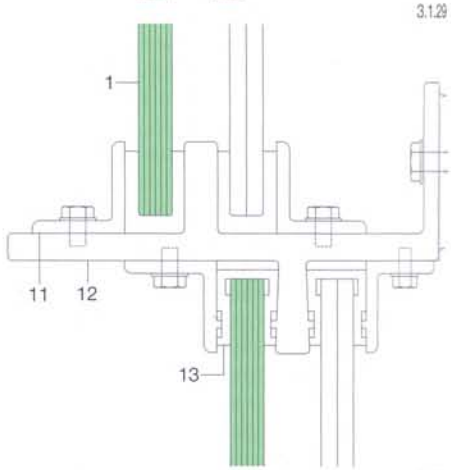
3.1.28





3.1.29





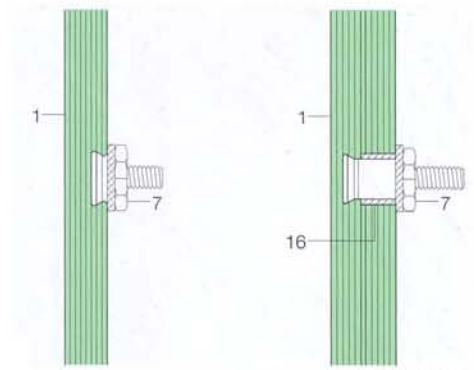
3.1.30

1 Einfachglas
2 Isolierglas
3 Klemmplatte
4 Schraube
5 dauerelastische Verfugung
6 Verklotzung
7 Halter mit Innengewinde
8 Vorlegeband
9 Vierpunkt-Klemmhalter
10 Justierbolzen
11 Zustellwinkel, verschraubt
12 Glashalter, punktförmig
13 Silikonlagerprofil, geklebt

Punkthalter in Bohrloch
Punktförmige Lagerung

3.1.31 Hinterschnittanker
3.1.32 nicht flächenbündig, starr
3.1.33 flächenbündig, starr
3.1.34 nicht flächenbündig, mit Gelenk außerhalb der Scheibenebene
3.1.35 flächenbündig, mit Gelenk in der Scheibenebene

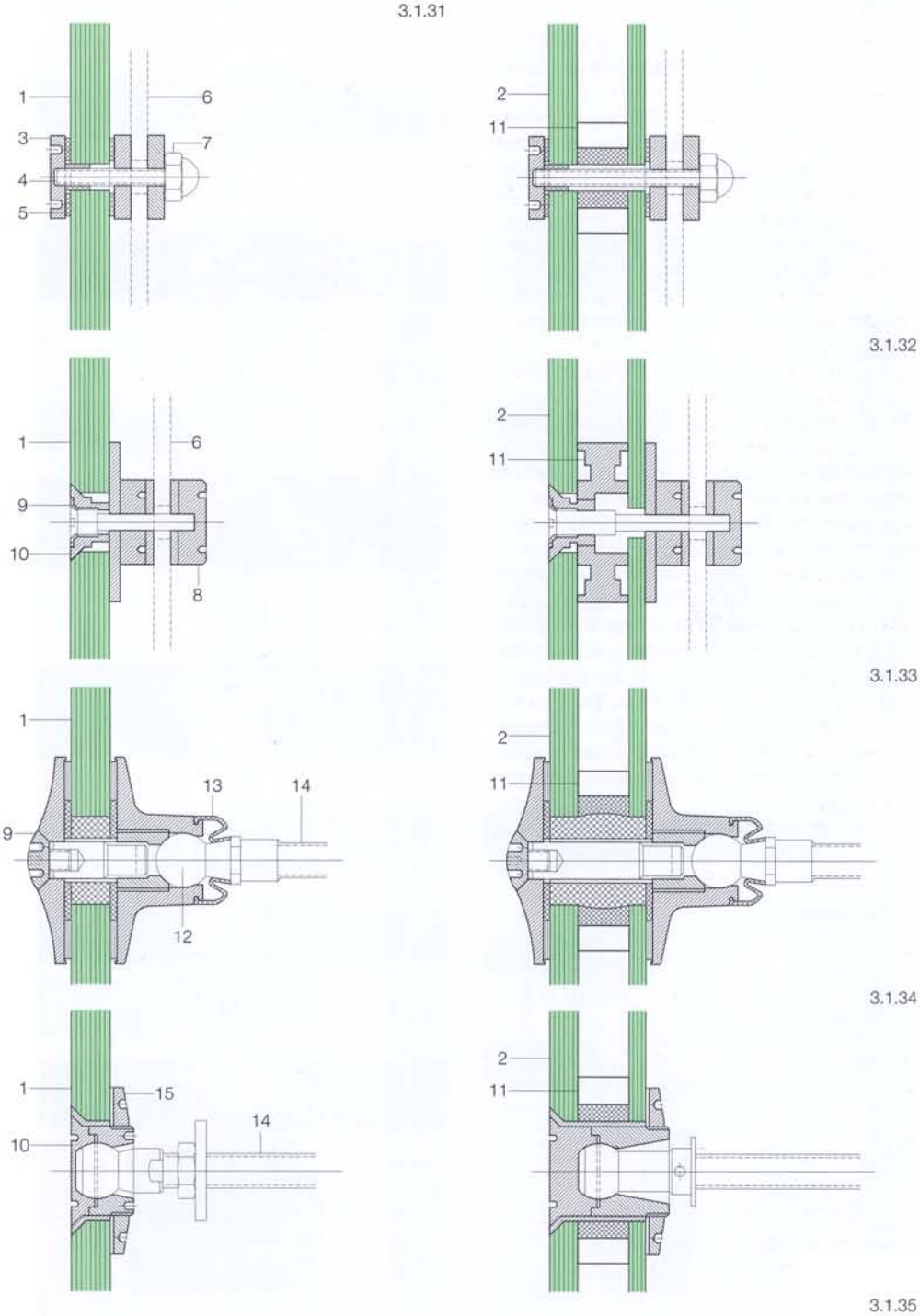
Vertikalschnitte
Maßstab 1:2,5



3.1.31

1 Einfachglas bzw. VSG
2 Isolierglas
3 Anpressscheibe
4 Gewindebolzen
5 Zwischenlage / Dichtung
6 Unterkonstruktion
7 Mutter
8 Abdeckhülse
9 Schraube
10 Senkkopf
11 Randverbund
12 Kugelgelenk
13 Dichtmanschette
14 Gewindestange
15 Gewindescheibe
16 Kunstharzinjektion

Punkthalter, die die Glasscheibe über Bohrungen innerhalb der Glasfläche tragen, existieren in vielen, meist patentrechtlich geschützten Varianten. Es wird unterschieden zwischen flächenbündiger (Abb. 3.1.33 und 3.1.35) und nicht flächenbündiger (Abb. 3.1.32 und 3.1.34) sowie zwischen starrer (Abb. 3.1.32 und 3.1.33) und gelenkiger (Abb. 3.1.34 und 3.1.35) Lagerung. Zu den neueren Entwicklungen gehört der in Abb. 3.1.31 dargestellte Hinterschnittanker, für den es bislang in Deutschland jedoch noch keine bauaufsichtliche Zulassung gibt. Eine »Zustimmung im Einzelfall« (ZiE) ist möglich. Die Verwendung einer punktförmigen Lagerung führt im Vergleich zu einer linienförmigen Lagerung stets zu höheren lokalen Beanspruchungen im Glas. Die maximalen Biegezugspannungen treten dabei immer direkt am Glashaltepunkt auf. Bohrungen im Glas stellen immer Schwachstellen dar. Entlang des Bohrlochrands treten bei dessen Herstellung zahlreiche Beschädigungen der Glasoberfläche in Form von Kerben, Rissen oder Abplatzungen auf, die die Glaszugfestigkeit reduzieren. Damit liegen die Bereiche der Glasscheibe mit einer geringen Biegezugfestigkeit genau dort, wo die maximalen Beanspruchungen auftreten. Deshalb ist es erforderlich, dass Form, Art und Lage der Gelenkausbildung, Auflagerfläche des Punkthalters und gegebenenfalls Fasungen im Glas bei der Glasdickendimensionierung genau erfasst werden. Der Halter mit Gelenk in der Scheibenebene (Abb. 3.1.35) führt wegen seiner geringeren Exzentrizität des Drehpunkts zur Scheibenachse zu geringeren Beanspruchungen des Glases als die in Abb. 3.1.34 dargestellte Variante. Andererseits bietet dieser Halter die Möglichkeit, relativ einfach mit weiteren Elementen, z.B. Zugstäben, anzuschließen. Anstatt die Einzelpunkte einer Konstruktion zu fixieren, sollte immer eine ganzheitliche Betrachtung der Einwirkungen auf Glas, Halterungen und Befestigungen erfolgen. Punktgehaltene Verglasungen erfordern größere Genauigkeiten bei der Planung, Herstellung und Montage als linear gelagerte Konstruktionen. Das gilt sowohl für die Unterkonstruktion als auch für die Lage der Bohrungen in den Scheiben. Die unvermeidlichen Toleranzen müssen auch hier berücksichtigt werden.



3.1.32

3.1.33

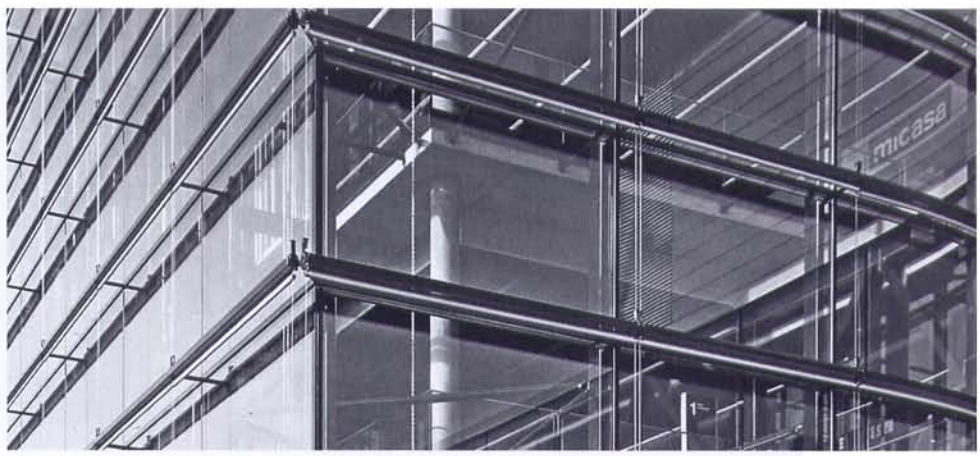
3.1.34

3.1.35

Fuge bei freier Kante

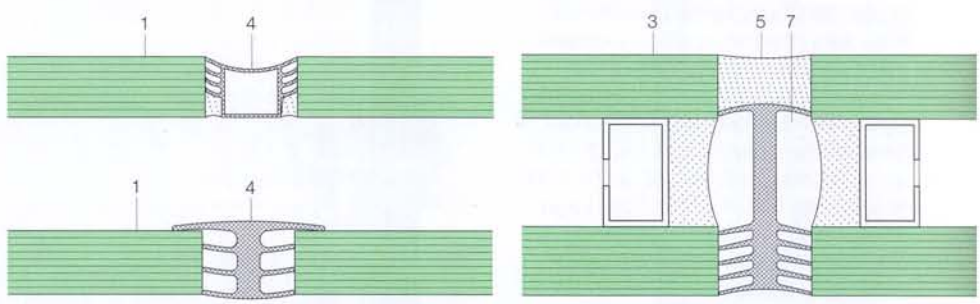
3.1.36 Fugenausbildung Einfachglas
3.1.37 Fugenausbildung Verbundglas/VSG
3.1.38 Trennwandanschluss Isolierglas
3.1.39 Fugenausbildungen Isolierglas

Horizontalschnitte
Maßstab 1:1

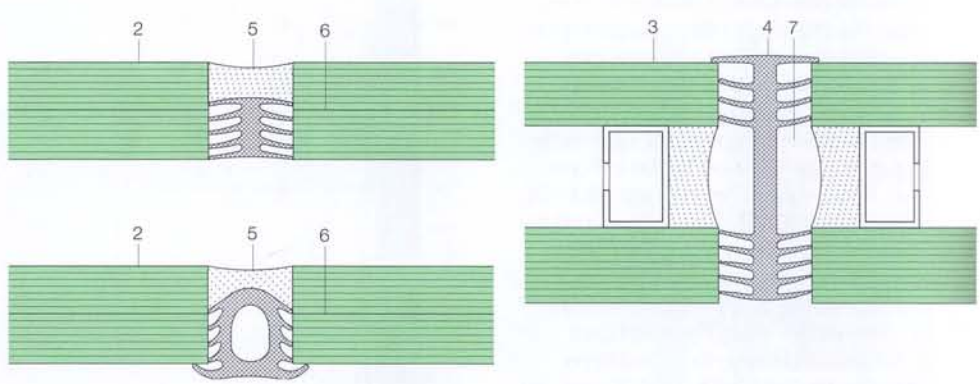


Ein wesentliches Kennzeichen der punktförmigen Glaslagerung ist die Trennung von Befestigung und Abdichtung.
Abb. 3.1.36, 3.1.37 und 3.1.39 zeigen verschiedene Möglichkeiten der Abdichtung zwischen zwei rahmenlosen Glaselementen. Das Dichtprofil aus EPDM/APTK oder Silikon wird in die Fuge eingedrückt. Es sollte eine Vorspannung aufweisen, damit es fest sitzt. Solche Fugen können während der Montage schnell verschlossen werden. Die zusätzliche Versiegelung mit spritzbarem Dichtstoff kann später erfolgen.
Bei Isolierglas, Verbundglas, Verbundsicherheitsglas und Drahtglas muss der Falzraum dichtstofffrei sein, damit der Dampfdruckausgleich und die Drainage funktionieren. Auf das Einbringen einer Füllschnur sollte hier verzichtet werden, da sie den Falzraum ausfüllen würde und den Dampfdruckausgleich behindert. Leckwasser und Feuchtigkeit werden über das Drainagesystem nach außen geführt. Bei der Verwendung von Verbundglas oder Verbundsicherheitsglas muss das Dichtprofil den Scheibenstoß überdecken, damit wie bei Isolierglas der Randverbund sowie die freie PVB-Folie oder der Anschluss zu Gießharzen im Bereich des Dampfdruckausgleichs liegen und sich somit an dieser Stelle keine Feuchtigkeit bildet und über einen längeren Zeitraum dort bleibt.
Abb. 3.1.38 stellt den rahmenlosen Anschluss einer Glastrennwand an eine Außenwand dar, die mit Isolierglas verglast ist.

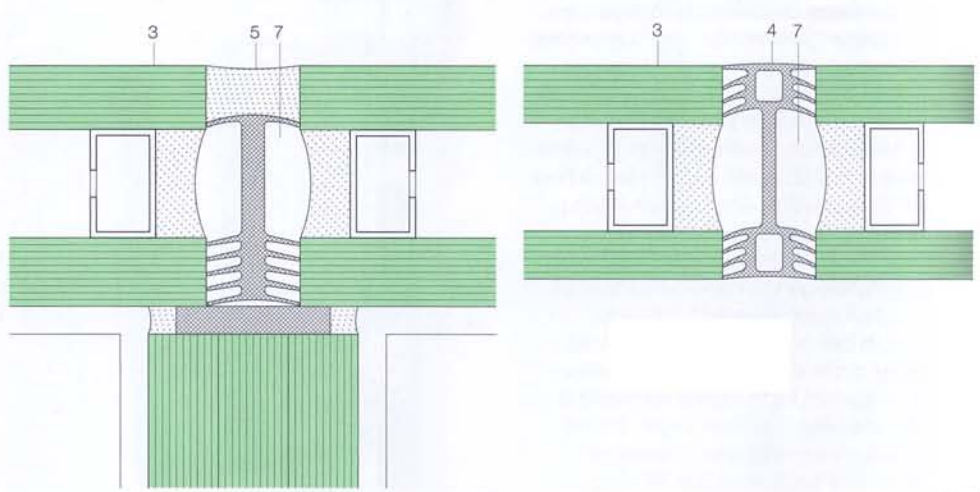
1 Einfachglas
2 Verbundglas
3 Isolierglas
4 Dichtprofil
5 dauerelastische Verfugung
6 PVB-Folie
7 Drainage



3.1.36



3.1.37



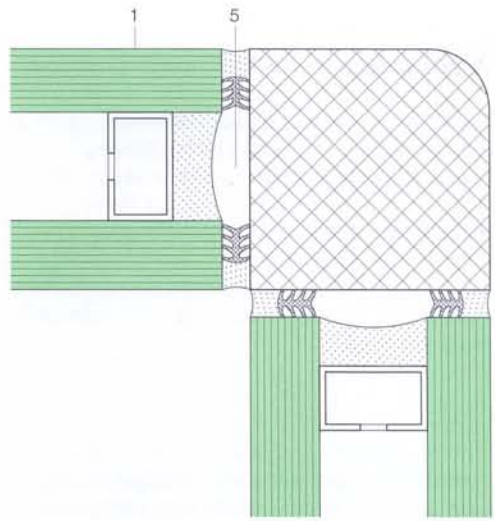
3.1.38

3.1.39

Eckausbildung Isolierglas

3.1.40 opake Eckausbildung
3.1.41 äußere Kante auf Gehrung
3.1.42 äußere Kante auf Gehrung, innen aufgesetztes Metallprofil
3.1.43 abgestuft, ineinander gestellt
3.1.44 äußere Kante auf Gehrung, Dreifach-Isolierglas

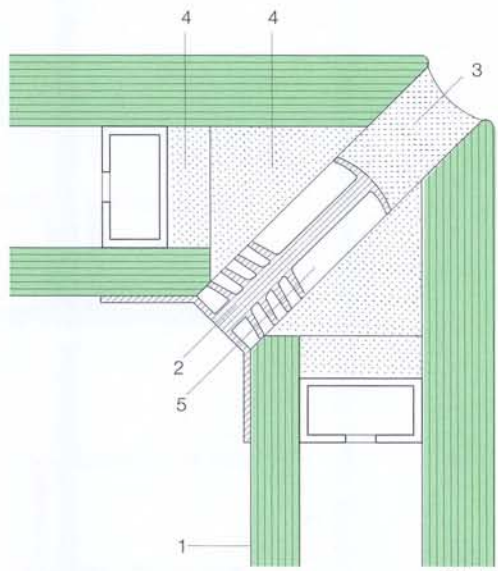
Horizontalschnitte
Maßstab 1:1



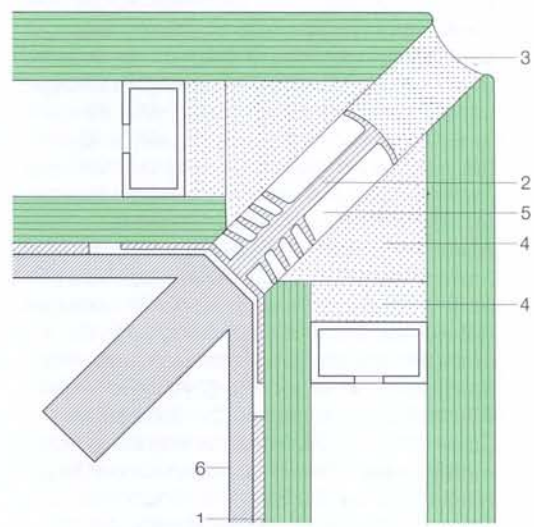
3.1.40

1 Isolierglas
2 Dichtprofil
3 dauerelastische Verfugung
4 Randverbund
5 Drainage
6 Metallprofil
7 Füllband Rundschnur

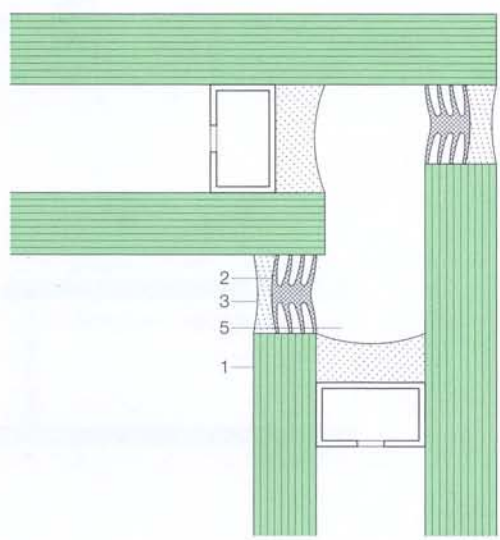
Abb. 3.1.40–3.1.44 zeigen unterschiedliche Möglichkeiten der Eckausbildung bei rahmenloser Verglasung mit Isoliergläsern. Auch hier ist darauf zu achten, dass der Falzraum dichtstofffrei bleibt, um den Dampfdruckausgleich sicher zu stellen. Die Stoßausbildung weist gegenüber der Isolierglaseinheit deutlich ungünstigere Wärmedämmwerte auf, so dass insbesondere bei Eckausbildungen häufig von Kondensatausfall auszugehen ist (Oberflächentemperaturen deutlich unter +10°). Erst die Verwendung thermisch verbesserter Abstandhalterprofile und eine optimale geometrische Randausbildung ermöglichen eine Erhöhung der inneren Oberflächentemperaturen. Auch die Ausführung mit Dreifach-Isolierglas und thermisch verbessertem Abstandhhalter bewirkt eine Erhöhung der Oberflächentemperaturen in der Ecke (Abb. 3.1.44).
Weitere Verbesserungen sind darüber hinaus nur durch optimierte Randausbildungen mit Dämmstoffstreifen im Falzraum und/oder innen aufgesetzten Metallprofilen als Wärmefühler (Abb. 3.1.42) möglich. Der Ganzglascharakter einer solchen Ausführung geht durch das innere Profil jedoch verloren.
Für die statischen Anforderungen an die Verglasungen gelten die Festlegungen hinsichtlich der Lastannahmen, zulässiger Biegezugspannung und Durchbiegung des Glases. Für die Auslegung der Glasdicken sind die Wind- und Verkehrslasten maßgebend. Im Eckbereich von Gebäuden ist dabei eine erhöhte Windsoglast anzusetzen, die bei raumhohen Verglasungen auch mit zusätzlichen Verkehrslasten überlagert werden kann.
Es ist klar zu unterscheiden, ob es sich um ein Material für Dicht-, Dehn- und Ausgleichsfugen handelt – das hochelastisch sein muss – oder um einen Verklebungsdichstoff für statisch belastbare Fugen.
Beim Ganzglasstoß ohne Unterstüzung eines Rahmenprofils werden die Verkehrslasten allein durch die Verglasung abgetragen. Daraus resultieren erheblich höhere Glasdicken als bei linear gelagerten Konstruktionen.



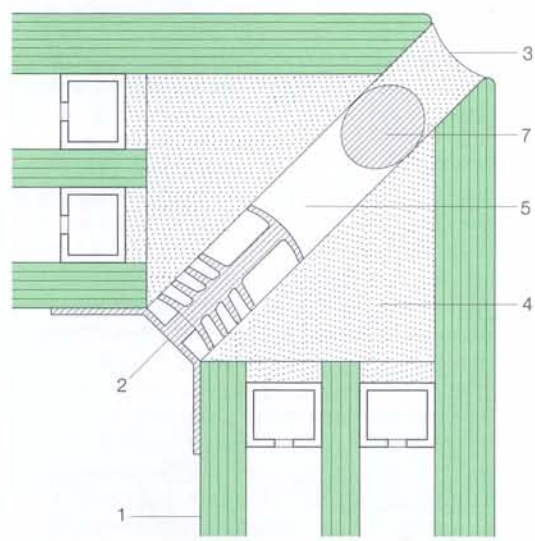
3.1.41



3.1.42



3.1.43

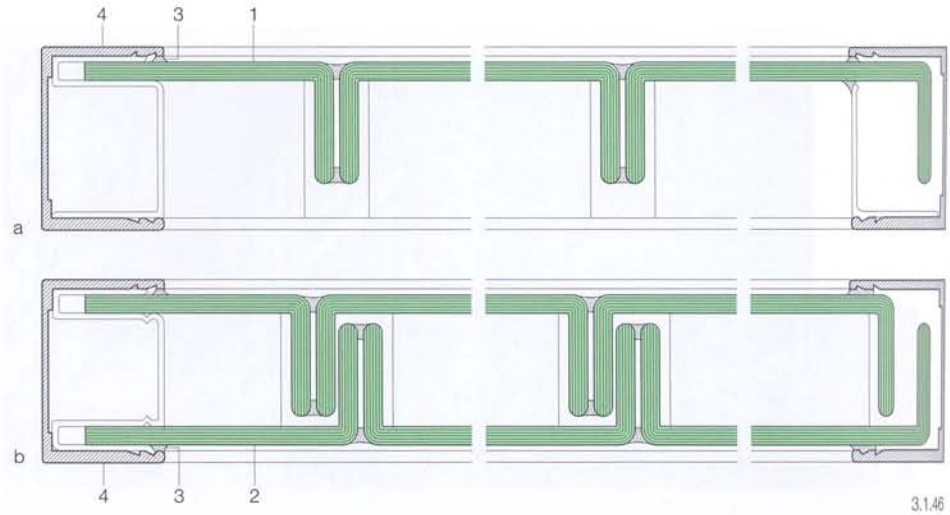


3.1.44

Profilbauglas

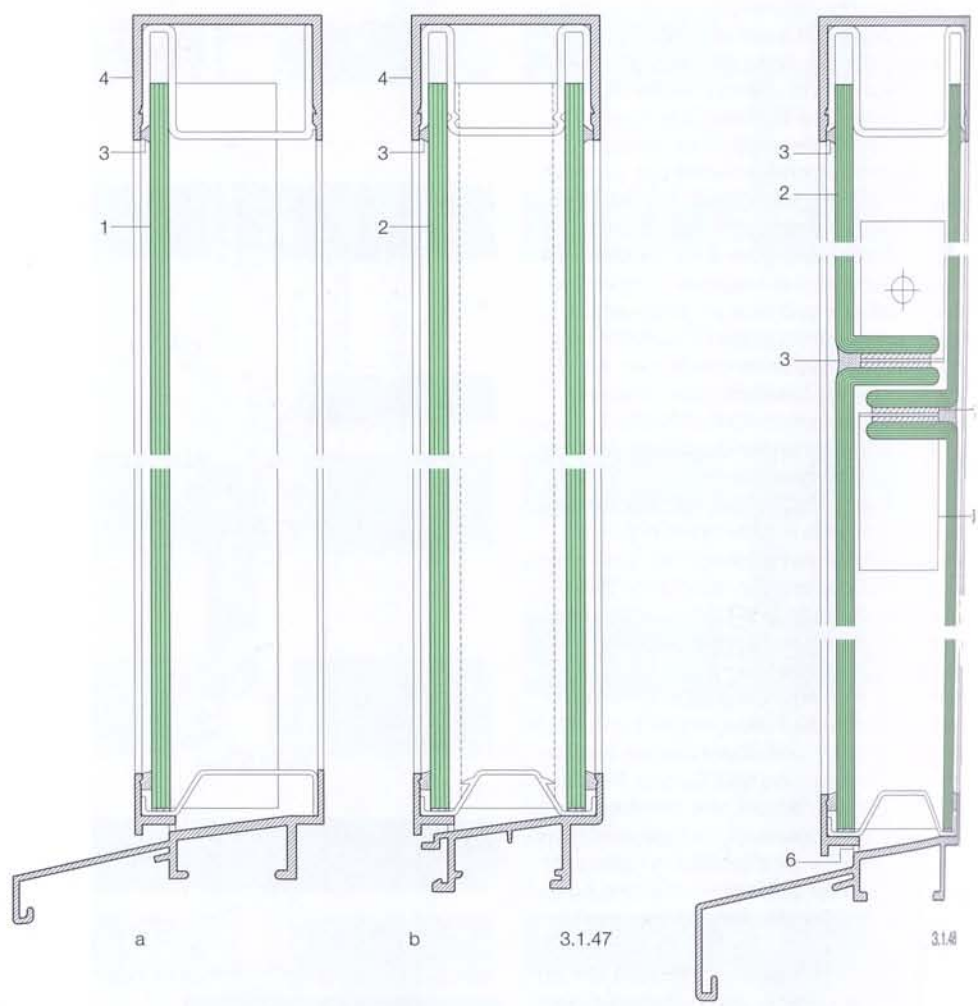
3.1.45 thermisch getrennte Rahmen
3.1.46 und 3.1.47 vertikale Verglasung
a einschalig
b zweischalig
3.1.48 und 3.1.49 horizontale Verglasung, zweischalig

Horizontal- und Vertikalschnitte
Maßstab 1:2,5

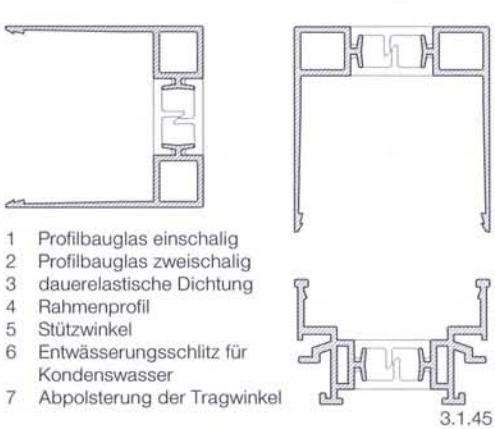


3.1.46

Profilbauglas wird sprossenlos eingebaut, es kann vertikal oder horizontal, einschalig, einschalig als »Spundwandsystem« oder auch zweischalig eingesetzt werden.
In der Regel verbaut man Profilbauglas nach dem Einschubsystem. Hierzu werden bei der vertikalen Verlegung die Profilbauglasbahnen in ein ca. 50 mm tiefes Rahmenprofil eingeschoben und unten in einen mindestens 20 mm tiefen Falz eingestellt. Der Glaseinstand soll oben mindestens 20 mm und unten 12 mm betragen. Diese Einstände sind zur Stabilität der so erstellten Wand erforderlich. Die maximalen Einbauhöhen für vertikal verlegte Glasprofile hängen vom Baukörper (offen/geschlossen) und von den örtlich zu berücksichtigenden Windverhältnissen ab und werden vom Hersteller angegeben. Bei einer zweischaligen Verlegeart müssen zusätzliche Abpolsterungen bzw. Abdichtungen oder anderweitige Konstruktionsmerkmale je nach Verlegerichtlinien der Hersteller vorgesehen werden. Durch die doppelschalige Bauweise mit entsprechend thermisch getrennten Rahmenprofilen (Abb. 3.1.45) wird eine höhere Wärmedämmung erreicht. Der von beiden Glasprofilen gebildete Zwischenraum ist nicht wie bei Isoliergläsern hermetisch abgeschlossen und entfeuchtet, sondern enthält Luft mit entsprechendem Feuchtigkeitsgrad. Zur Vermeidung von Kondensat bei Abkühlung der feuchten Luft muss eine Öffnung zur trockeneren Außenluft bestehen. Dieser Dampfdruckausgleich verhindert Kondensatbildung weitgehend bzw. ermöglicht Austrocknung.
In Zukunft werden auch thermisch vorgespannte Profilbaugläser erhältlich sein, entsprechende Normen sind momentan in Vorbereitung.

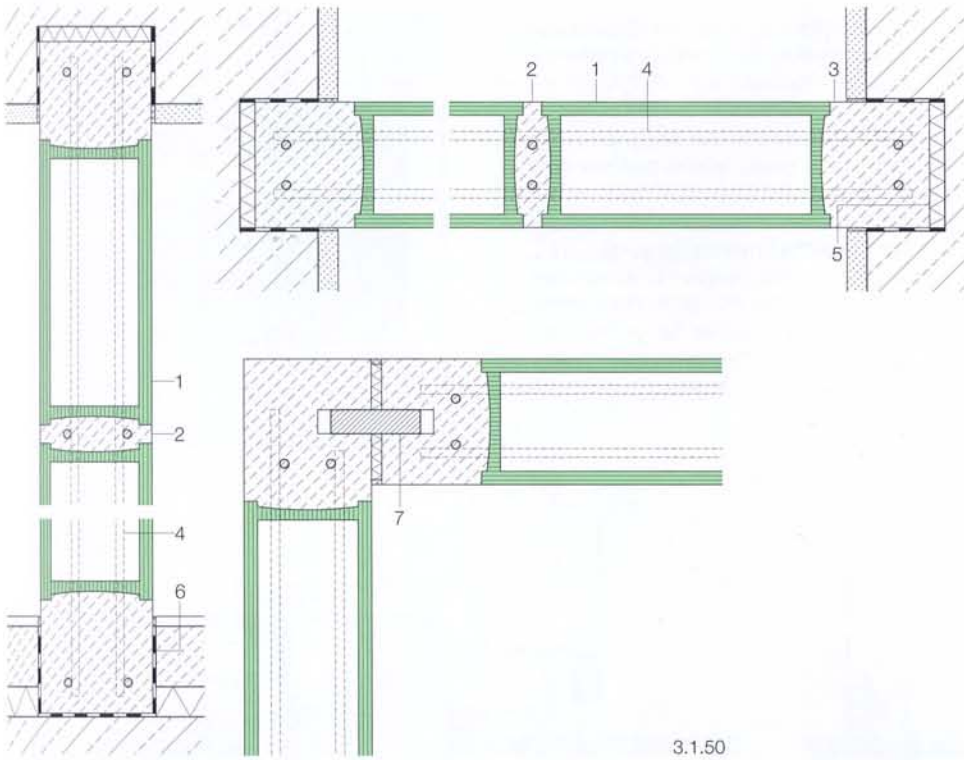


3.1.47

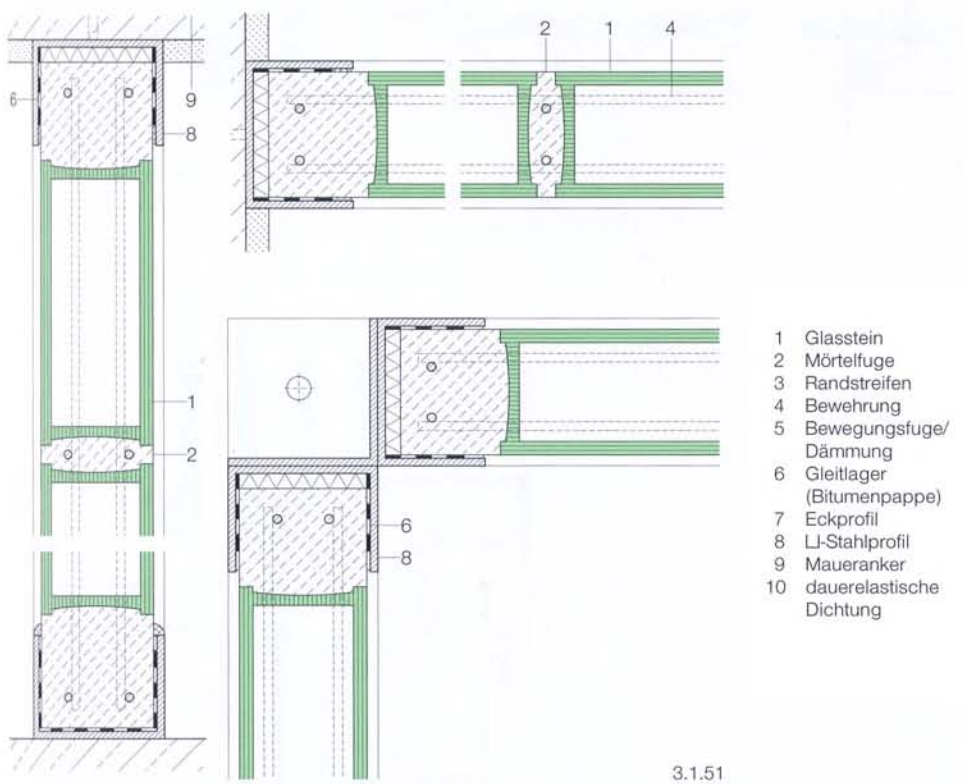


1 Profilbauglas einschalig
2 Profilbauglas zweischalig
3 dauerelastische Dichtung
4 Rahmenprofil
5 Stützwinkel
6 Entwässerungsschlitz für Kondenswasser
7 Abpolsterung der Tragwinkel

3.1.45

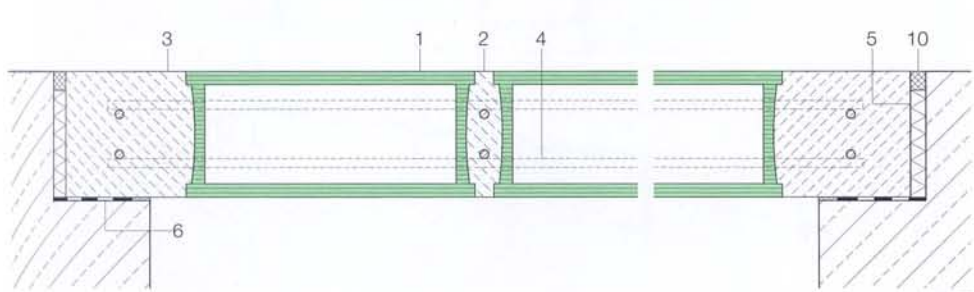


3.1.50



1 Glasstein
2 Mörtelfuge
3 Randstreifen
4 Bewehrung
5 Bewegungsfuge/ Dämmung
6 Gleitlager (Bitumenpappe)
7 Eckprofil
8 LI-Stahlprofil
9 Maueranker
10 dauerelastische Dichtung

3.1.51



3.1.52

Glassteinmauerwerk / Glassteindecke

3.1.50 Glassteinmauerwerk mit Anschluss in Mauerschlitz
3.1.51 Glassteinmauerwerk mit Anschluss in U-Profil
3.1.52 Glassteindecke mit Hohlkörpersteinen

Vertikal- und Horizontalschnitte
Maßstab 1:5

Glassteine müssen zwängungsfrei in die Wand eingesetzt werden. Es dürfen keine Belastungen aus dem Bauwerk in die Glassteine abgegeben werden. Seitlich und oben sind umlaufende Dehnfugen erforderlich, die mit einem dauerelastischen Material gedämmt werden. Der untere Randstreifen wird als Gleitlager auf unbesandeter Bitumenpappe ausgeführt (Abb. 3.1.50). Bei einer Aufmauerung im U-Profil (Abb. 3.1.51) ist auf eine Gleitfuge aus Ölpapier oder unbesandeter Bitumenpappe im Stahlprofil zu achten. Die seitlichen Anker im Gebäude sind als Schiebeanker auszubilden. Die Verfugung der Glassteine sollte mit einem Beton der Güte ≤ C25/30 oder einem entsprechenden Mörtel ausgeführt werden, um Zwängungen zwischen den Glassteinen aufgrund thermischer Einflüsse zu minimieren. Aus diesem Grund sollten auch die Randstreifen nicht breiter als 100 mm sein. Die Armierung erfolgt nach statischen Erfordernissen. Sie sollte aus verzinktem Stahl oder Edelstahlstäben bestehen. Um die Zwängungskräfte in Glassteinwänden zu reduzieren, müssen in Abständen von 6 m Trennfugen angeordnet werden, bei deren Ausbildung auch auf das Abtragen der auf das Bauteil einwirkenden horizontalen Kräfte geachtet werden muss. Der seitliche Anstrich auf den einzelnen Steinen darf nicht zerstört werden, er sorgt für die Haftung am Beton. Die Fugen müssen ausreichend dicht sein, um eine Durchfeuchtung der Mörtelrippen zu verhindern. Verglasungen mit Glassteinen können in unterschiedlichen Feuerwiderstandsklassen ausgeführt werden.
Abb. 3.1.52 zeigt eine Glassteindecke mit Hohlkörpersteinen. Beide Konstruktionen können mit entsprechenden Anschlüssen auch an horizontalen Dächern eingesetzt werden. Bei tragenden Glassteindecken oder auch Glas-Stahlbeton-Decken wird im Zusammenwirken zwischen Glasstein, Beton und Bewehrung das Glas statisch mitbeansprucht. Deshalb muss der Glasstein in den umgebenden Beton ohne Trennung eingebettet sein, damit er die aus der Gesamtkonstruktion übertragenden Kräfte aufnehmen kann. Der verwendete Glasstein muss für begehbare Konstruktionen geeignet sein. Für die auf dem Markt erhältlichen Produkte liegen in der Regel entsprechende Prüfzeugnisse vor. Glas-Stahlbeton-Konstruktionen sind durch Dehn- und Gleitfugen vor Zwängungskräften aus der Gebäudekonstruktion zu schützen.

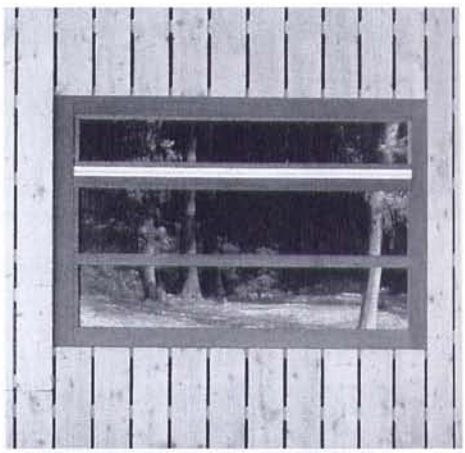
3.2 Öffnungen

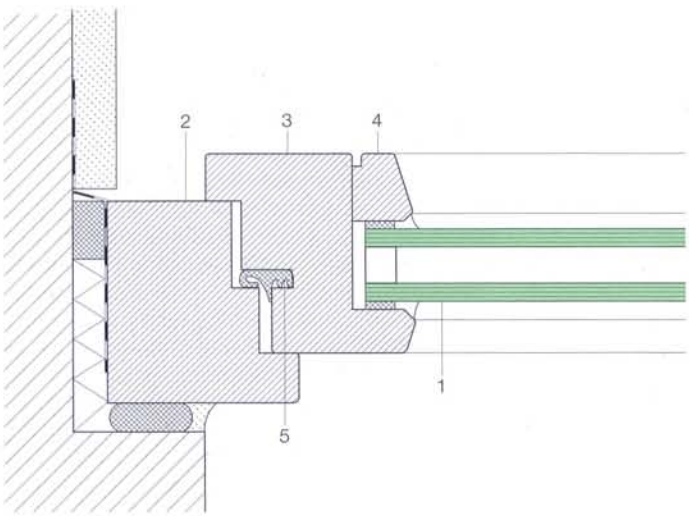
Fenster in massiver Wand

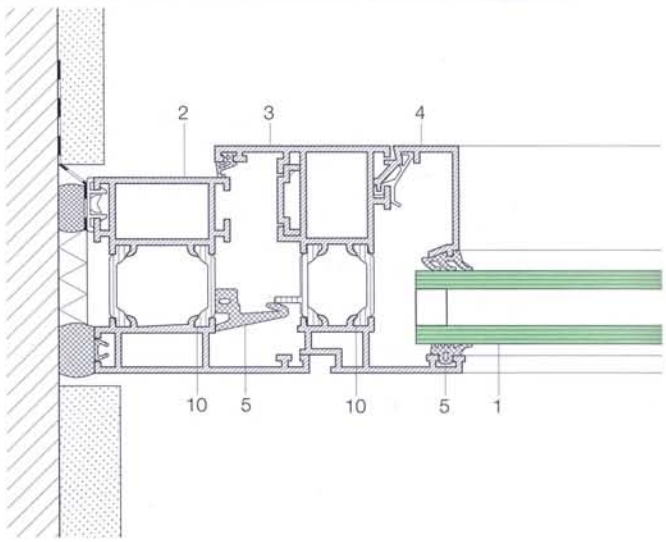
3.2.1 Holz
3.2.2 Aluminium
3.2.3 Stahl
3.2.4 Kunststoff

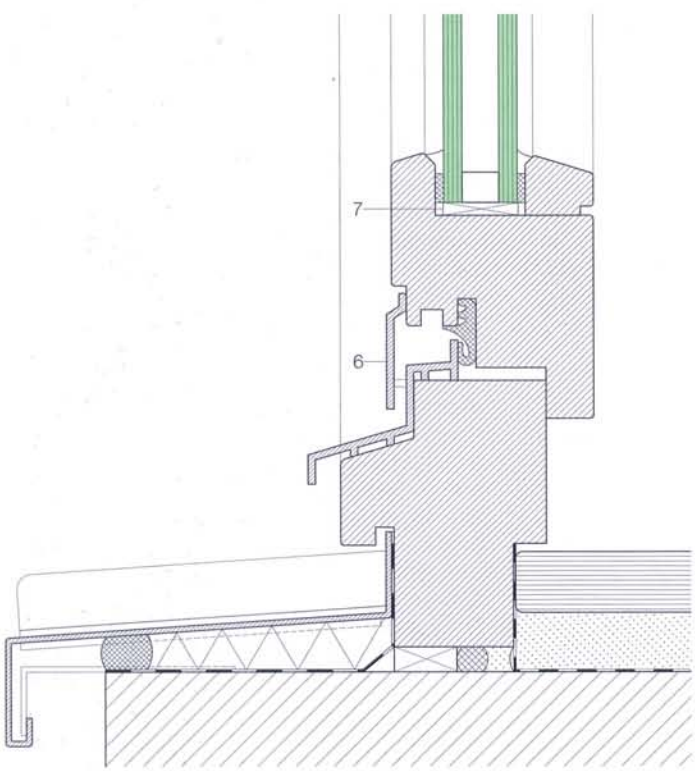
Horizontal- und Vertikalschnitte
Maßstab 1:2,5

Die Möglichkeiten der Glasbefestigung zu den gezeigten Fenstern sind unter 3.1 »Glashalteleiste« (Seite 163, Abb. 3.1.1–3.1.4) dargestellt. Die Glashalteleiste wird in der Regel auf der Innenseite angebracht. Der Anschluss zum Mauerwerk ist ringsum wärmegedämmt und innenseitig dampfdicht auszuführen. An der Außenseite muss die Dichtung schlagregendicht und dauerhaft beständig gegen UV-Strahlung und andere äußere Einflüsse sein sowie ausreichenden Wetterschutz bieten. Bei Fenstern aus Aluminium ist die größere Ausdehnung infolge von Temperatureinflüssen im Vergleich zu Holz oder Stahl zu berücksichtigen.

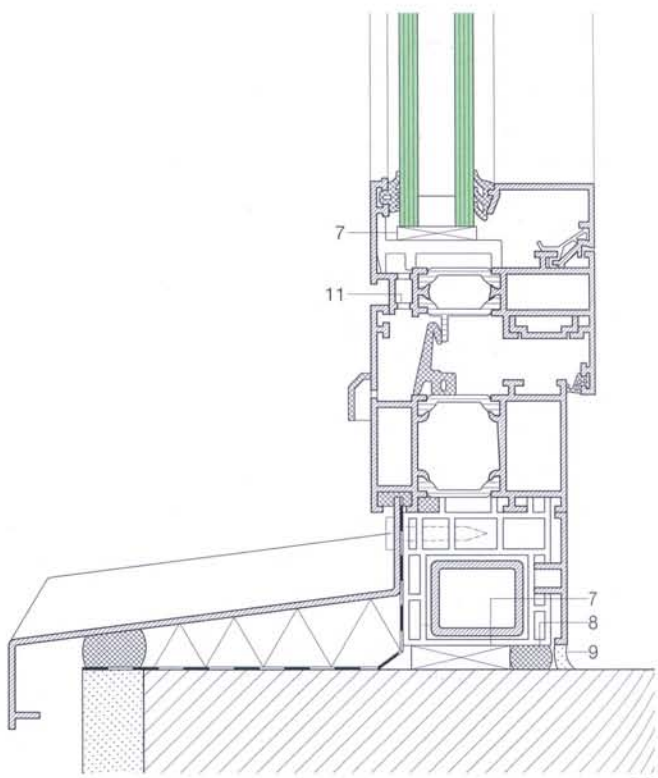








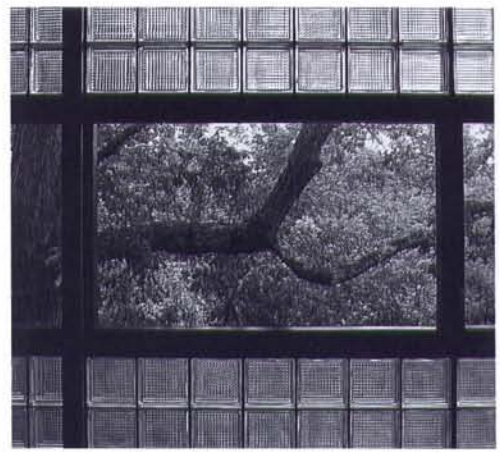
3.2.1

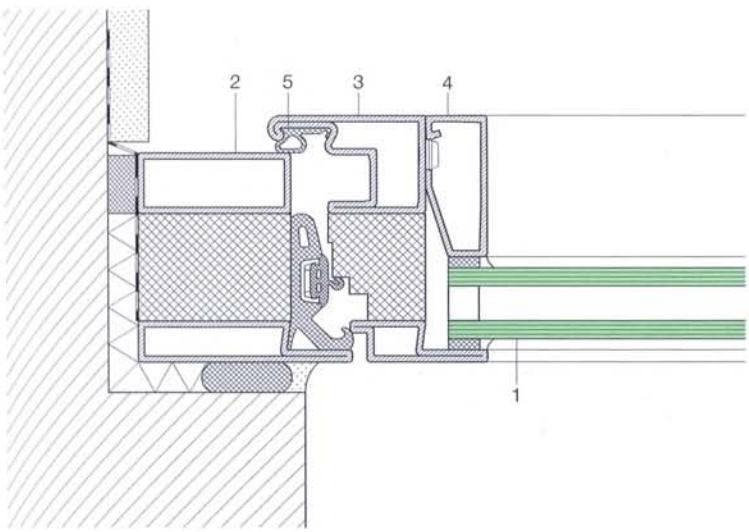


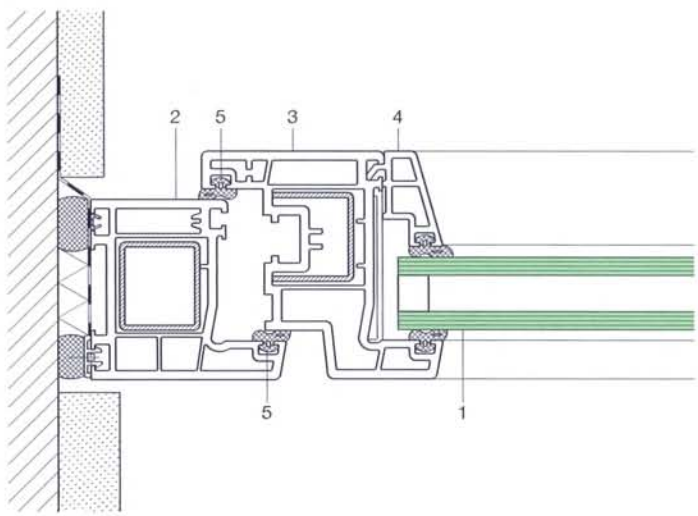
3.2.2

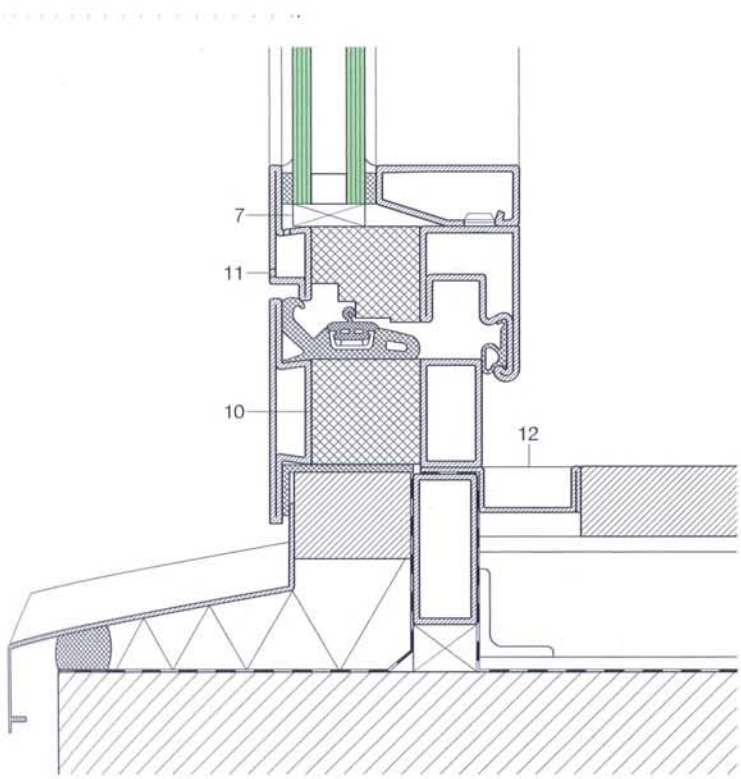
Abb. 3.2.1 und 3.2.2 zeigen Beispiele mit nur einer Mitteldichtung zwischen Blendrahmen und Flügel. Für den Wärmeschutz günstiger sind zwei Dichtungen, wie in Abb. 3.2.3 oder 3.2.4 gezeigt. Bei Abb. 3.2.3 ist eine Anschlagdichtung zusammen mit einer Mitteldichtung dargestellt. Die Drainage und der Dampfdruckausgleich müssen hier vor der äußeren Dichtung liegen. Die Entwässerung ist bei Metall- oder Kunststoffprofilen relativ einfach zu bewerkstelligen. Bei Holzfenstern erfolgt sie am besten über die Zapfenverbindung des horizontalen unteren Rahmenteils.

1 Isolierglas
2 Fensterstock
3 Fensterrahmen
4 Glashalteleiste
5 Dichtung
6 Regenschiene
7 Verklotzung
8 Vorlegeband
9 dauerelastische Verfugung
10 thermische Trennung
11 Drainageöffnung
12 Schwitzwasserrinne

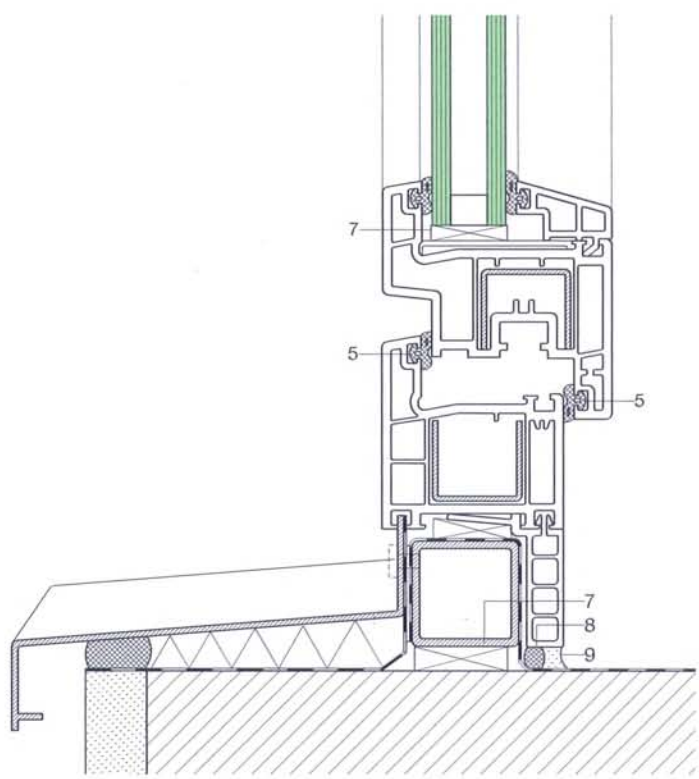








3.2.3



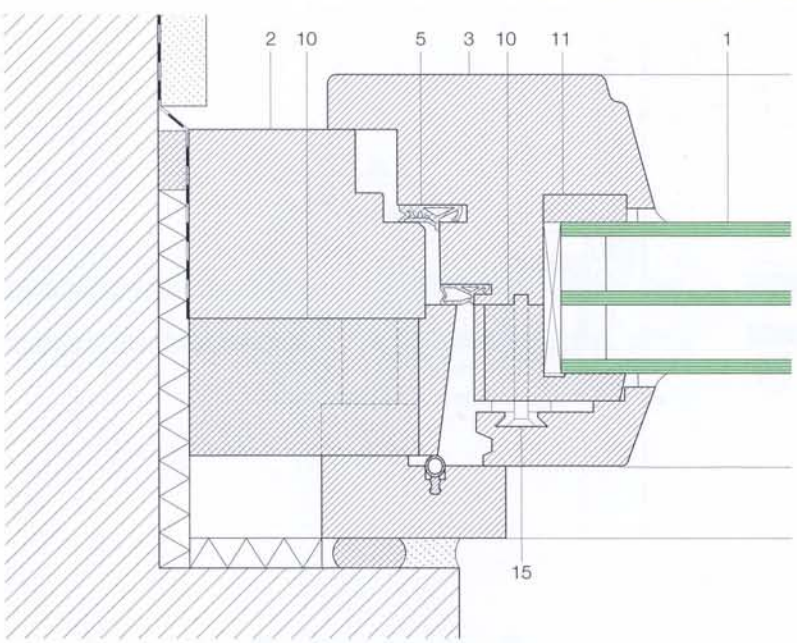
3.2.4

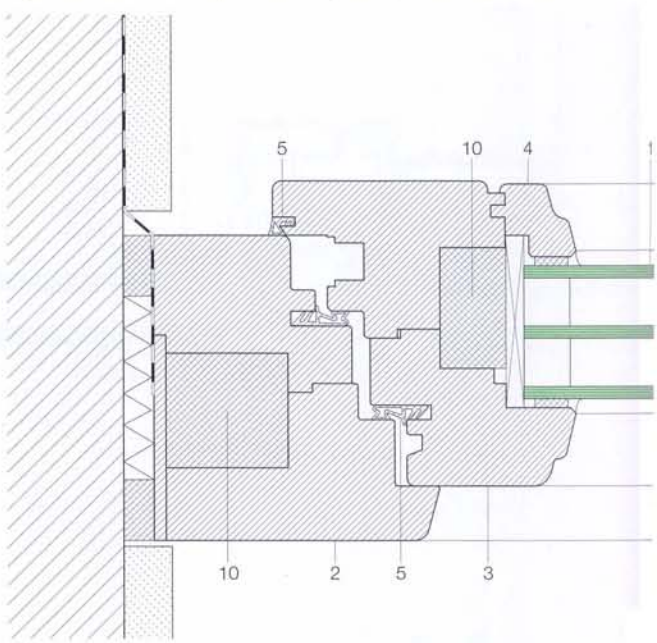
Fenster in massiver Wand

3.2.5 und 3.2.6 Passivhausfenster
3.2.7 Senkklappfenster
3.2.8 Fenster mit mittiger Drehachse

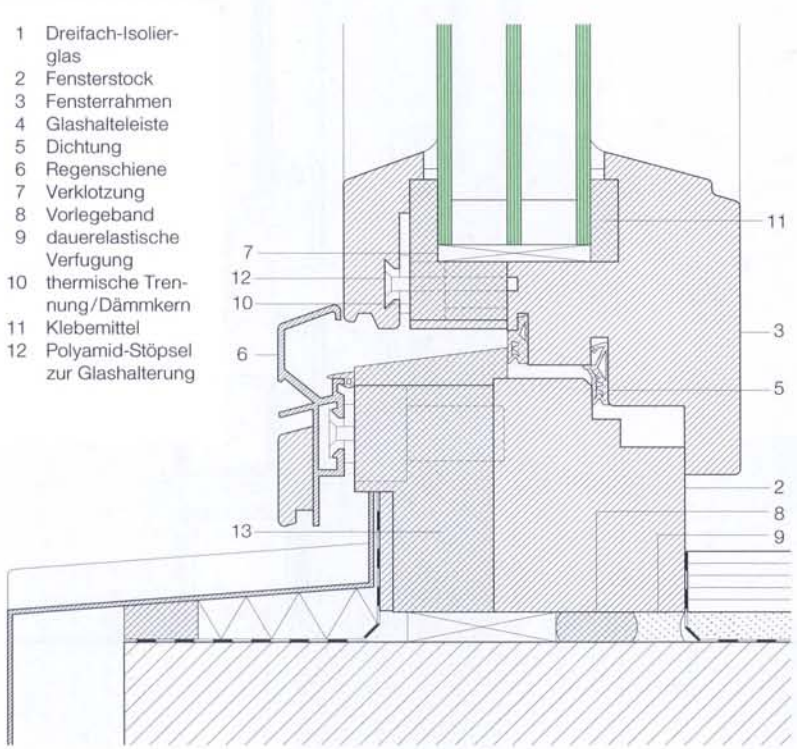
Horizontal- und Vertikalschnitte
Maßstab 1:2,5

Passivhäuser stellen hohe Anforderungen an die Bauteile und die eingesetzen Baustoffe, aber auch an die Lüftung und Nutzung. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster darf nicht größer sein als 0,8 W/m²K, damit diese als Passivhaus tauglich zertifiziert werden können. Neben einer Dreifach-Isolierverglasung sind dementsprechend besondere Dämmmaßnahmen im Bereich des Fensterrahmens notwendig.
Abb. 3.2.5 zeigt ein Passivhausfenster mit einer Flügelrahmendämmung aus Balsa bzw. Kork. Zudem besitzt dieses Fenster eine durch Verdrehen der Verbindungsteile (Drehklips) leicht abnehmbare Vorsatzschale, die eine relativ einfache Renovierung oder Austauschbarkeit ermöglicht. Der Flügel muss dazu geöffnet sein. Die Scheibe wird durch einen Polyamid-Stöpsel gehalten, der gleichzeitig auch die Mitteldämmung fixiert. Zur Einbruchhemmung ist die Glasscheibe mit dem Innenrahmen verklebt.
Im Gegensatz zu Abb. 3.2.5, die ein Beispiel mit Mitteldichtungen zwischen Blend- und Flügelrahmen zeigt, besitzt das Fenster der Abb. 3.2.6 zwei Mittel- und eine Anschlagsdichtung. Der Dämmkern wird hier nur lose eingelegt. Er ist vollkommen eingeschlossen, lässt jedoch eine Dampfdiffusion zu. Relativ schmale Ansichtsbreiten ermöglichen die Erhöhung des Glasflächenanteils und damit verbunden entsprechend günstige solare Gewinne.

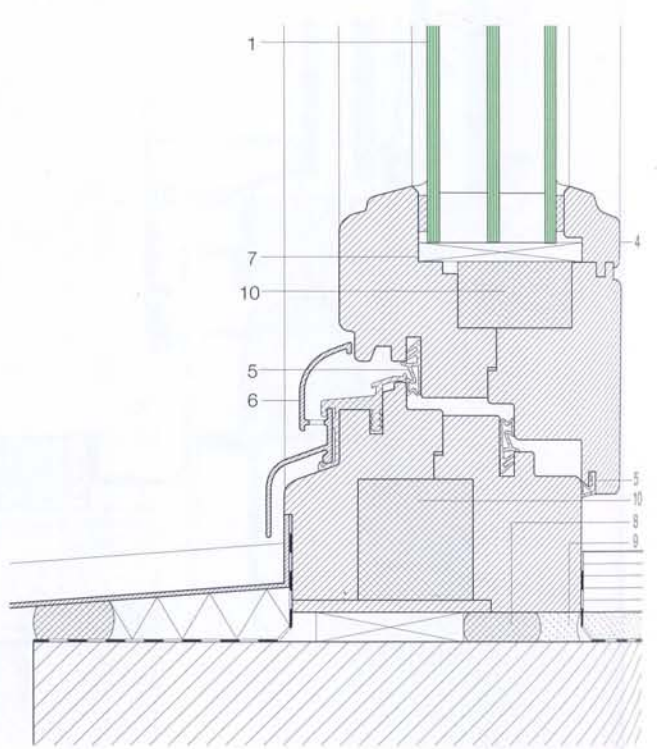




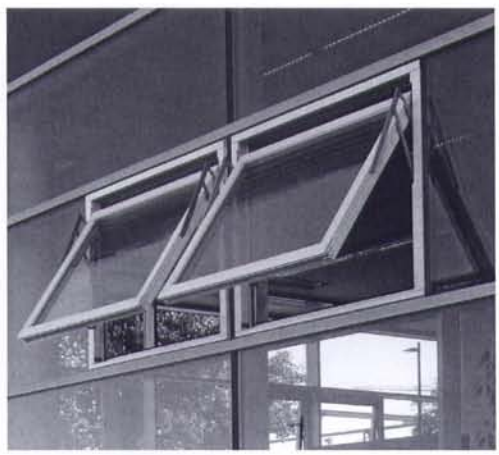
1 Dreifach-Isolierglas
2 Fensterstock
3 Fensterrahmen
4 Glashalteleiste
5 Dichtung
6 Regenschiene
7 Verklotzung
8 Vorlegeband
9 dauerelastische Verfugung
10 thermische Trennung/Dämmkern
11 Klebemittel
12 Polyamid-Stöpsel zur Glashalterung

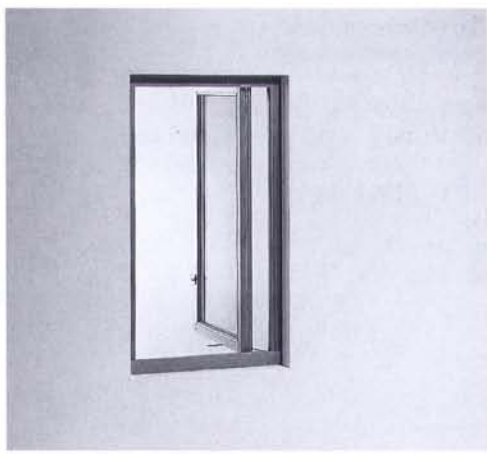


3.2.5



3.2.6



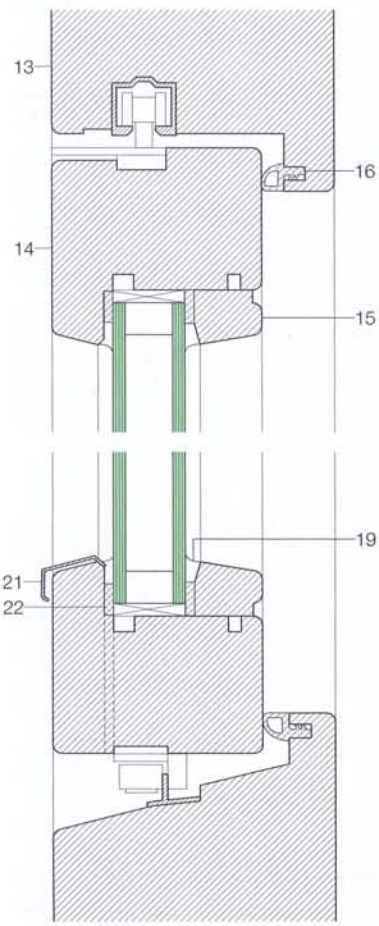


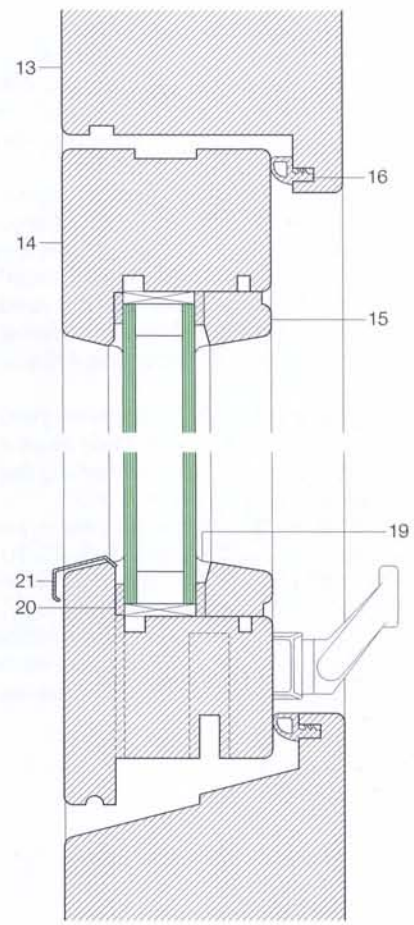
Bei den in Abb. 3.2.7 und 3.2.8 gezeigten Beispielen handelt es sich um Isolierglasfenster, die für Deutschland außergewöhnliche Drehachsen besitzen und aus norwegischen und englischen Beschlagskomponenten entwickelt wurden. Beide Varianten lassen sich mit einem Winkel von maximal 180° ausschließlich nach außen öffnen.

Abb. 3.2.7 zeigt die Variante mit Senkklappflügel um eine horizontale Drehachse. Die Bewegungsarme des Beschlagssystems sind seitlich im Rahmen integriert, ein U-Profil dient raumseitig als Führungsschiene. Das Wegschwingen nach außen ermöglicht raumseitige Freiheiten, da keine störenden Flügel berücksichtigt werden müssen.

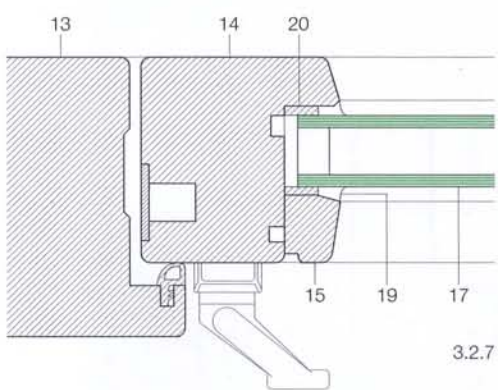
Abhängig von Größe und Ausladung aus der Fassade muss das Senkklappfenster die Anforderungen an Überkopfverglasungen erfüllen (siehe S. 100ff.).

Abb. 3.2.8 zeigt die Variante mit Drehschwenkflügel und vertikaler Drehachse.

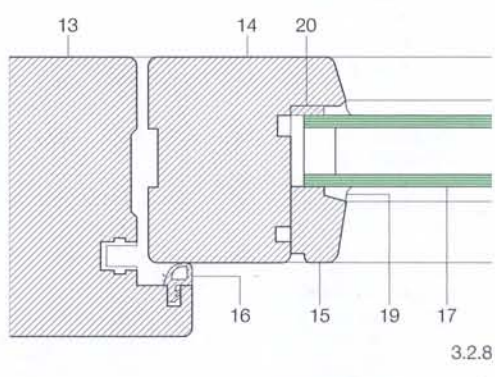




13 Fensterrahmen Holz 92/60mm
14 Fensterflügel Holz 68/65 mm
15 Glashalteleiste
16 Dichtung
17 Isolierverglasung
18 Glasfalzbelüftung Flügel
19 dauerelastische Verfugung (Silikon)
20 Vorlegeband
21 Flügelabdeckprofil



3.2.7

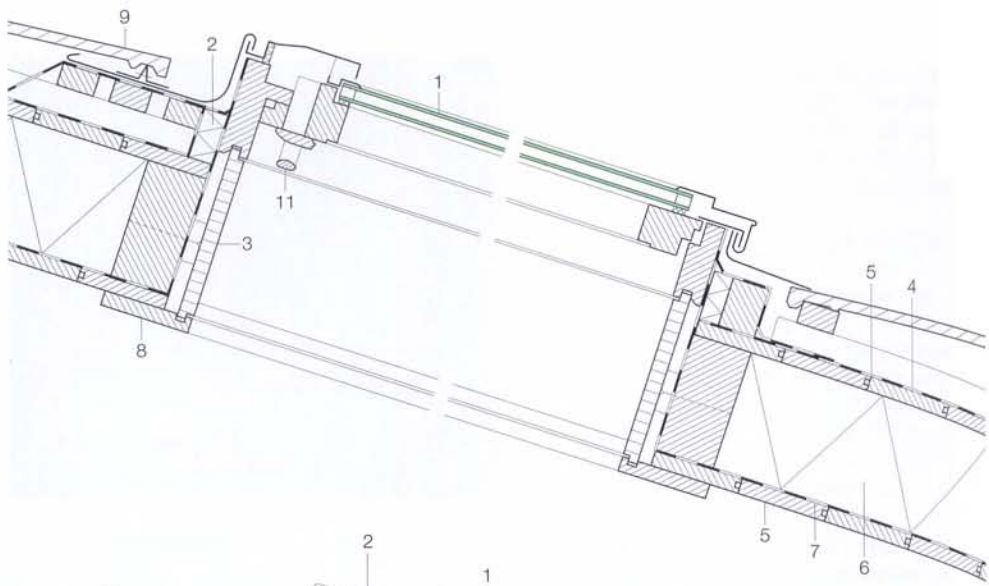


3.2.8

Dachflächenfenster
Oberlichtverglasung

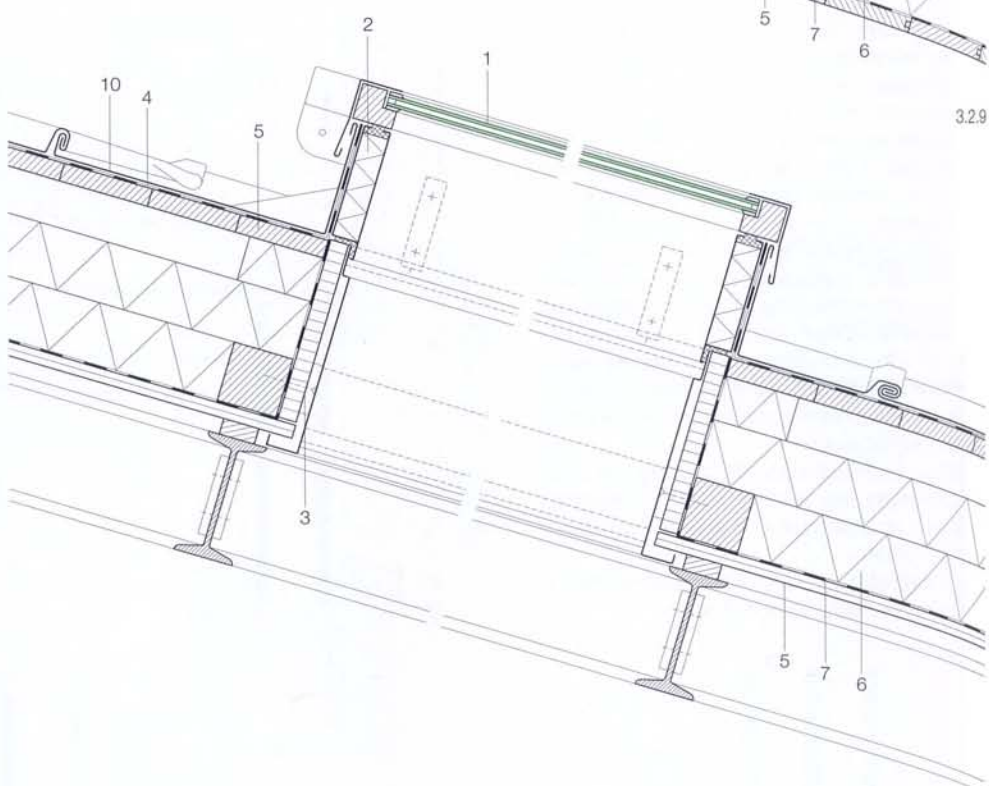
3.2.9 Schwingfenster
3.2.10 fest verglastes Dachflächenfenster mit Aufsatzkranz und Sattel
3.2.11 Glasoberlicht

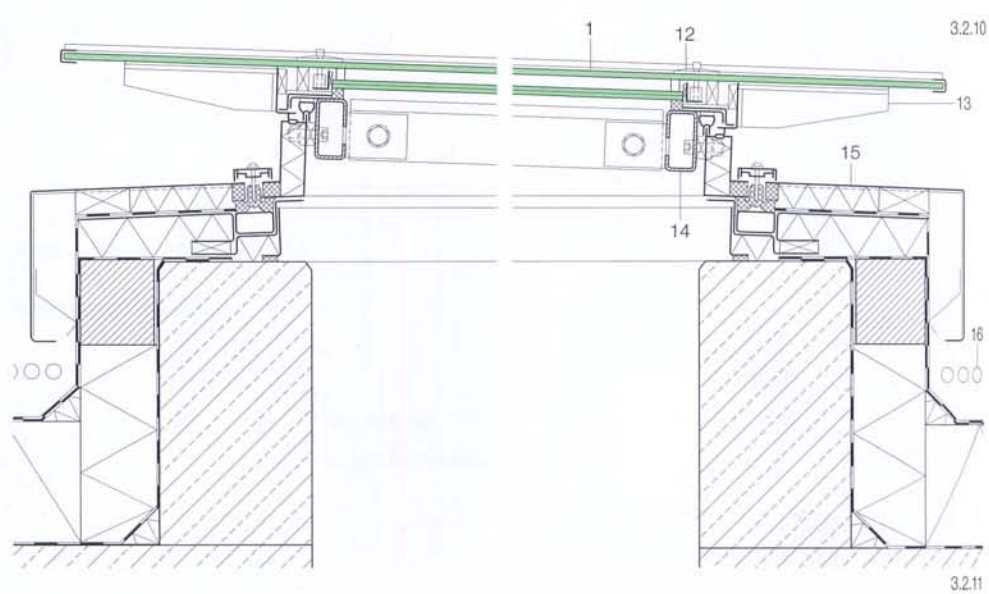
Vertikalschnitte
Maßstab 1:10



3.2.9

Dachflächenfenster mit passenden Eindeckrahmen gibt es für fast alle Dachdeckungsarten. Die Abmessungen von Dachflächenfenstern orientieren sich normalerweise an den üblichen Sparrenabständen und sind abhängig von der jeweiligen Dachneigung.
Dachfenster und Oberlichtverglasungen müssen die Anforderungen an Überkopfverglasungen erfüllen (siehe S. 100ff.). Je nach Anteil der Fensterfläche müssen sie auch beim Wärmeschutz besonders berücksichtigt werden.
Die meisten Dachflächenfenster bestehen aus einer Kombination von Holz- und Aluminiumprofilen.
Wenn Dachfenster und Oberlichtverglasungen betret- bzw. begehbar sind, dann muss auf eine entsprechende Dimensionierung des Glases geachtet werden (siehe S. 82).
Abb. 3.2.9 zeigt ein Schwingfenster in einem mit Ziegeln gedeckten Dach, Abb. 3.2.10 eine Festverglasung in einem Dach mit Doppelstehfalzdeckung mit Falzwechsel.
In allen Fällen muss der uneingeschränkte Wasserabfluss – besonders an der unteren Fensterkante – jederzeit gewährleistet sein.





3.2.10

3.2.11

1 Isolierverglasung
2 Dämm- und Anschlussrahmen
3 Innenfutter
4 Unterdeckbahn
5 Schalung
6 Wärmedämmung
7 Dampfsperre
8 Abdeckleiste
9 Ziegeldeckung
10 Metalldeckung
11 Edelstahlprofil T 50/50/6 mm
12 Edelstahlpunkthalter
13 Edelstahlkonsole
14 Stahlrohr
15 Kerndämmung feuchtigkeitsbeständig
16 Dachaufbau:
Kies
Abdichtung
Wärmedämmung
Dampfsperre
Stahlbeton

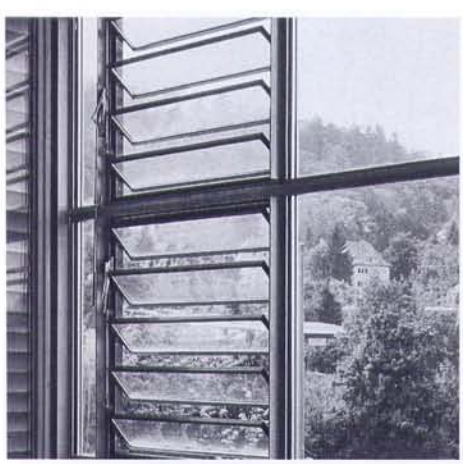
Lamellen

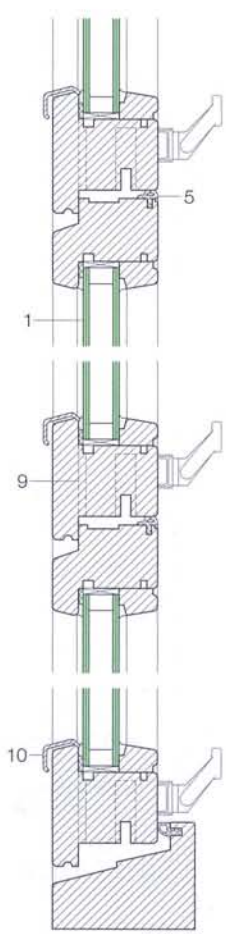
3.2.12 Isolierglas in Holzrahmen, thermisch getrennt
3.2.13 Einfachglas, rahmenlos
3.2.14 Isolierglas in Aluminiumrahmen, thermisch getrennt

Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

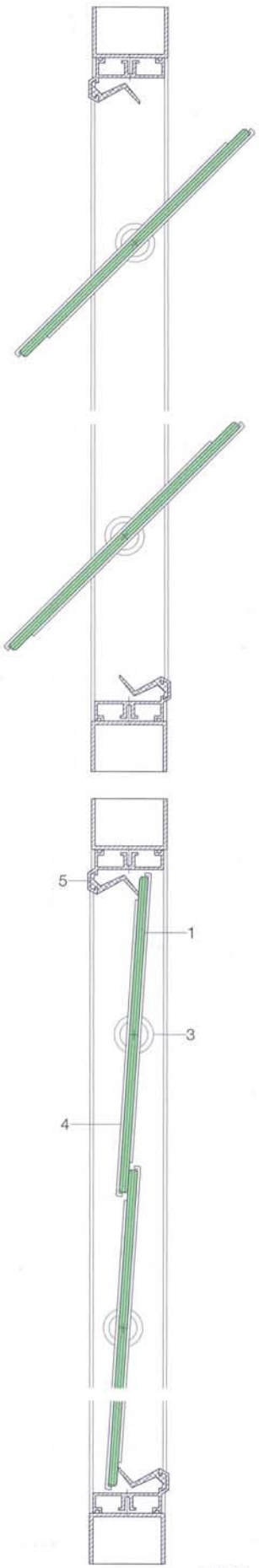
Lamellenfenster eignen sich für eine fein regulierbare Be- und Entlüftung von Räumen oder mehrschaligen Fassaden sowie zum Rauch-Wärme-Abzug bei RWA-Anlagen. Es sind zahlreiche Varianten in rahmenloser und gerahmter Ausführung sowie einfach- oder isolierverglast verfügbar, wobei die gleichen statischen Grundanforderungen wie beispielsweise an ein Wendefenster gelten. In Abhängigkeit von ihrer Größe und Ausladung aus der Fassade müssen Lamellen die Anforderungen an Überkopfverglasungen erfüllen (siehe S. 100ff.). Dieser Aspekt sollte frühzeitig zwischen den Planungsbeteiligten und der Bauaufsichtsbehörde abgestimmt werden.

1 Einfachglas
2 Isolierglas
3 Drehachse
4 seitliches Glashalteprofil
5 Anschlagdichtung
6 thermisch getrenntes Rahmenprofil
7 Bürstendichtung
8 Rahmen/ Einbaurahmen
9 Glasfalzbelüftung
10 Flügelabdeckung

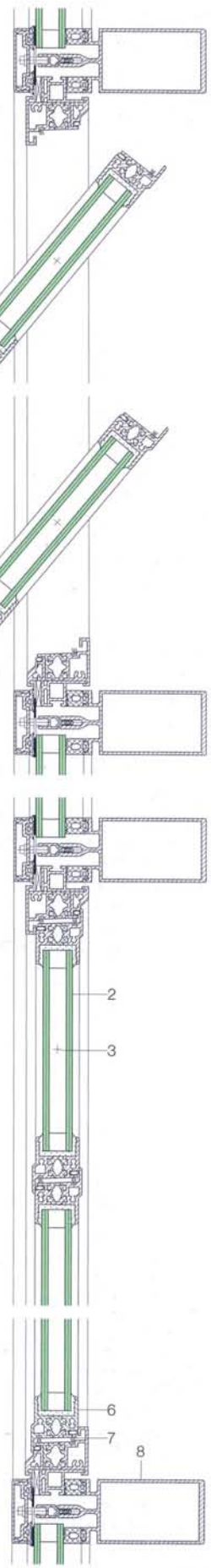




3.2.12



3.2.13

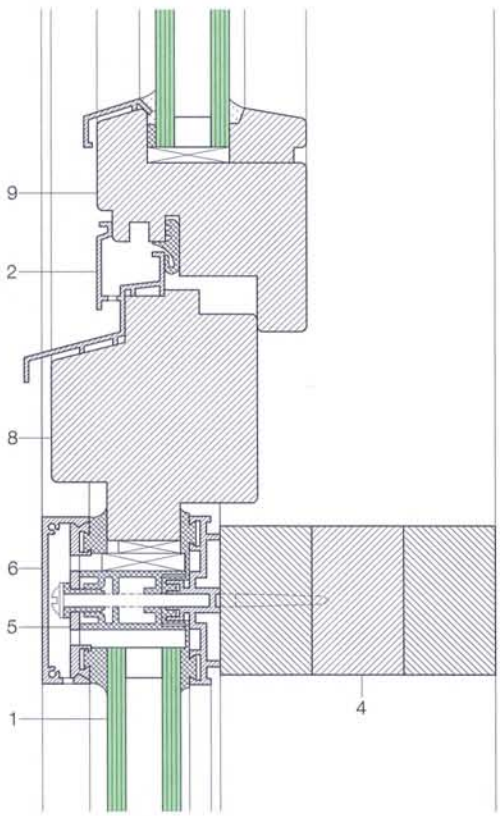


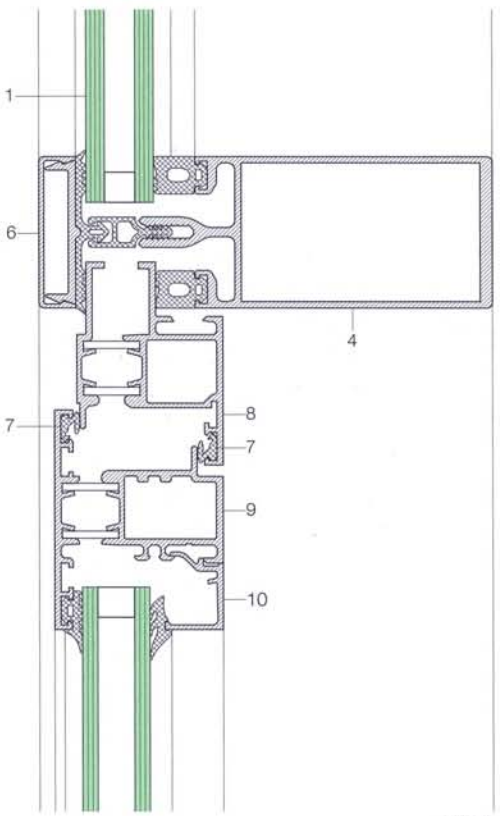
3.2.14

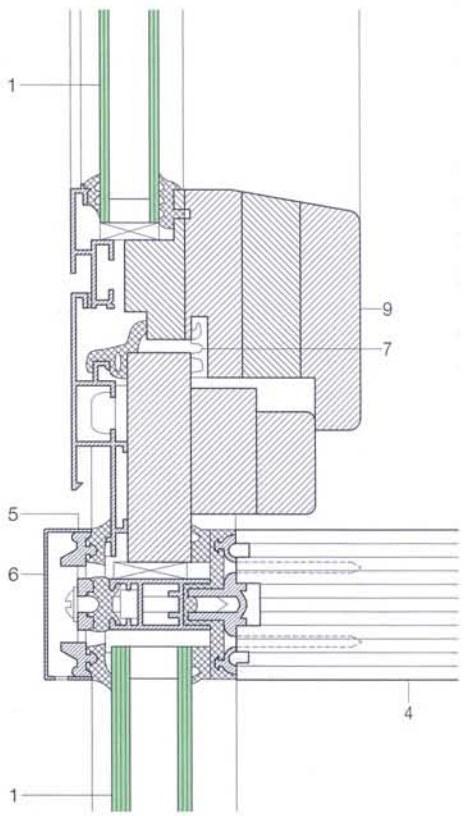
Öffnung in Pressleistenverglasung und Structural-Sealant-Glazing-Fassade

3.2.15 Pressleiste/Holzfenster
Vertikal- und Horizontalschnitt
3.2.16 Pressleiste/Aluminiumfenster
Vertikalschnitt
3.2.17 Pressleiste/Holz-Aluminium-Fenster
Vertikal- und Horizontalschnitt
3.2.18 SSG geklebt
Horizontal- und Vertikalschnitt
3.2.19 SSG mechanisch gesichert
Horizontal- und Vertikalschnitt
3.2.20 SSG punktförmig mech. gesichert
Vertikalschnitt
Maßstab 1:2,5

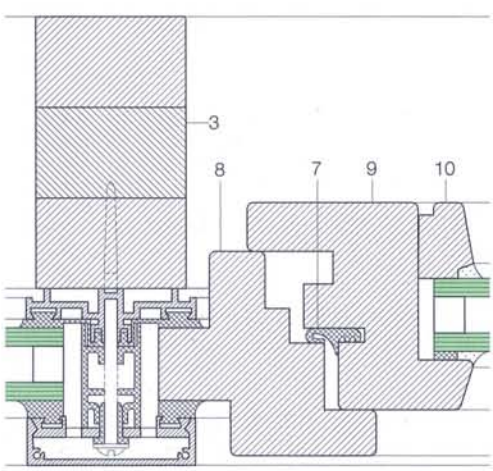
In Abb. 3.2.15–3.2.17 sind Möglichkeiten für den Anschluss eines Öffnungsflügels an eine Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Pressleistenverglasung dargestellt. Der Blendrahmen des Fensters wird hier wie eine Isolierglasscheibe zwischen Tragprofil und Anpressleiste eingesetzt.
Abb. 3.2.15 zeigt einen Glasleistenanschluss mit direkter Anlage an das Isolierglas ohne Vorlegeband. Hierbei ist unbedingt eine kleine Fuge vorzusehen, damit die Scheibe beim Befestigen der Glasleiste nicht eingespannt wird oder die Glaskanten verletzt werden. Eine Dreiflankenhaftung des Dichtstoffs wird damit verhindert, und die Abdichtung bleibt elastisch.



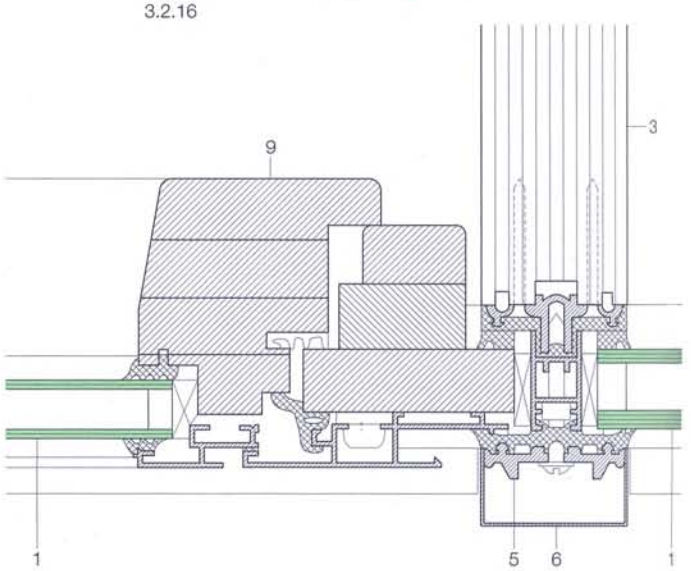




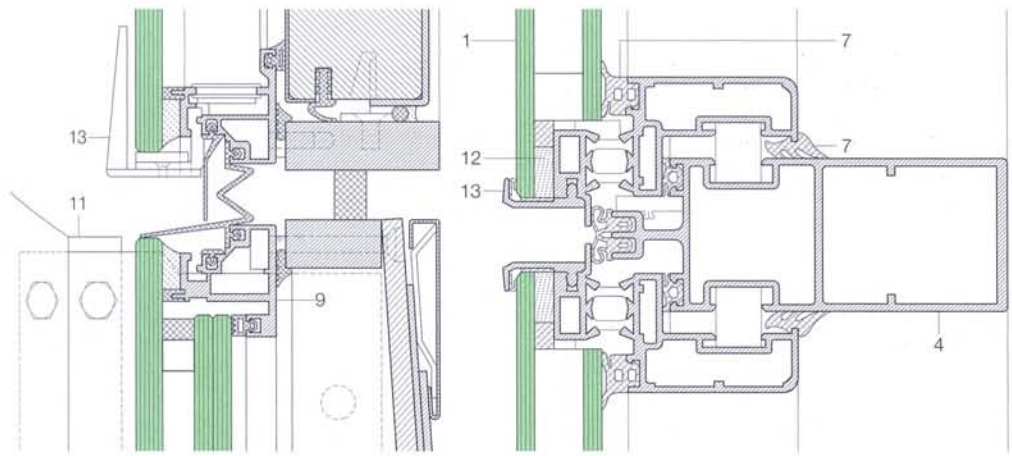
3.2.16



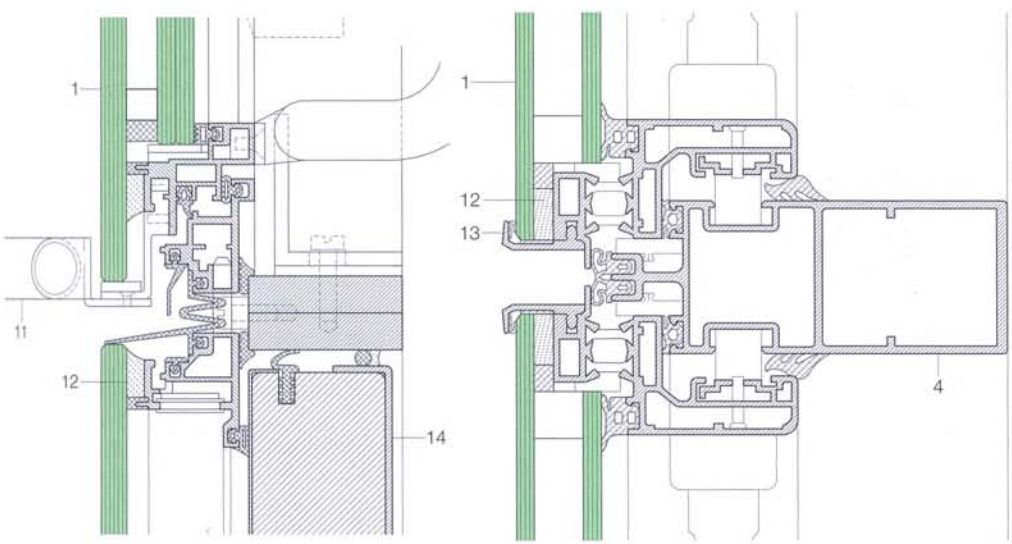
3.2.15

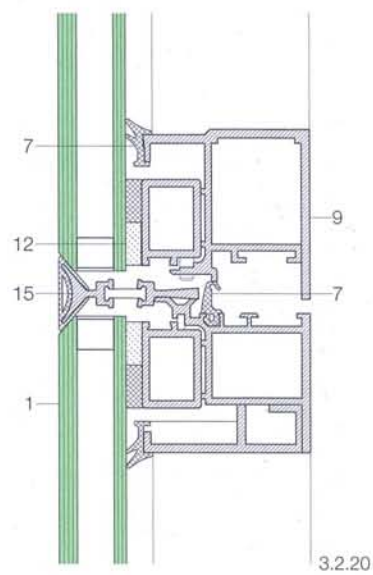


3.2.17

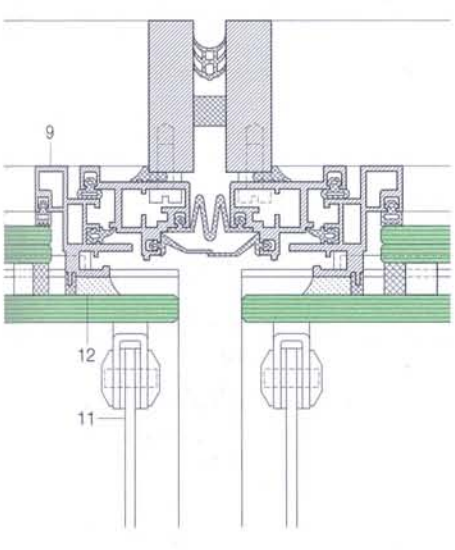


1 Isolierglas
3 Pfosten
4 Riegel
5 Druckprofil, thermisch getrennt
6 Deckprofil
7 Dichtung
8 Fensterstock
9 Fensterrahmen / Elementrahmen / Öffnungsflügel
10 Glashalteleiste
11 Sonnenschutz-element
12 Kleber
13 mechanische Sicherung
14 wärmegedämmtes Paneel
15 Integralprofil

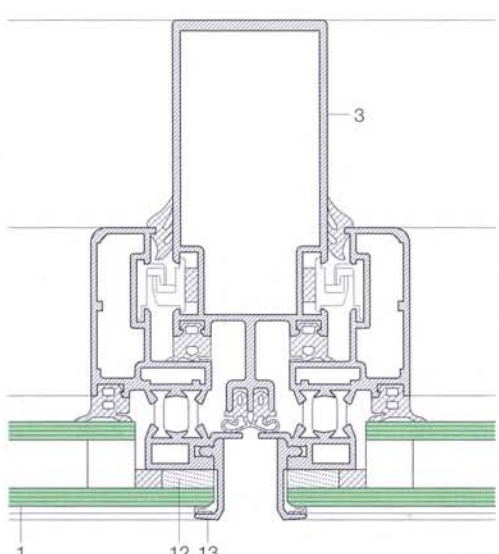




3.2.20

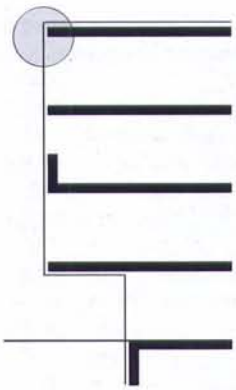


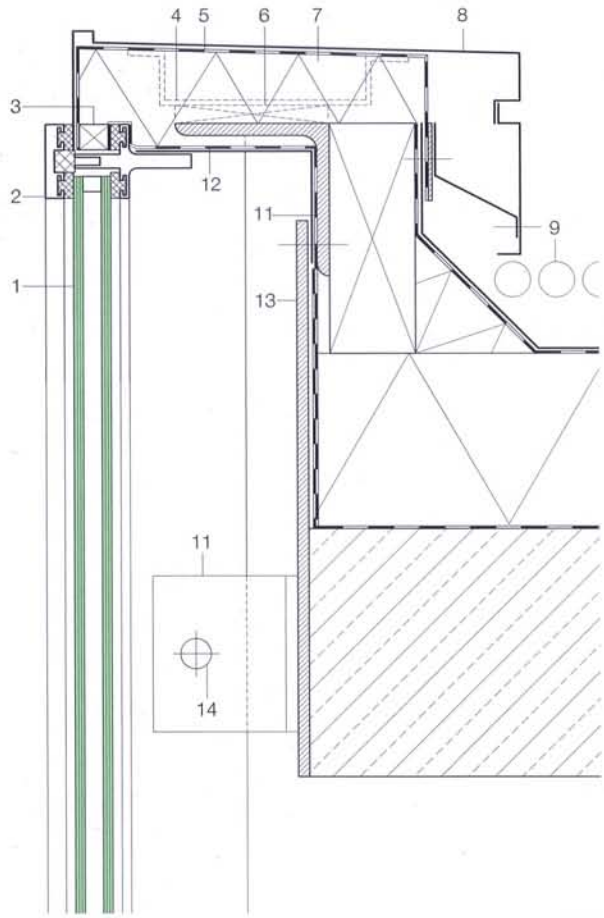
3.2.18



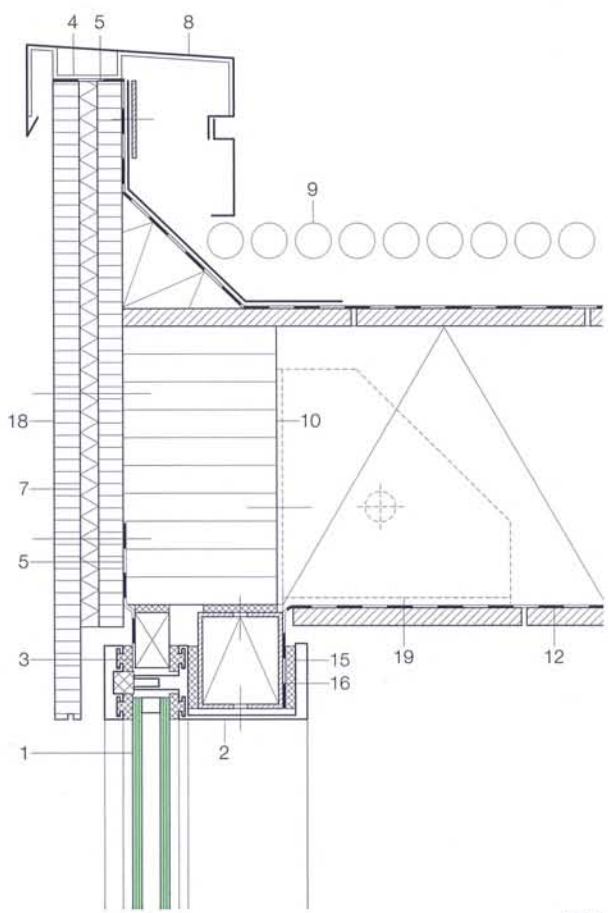
3.2.19

Abb. 3.2.18–3.2.20 zeigen Öffnungsmöglichkeiten bei SSG-Verglasungen. In Abb. 3.2.18 ist ein Kippflügel mit den Metallprofilen der vorgehängten Sonnenschutzeinrichtung kombiniert. Die beiden Auflager müssen unterschiedlich hart sein, damit der Randverbund keine erhöhte Scherbelastung erhält.
Abb. 3.2.20 zeigt dagegen die Öffnungsmöglichkeit in einer SSG-Verglasung, die punktförmig mechanisch gesichert wird. Wie bereits auf S. 166f. erwähnt, ist die ausschließliche Befestigung der Scheiben durch Verkleben in Deutschland nur bei Einbauhöhen bis zu 8 m über Gelände erlaubt.





3.3.1



3.3.2

1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Distanzhalter Kunststoffklotz
4 Blechhafte
5 Feuchtigkeitssperre (EPDM-Bahn)
6 EPDM/APTK-Auflager
7 Wärmedämmung
8 Aluminiumblech eloxiert
9 Dachaufbau: Kiesschüttung Abdichtung Wärmedämmung Dampfsperre
10 Schichtholzträger
11 Stahlwinkel
12 Dampfsperre
13 Stahlblech
14 Schraube in Langloch
15 dauerelastische Dichtung
16 Aluminiumprofil gedämmt, thermisch getrennt
17 Bewegungsfuge
18 Sperrholz wasserfest verleimt
19 Auflagerschuh
20 Aluminiumwinkel an Unterkonstruktion geschraubt
21 textiler Sonnenschutz
22 Stahlschwert
23 Fassadenpaneel gedämmt
24 Befestigungsschiene
25 Stahlträger gelocht
26 Edelstahlplatte verschraubt
27 Stahlrohr
28 Stahltrapezblech

3.3 Architekturdetails

Flachdachanschluss

3.3.1 Betonkonstruktion
3.3.2 Holzkonstruktion
3.3.3 Stahlkonstruktion/Durchdringung
3.3.4 Stahlkonstruktion mit Blendblech/Sonnenschutz

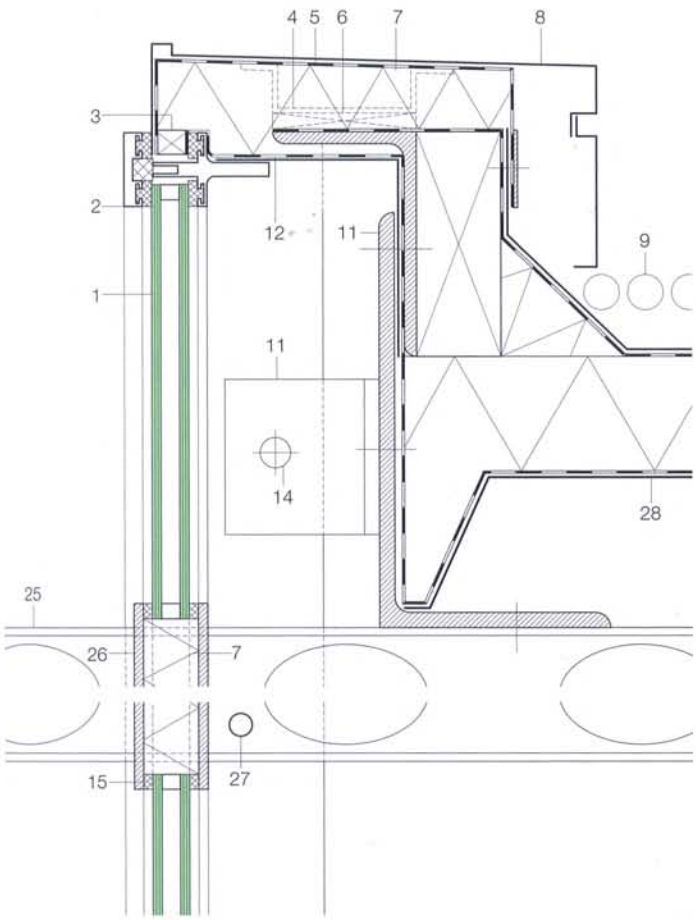
Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

Exemplarisch zeigen die folgenden beiden Seiten Varianten von Flachdachanschlüssen mit unterschiedlichen gestalterischen und konstruktiven Eigenschaften sowie verschiedenen Materialien gezeigt.

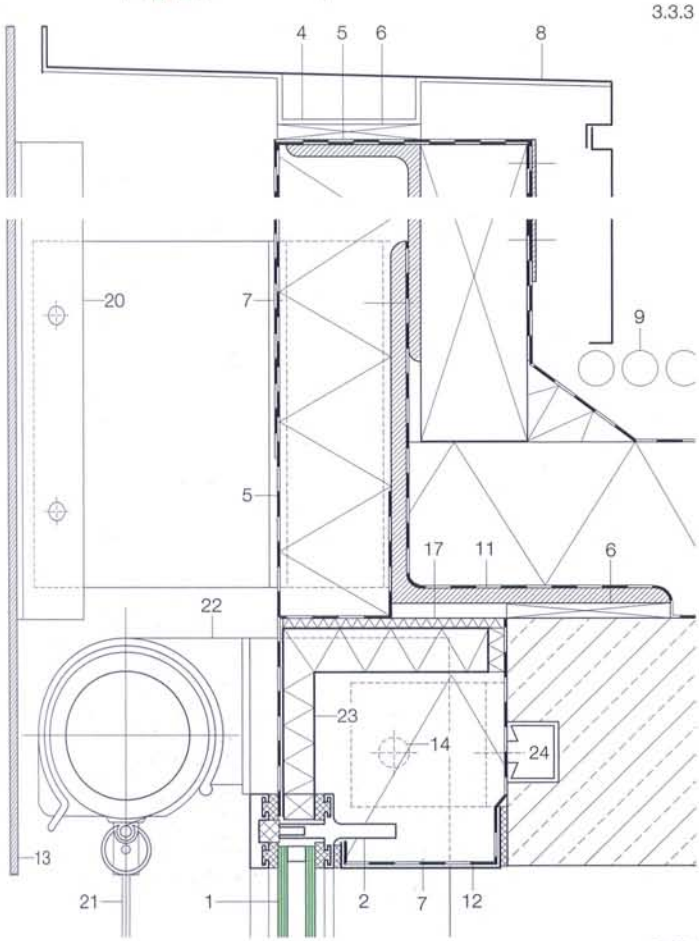
Abb. 3.3.1 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Stirnseite der Decke und der darüber liegende Dachaufbau sind mit einem im Beton verankerten Stahlblech verkleidet. Die Befestigung der Pfosten erfolgt durch daran angeschweißte Winkelprofile. Der obere Fassadenriegel wird diffusions- und luftdicht an das Stirnblech angeschlossen. Der Abstand zwischen Verglasung und Verkleidungsblech der Deckenstirnseite sollte die Reinigung der Scheibe ermöglichen. Wärmerückstrahlungen von der Deckenstirnseite können infolge unterschiedlicher Aufheizung zu Spannungen im Glas führen. Bei einer stehenden Luftschicht kann es hier zu Tauwasserausfall kommen. Eine geeignete Belüftung im Attikabereich – z.B. durch den Einbau von Lüftungsklappen – sollte bei der Planung berücksichtigt werden.

Abb. 3.3.2 Die Primärkonstruktion ist ein gedämmter Holzgitterrost; vorgehängte Holztafeln bilden die Attika. Der Fassadenanschluss erfolgt in zwei Ebenen: in der Glasebene durch einen eingeklemmten Kunststoffklotz, in der konstruktiven Ebene durch ein thermisch getrenntes, gedämmtes Aluminiumrohr. Der Anschluss muss Bewegungen aus der Fassade und Verformungen der Primärkonstruktion infolge Verkehrslasten, Wärmedehnung usw. aufnehmen können, dauerhaft diffusions- und luftdicht sowie wärmegedämmt sein.

Abb. 3.3.3 Die Primärkonstruktion ist aus Stahl. Die Fassadenpfosten sind über Stahlwinkel an die Tragkonstruktion angeschlossen. Die punktuell die Fassade durchdringenden Stahlträger stellen Wärmebrücken dar. Möglicherweise anfallendes Tauwasser sollte kontrolliert, z.B. mittels einer Tauwasserrinne, abgeführt werden. Die Fuge zwischen Außenhaut und Träger muss unterschiedliche Bewegungen aus Tragkonstruktion und Fassade (insbesondere Wärmedehnung und Windlasten) aufnehmen können und dauerhaft diffusions- und luftdicht sein. Üblicherweise wird diese Fuge durch eine außenseitig angebrachte Edelstahlmanschette abgedeckt.

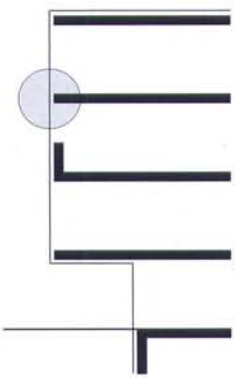


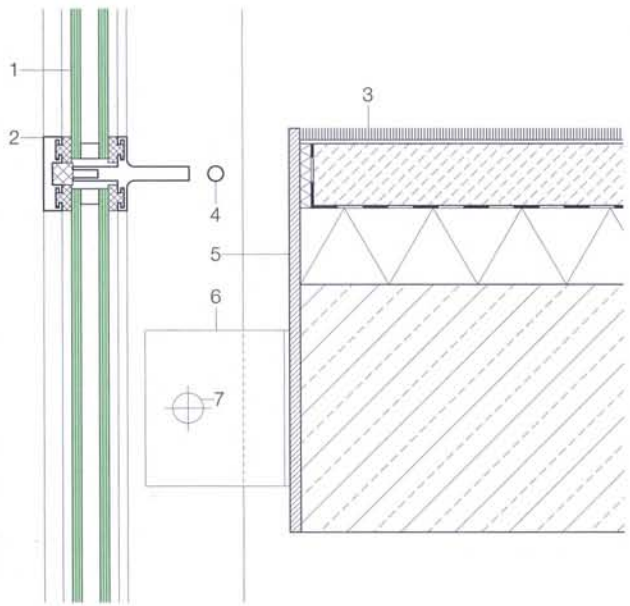
3.3.3



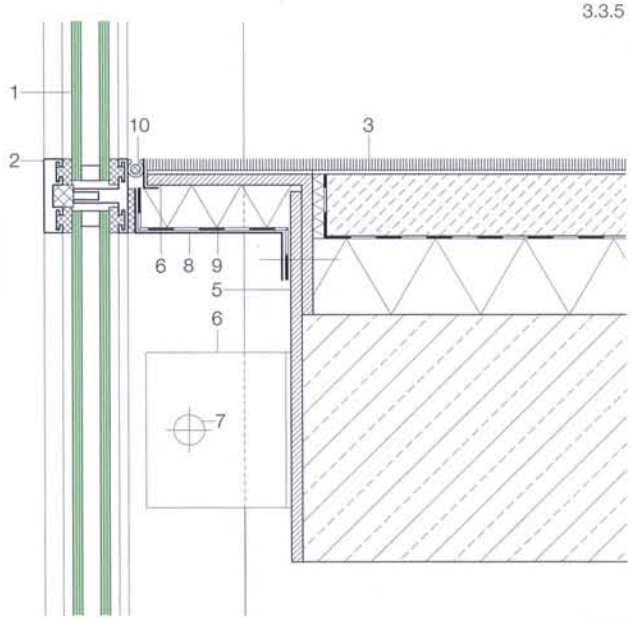
3.3.4

Abb. 3.3.4 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Fassadenpfosten sind über eine Befestigungsschiene an die Tragkonstruktion montiert. Das obere Fassadenpaneel ist diffusionsdicht anzuschließen. Der vorgehängte Sonnenschutz sollte unabhängig von der Fassadenkonstruktion angebracht sein (Gewährleistungsprobleme). Ein Blendblech verdeckt den Sonnenschutzbehang.

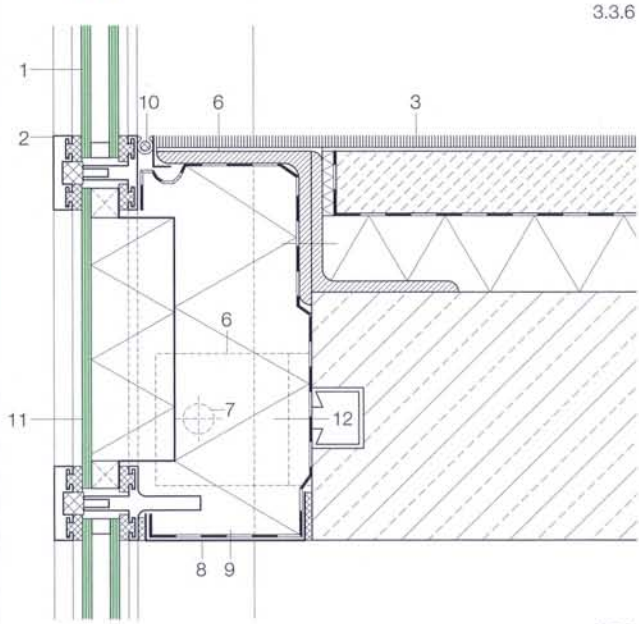




3.3.5



3.3.6



3.3.7

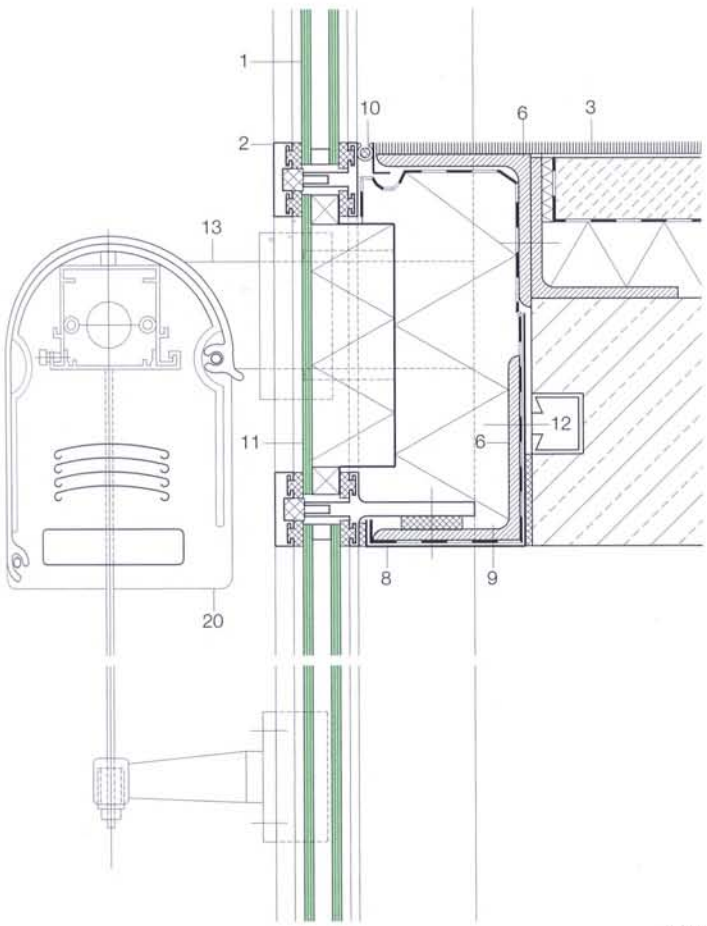
1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Bodenaufbau: textiler Belag Estrich Trennlage Wärmedämmung Stahlbeton
4 Durchtrittsicherung Edelstahlrohr
5 Stahlblech feuerverzinkt
6 L-Stahlprofil feuerverzinkt
7 Schraube in Langloch
8 Aluminiumblech-abdeckung und Dampfsperre
9 Wärmedämmung
10 Bewegungsfuge dauerelastische Dichtung
11 Fassadenpaneel: ESG bedruckt Dämmung Aluminiumblech
12 Befestigungsschiene
13 Stahlschwert feuerverzinkt
14 Holzrost
15 Aluminiumprofil thermisch getrennt, gedämmt
16 Distanzhalter Kunststoffklotz
17 EPDM / APTK-Auflager
18 Fassadenpaneel: Aluminiumblech Wärmedämmung
19 Holzschalung
20 Horizontallamellen Jalousie
21 textiler Sonnenschutz
22 Dampfsperre

Deckenanschluss

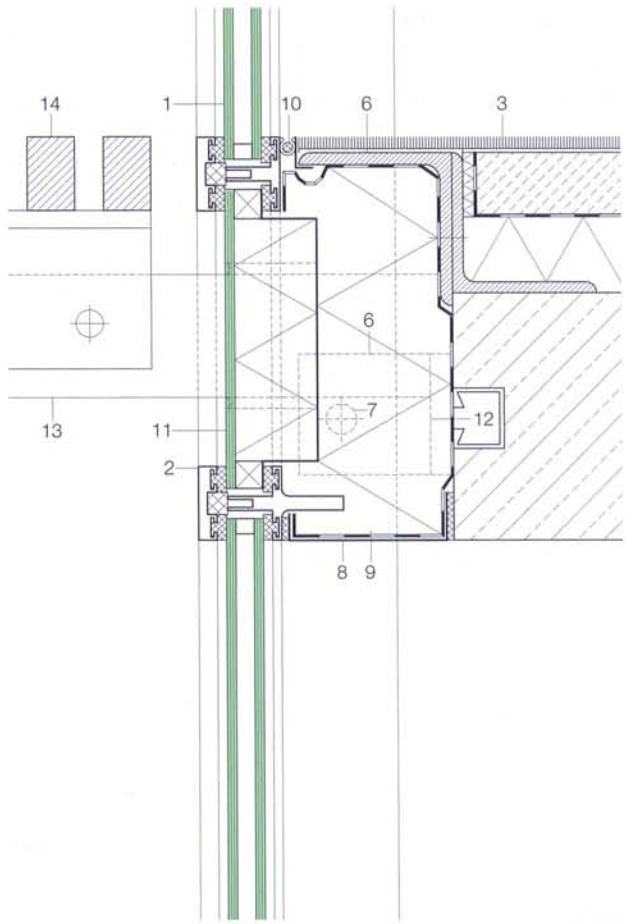
3.3.5 Fassade frei durchlaufend
3.3.6 Bodenbelag bis Außenhaut
3.3.7 rauchdichter Anschluss
3.3.8 rauchdichter Anschluss/Jalousie
3.3.9 rauchdichter Anschluss/Markise
3.3.10 rauchdichter Anschluss/Rost
3.3.11 Anschlusspunkt im Holzbau

Vertikalschnitte Maßstab 1:5

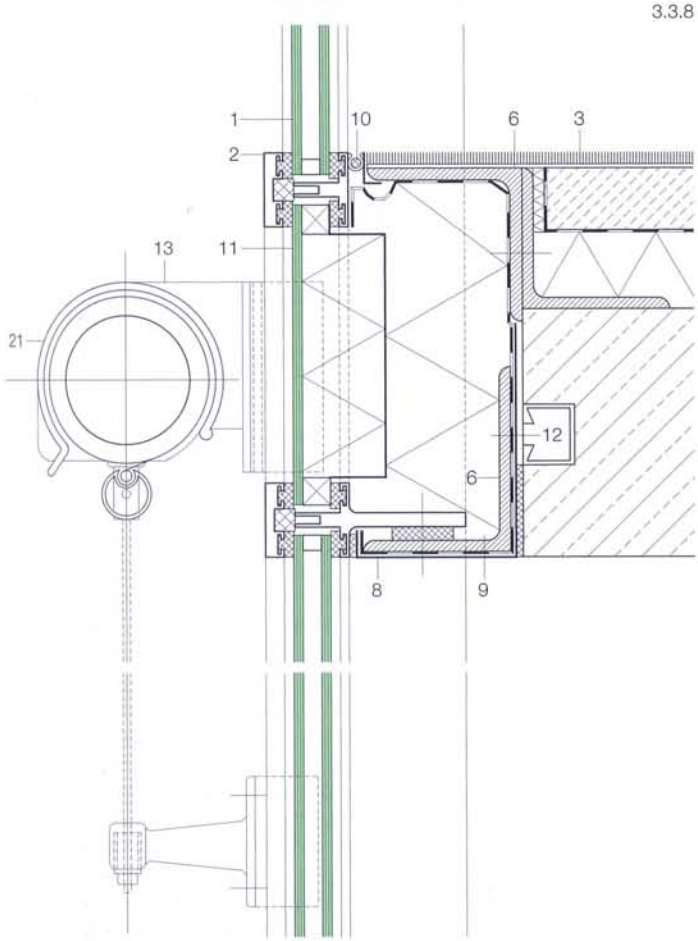
Bei den im Folgenden vorgestellten Deckenanschlüssen sind die Anforderungen hinsichtlich Brand-, Wärme- und Schallschutz unterschiedlich. Wird die Verglasung bis zum Fußboden geführt, so ist zu beachten, dass Reinigungsmaschinen oder andere bewegliche Elemente die Glasscheiben verletzen und Kerben verursachen können, die Ausgangspunkte für Brüche darstellen. Übernimmt die Fassadenverglasung auch eine absturzsichernde Funktion, so sind bei Auswahl der Glasart und Konstruktion die Anforderungen der Bauaufsichtsbehörden und die TRAV (Technische Richtlinie für absturzsichernde Verglasungen) zu berücksichtigen.
Abb. 3.3.5 Die Fassade läuft vor der Deckenstirn durch, die Deckenfront wird von einem Stahlblech gebildet. Die Fuge zwischen Fassade und Decke ist offen. Der Pfosten ist über ein angeschweißtes Stegblech an der Primärkonstruktion befestigt. Im Zwischenraum zur Decke wird in der Regel ab 6 cm lichter Fuge eine Durchtrittssicherung erforderlich. Vorgaben macht die jeweilige Landesbauordnung.
Abb. 3.3.6 entspricht Abb. 3.3.5, jedoch wird der Bodenbelag zur Fassade vorgezogen. Lasten aus der Decke dürfen nicht in die Fassade eingeleitet werden. Der Anschluss muss dauerelastisch ausgebildet sein, ist aber nicht rauchdicht und genügt auch nicht den Anforderungen an den Schallschutz nach DIN 4109.
Abb. 3.3.7–3.3.10 Die Fassade ist im Deckenstirnbereich getrennt. Die Anschlüsse sind rauchdicht, diffusions- und luftdicht ausgebildet. Die Schalllängsleitung der Fassade ist bei erhöhten Anforderungen an den Schallschutz (DIN 4109) zu prüfen. Der Durchdringungspunkt für die Befestigung eines Sonnenschutzes (Abb. 3.3.8–3.3.10) stellt eine Wärmebrücke dar. Diffusions- und luftdichte Anschlüsse sowie sorgfältige Dämmung sind erforderlich. Daneben muss die Fuge im Glaspaneel Bewegungen der Fassade, der vorgehängten Schicht und der Primärkonstruktion aufnehmen können und dauerhaft elastisch geschlossen sein. Wird die Vertikalmarkise mit einem Montageprofil im Schraubkanal des Fassadenpfostens befestigt (Abb. 3.3.8 und 3.3.9), wird die Außenhaut nicht durchstoßen. Diese Maßnahme verlangt eine klare Abstimmung mit der Fassaden- und Sonnenschutzfirma (Gewährleistung).
Abb. 3.3.11 Die Primärkonstruktion bildet ein gedämmter Holzgitterrost. Die Fassade wird geschossweise durch den Holzträger getrennt. Sitzt die Fassade auf der Geschossdecke, ist auf einen beweglichen oberen Anschluss zu achten.



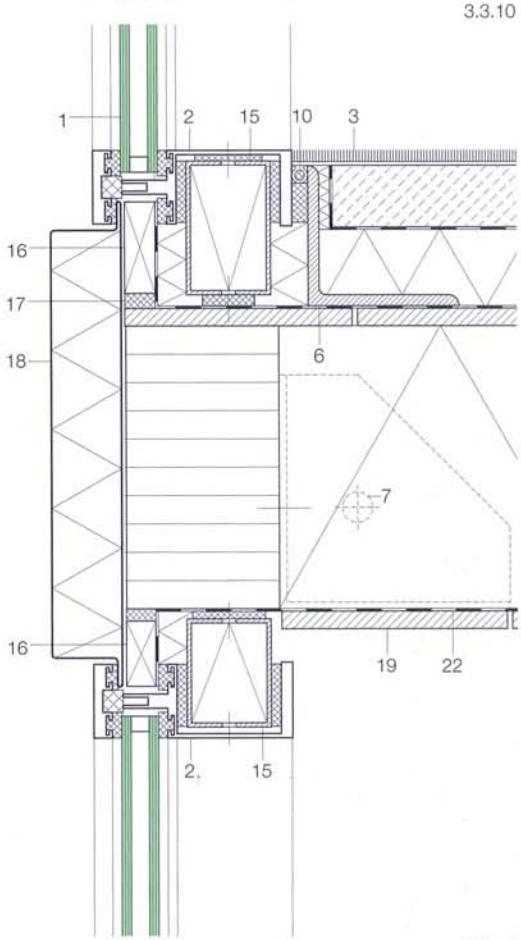
3.3.8



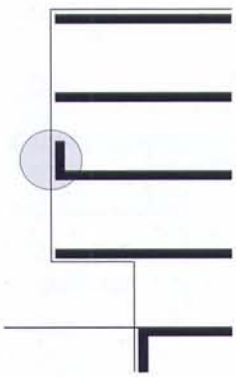
3.3.10

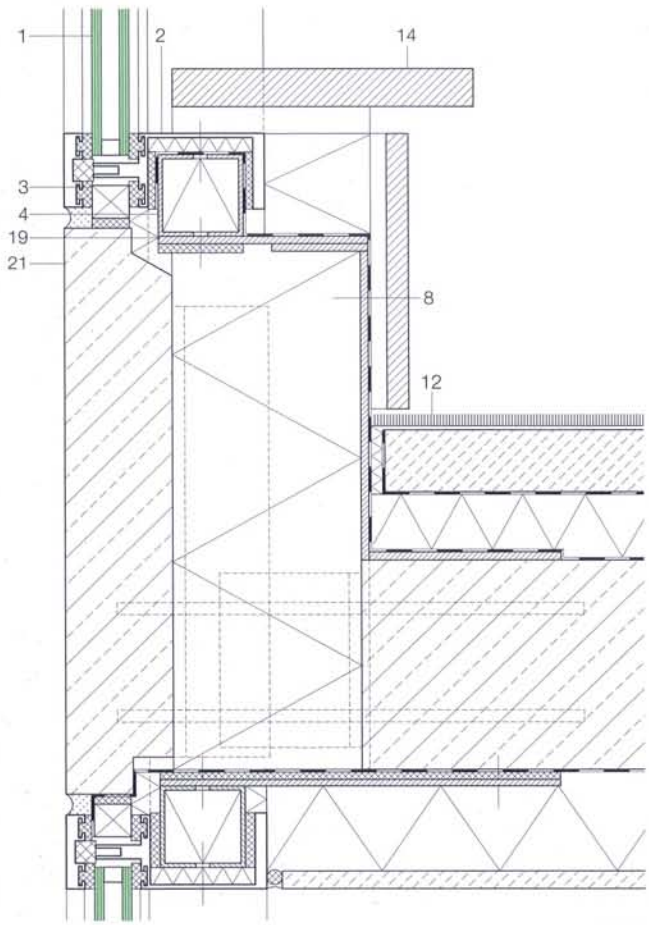


3.3.9

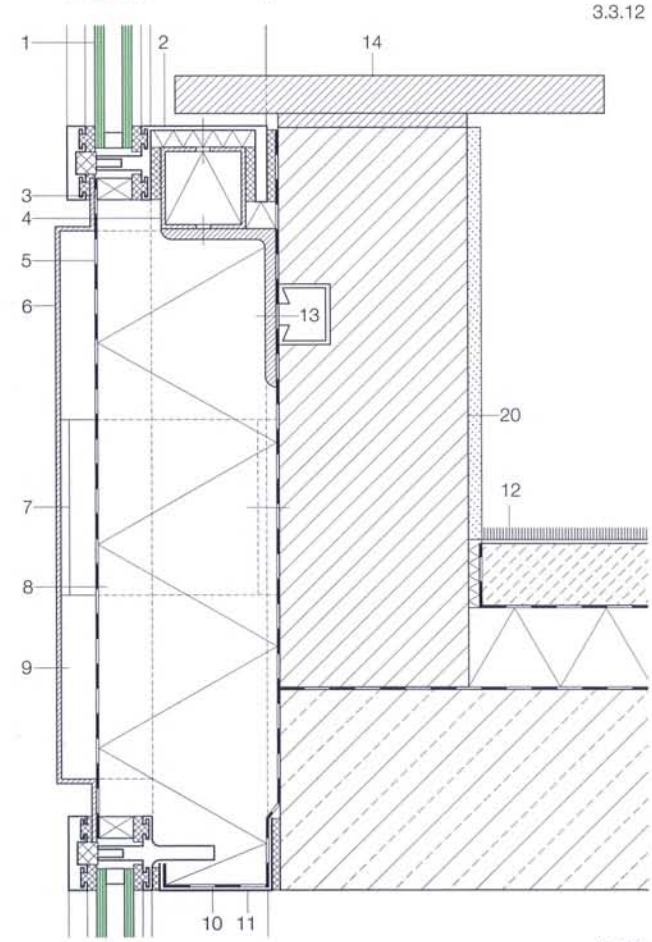


3.3.11





3.3.12



3.3.13

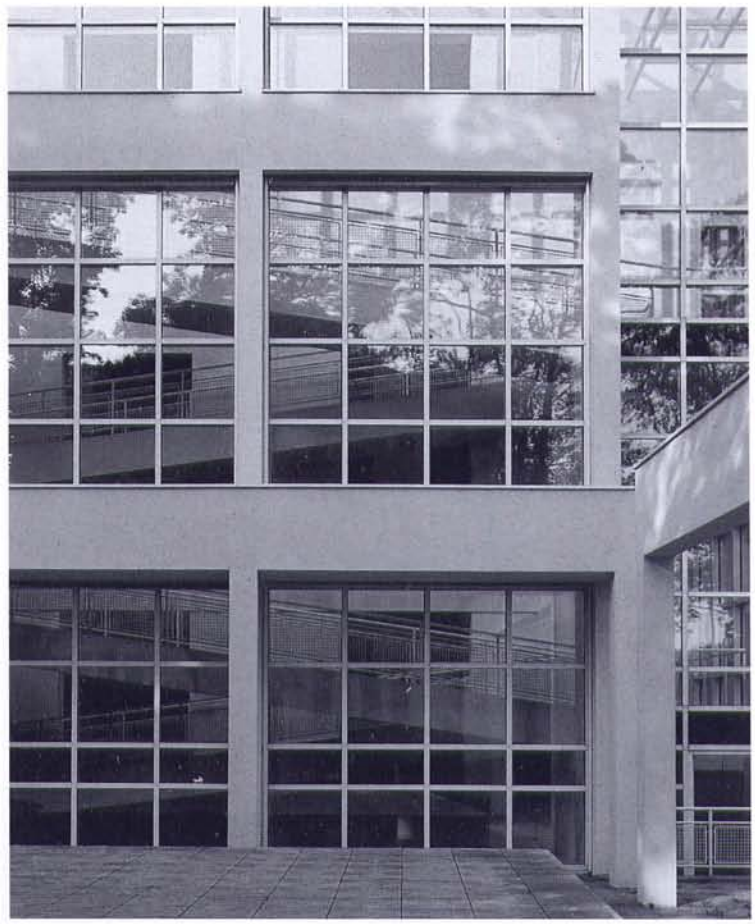
1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Distanzhalter Kunststoffklotz
4 Aluminiumprofil thermisch getrennt, gedämmt
5 Feuchtigkeitssperre
6 Aluminiumblech eloxiert
7 L-Stahlprofil
8 Wärmedämmung
9 Hinterlüftung
10 Dampfsperre
11 Aluminiumblech 1,5 mm
12 Fußbodenaufbau: textiler Belag schwimmender Estrich Trennlage Trittschalldämmung
13 Befestigungsschiene
14 Fensterbrett auf Unterkonstruktion
15 dauerelastische Fuge
16 fester Anker Edelstahl
17 vorgehängte Werksteintafel
18 beweglicher Anker Edelstahl
19 Flachstahl
20 Brüstung massiv Beton bzw. Aufmauerung
21 Stahlbetonfertigteil

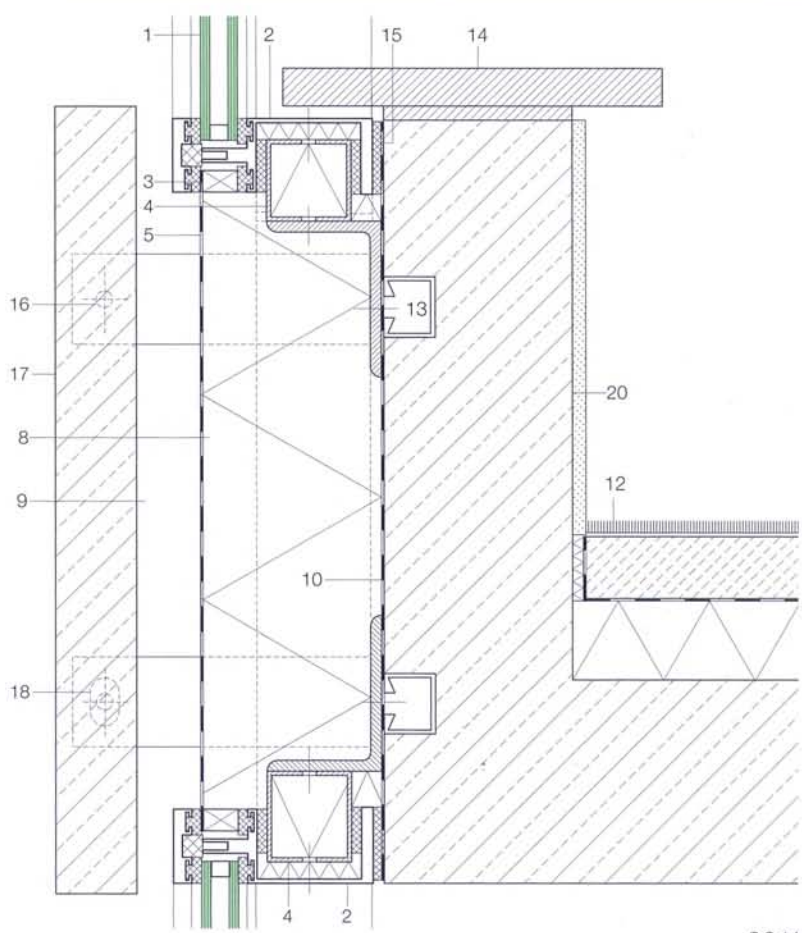
Brüstung

3.3.12 Brüstung aus Sichtbetonfertigteil
3.3.13 vorgehängtes Brüstungsblech
3.3.14 vorgehängte Brüstung aus Werkstein

Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

Exemplarisch werden drei Brüstungstypen von unterschiedlicher gestalterischer und konstruktiver Ausprägung sowie verschiedener Materialien gezeigt.
Abb. 3.3.12 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Brüstung aus einem Sichtbetonfertigteil ist von der Stahlbetondecke thermisch getrennt und über einen speziellen wärmegedämmten Bewehrungskorb bzw. Edelstahlkonsolen angeschlossen. Die Brüstung muss auf der Innenseite gedämmt werden. Zum Raum hin muss eine Dampfsperre angebracht sein, die vor Beschädigungen zu schützen ist. Für das Raumklima kann die Speichermasse der massiven Brüstung somit nicht wirksam werden. Die Oberfläche des Brüstungsfertigteils besitzt Sichtbetonqualität. Die Fassade ist geschossweise hängend oder stehend ausgebildet. Die Anschlüsse sind dementsprechend entweder fest oder beweglich. Die Befestigung erfolgt im dargestellten Beispiel über den Fassadenriegel, der auf ein thermisch getrenntes und gedämmtes Aluminiumrohr gesteckt ist. Das Rohr wird über unterlegte Stahlplatten justierbar in Position gebracht und über Edelstahlschrauben an der Brüstung befestigt. Um Kontaktkorrosion zu vermeiden, muss zwischen die Stahlplatten und das Aluminiumrohr eine Zwischenschicht, z.B. EPDM/APTK, eingebracht werden. Die Anschlüsse müssen dauerhaft diffusions- und luftdicht sowie dauerelastisch ausgeführt sein. Eine alternative gängige Lösung ist mit Riegelhohlprofilen möglich. Die Befestigung einer solchen Fassade erfolgt in der Regel über den Fassadenpfosten.
Abb. 3.3.13 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Bei der gezeigten Konstruktion läuft der Fassadenpfosten vor der Brüstung durch. Die Fassade ist stehend ausgebildet. Die Lasteintragung erfolgt auf Oberkante Brüstung über ein thermisch getrenntes und gedämmtes Aluminiumrohr, Stahlwinkel und Befestigungsschiene in die massive Brüstung. Der obere Anschlusspunkt hält die Fassade in horizontaler Richtung und muss Wärmedehnungen, Bewegungen aus Windlasten und Bewegungen des Bauwerks aufnehmen können und dauerhaft diffusions- und luftdicht ausgebildet sein. Die Fassade ist über einen in den Fassadenriegel integrierten und gedämmten Stahlwinkel an



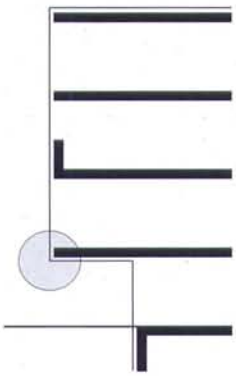


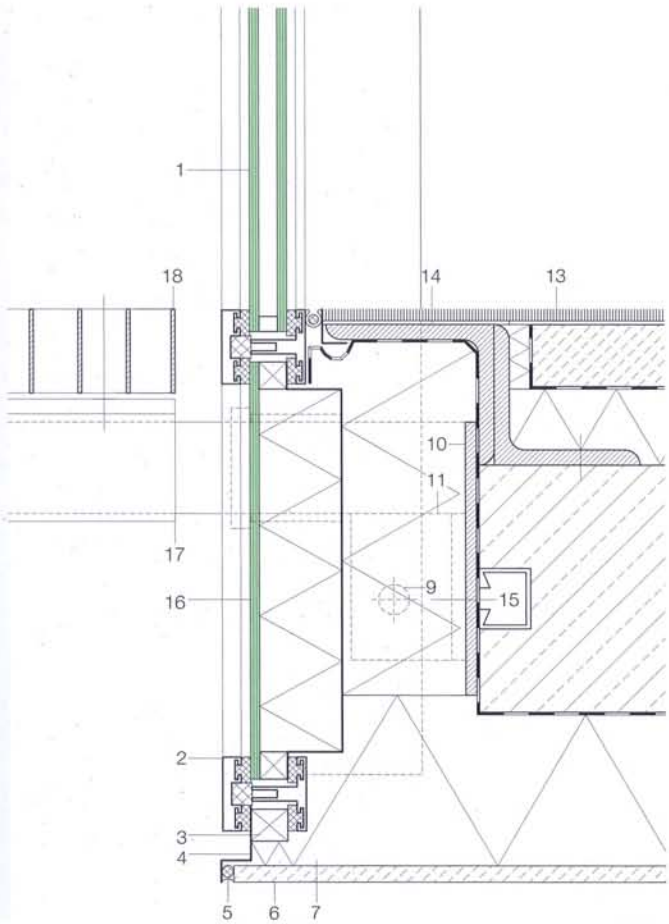
3.3.14

den Rohbau angeschlossen. Die Brüstungsstirn ist außen gedämmt. Dabei ist auf die richtige Anordnung der Dampfsperre und den Schutz der Dämmung vor Durchfeuchtung zu achten. Die Brüstung ist hinterlüftet. Ein stabiles Aluminiumblech, je nach Größe auch auf einer Unterkonstruktion, ist unabhängig von der eigentlichen Fassade auf Aluminiumwinkel geklebt bzw. in der Pfosten-Riegel-Konstruktion eingespannt, die die Wärmedämmung durchstoßen und an der Brüstung verschraubt sind. Um die unterschiedlichen Toleranzen der Gewerke Rohbau und Fassade ausgleichen zu können, müssen die Anschlusspunkte in drei Richtungen justierbar ausgebildet werden. Im gezeigten Beispiel erfolgt das über eine Befestigungsschiene und über Langlöcher in den Stahlwinkeln.

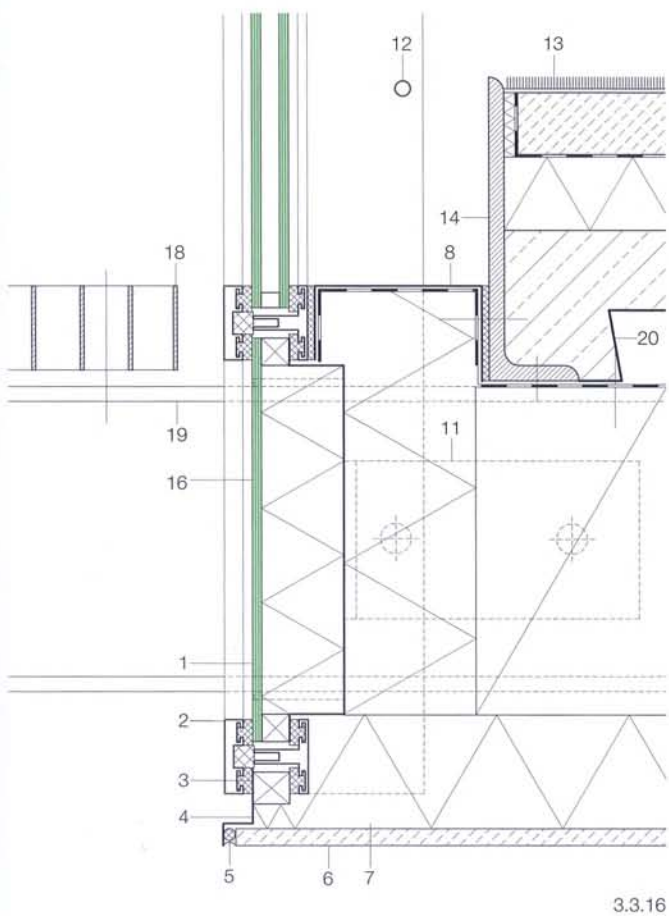
Abb. 3.3.14 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Außenhaut ist im Brüstungsbereich unterbrochen. Die Fassade ist geschossweise aufgebaut. Die Haltepunkte sind, je nachdem ob die Fassade hängend oder stehend konstruiert ist, fest oder beweglich ausgebildet. Der Riegel wird über thermisch getrennte und ausgedämmte Aluminium-Rohrprofile und über punktuelle Stahlwinkel an einer Befestigungsschiene am Rohbau angeschlossen. Um Bautoleranzen aus Rohbau und Fassade aufnehmen zu können, ist die Befestigung in drei Richtungen justierbar ausgebildet. Die Fassade ist über einen in den Riegel integrierten und hinterdämmten Stahlwinkel an den Rohbau angeschlossen. Die massive Brüstung ist im Außenbereich gedämmt. Dabei ist auf die richtige Anordnung der Dampfsperre auf der Innenseite der Dämmung zu achten. Die Dämmung muss für hinterlüftete Fassaden geeignet sein und an der Brüstung nach Herstellerrichtlinie verankert werden. Zusätzlich ist eine PE-Folie als Witterungsschutz notwendig, damit die Dämmung nicht vom Schlagregen durchfeuchtet wird.

Die hinterlüftete Vorsatzschale ist ein Werkstein, z.B. ein Stahlbetonfertigteil. Die Befestigung erfolgt über Edelstahlanker. Die Anker müssen thermische Bewegungen in zwei Richtungen aufnehmen können. Das erfolgt über Kunststoffhülsen in den Ankerlöchern und über eine Beweglichkeit des unteren Ankers.





3.3.15



3.3.16

1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Distanzhalter Kunststoffklotz
4 Aluminiumblech eloxiert
5 dauerelastische Verfugung
6 Faserzementplatte auf Unterkonstruktion
7 Wärmedämmung
8 Aluminiumblech-abdeckung und Dampfsperre
9 Schraube in Langloch
10 Stahlblech feuerverzinkt
11 L-Aluminiumprofil
12 Durchtrittssicherung Edelstahlrohr
13 Bodenaufbau: textiler Belag schwimmender Estrich Trennlage Trittschalldämmung
14 Stahlwinkel, feuerverzinkt
15 Befestigungsschiene
16 Fassadenpaneel: ESG bedruckt Wärmedämmung Aluminiumblech
17 Stahlschwert mit Kopfplatte feuerverzinkt
18 Gitterrost feuerverzinkt
19 Stahlträger feuerverzinkt
20 Stahltrapezblech

Fassade mit Vor- oder Rücksprüngen

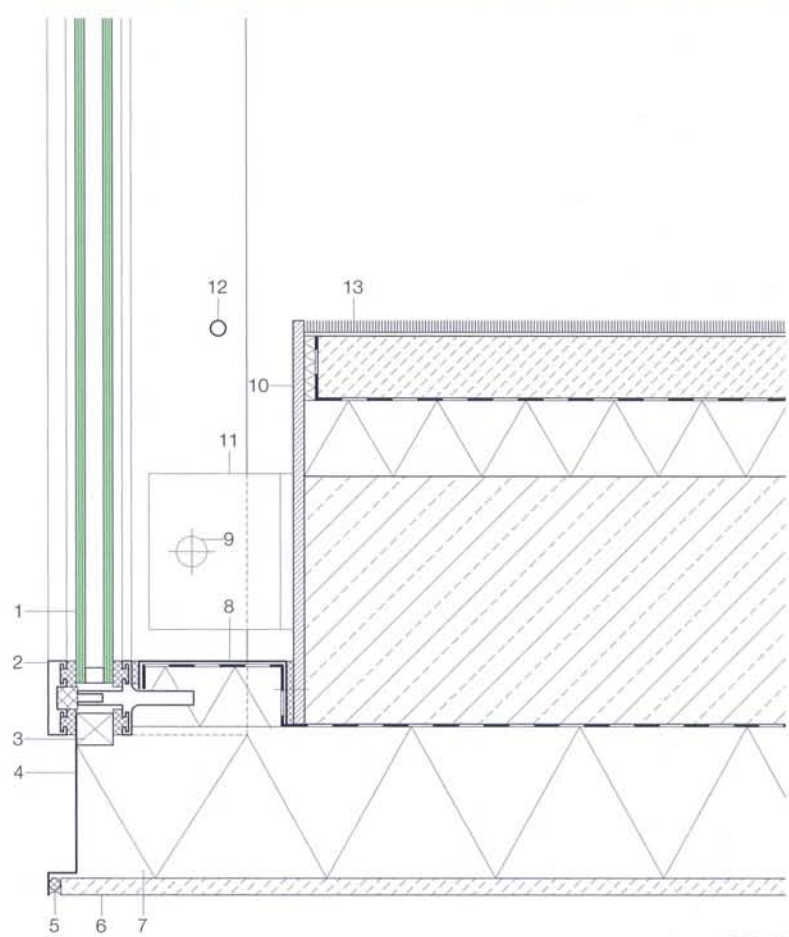
3.3.15 Paneelecke, durchdrungen
3.3.16 Paneelecke, durchdrungen
3.3.17 Glasecke

Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

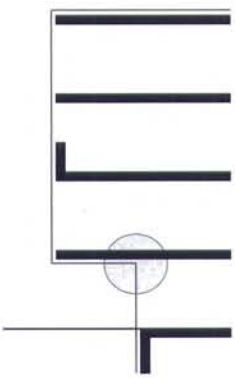
Die Details in Abb. 3.3.15–3.3.17 zeigen typische Eckausbildungen einer Pfosten-Riegel-Konstruktion, wie sie im vertikalen Fassadenaufbau bei zurück- oder vorspringenden Bauteilen vorkommen.
Fassaden können hängend oder stehend ausgebildet sein. Bei stehenden Konstruktionen muss der Anschlusspunkt an der Ecke als festes Auflager ausgebildet sein und Horizontal- und Vertikallasten aufnehmen können. Bei hängenden Konstruktionen muss der Anschlusspunkt nur Horizontallasten aufnehmen und vertikal beweglich sein, um Wärmedehnungen und Bewegungen durch Windbeanspruchung zu ermöglichen. Die Bewegungsmöglichkeit wird durch eine Langlochbefestigung sichergestellt.
Abb. 3.3.15 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Isolierverglasung ist bis auf die Höhe des Fertigfußbodens gezogen. Der Zwischenraum zum Rohbau wird durch einen aufgeschraubten Stahlwinkel überbrückt. Ein Glaspaneel schließt die Deckenstirn. Der Zwischenraum wird mit geeignetem Dämmmaterial gefüllt und muss dauerhaft diffusions- und luftdicht und dauerelastisch geschlossen sein. Die Fassade ist über eine Befestigungsschiene und Stahlwinkel in drei Richtungen justierbar fest am Rohbau angeschlossen. Das Fassadenpaneel wird punktuell von Glasschwertern zur Befestigung von vorgehängten Strukturen (Sonnenschutz, Fluchtbalkone etc.) durchdrungen. Der Durchstoßpunkt muss dauerelastisch geschlossen sein, um eine Durchfeuchtung des Dämmstoffs zu vermeiden.
Abb. 3.3.16 Die Primärkonstruktion ist aus Stahl. Die Konstruktion besteht aus durchlaufenden Stahlträgern und einem Stahltrapezblech mit Aufbeton. Der Stahlträger durchstößt punktuell die Außenhaut. Dieser Punkt stellt eine Wärmebrücke dar. Er muss besonders sorgfältig behandelt werden. Der Raum zwischen der Trägerlage ist mit Glaspaneelen geschlossen. Die Fugen müssen dauerelastisch geschlossen sein und Bewegungen aus Wärmedehnung, Lastfällen etc. aufnehmen können. Der Anschlusspunkt zwischen Fassadenriegeln und Stahlträger muss die unterschiedlichen Toleranzen der zwei Gewerke Fassade und Stahlbau aufnehmen können und

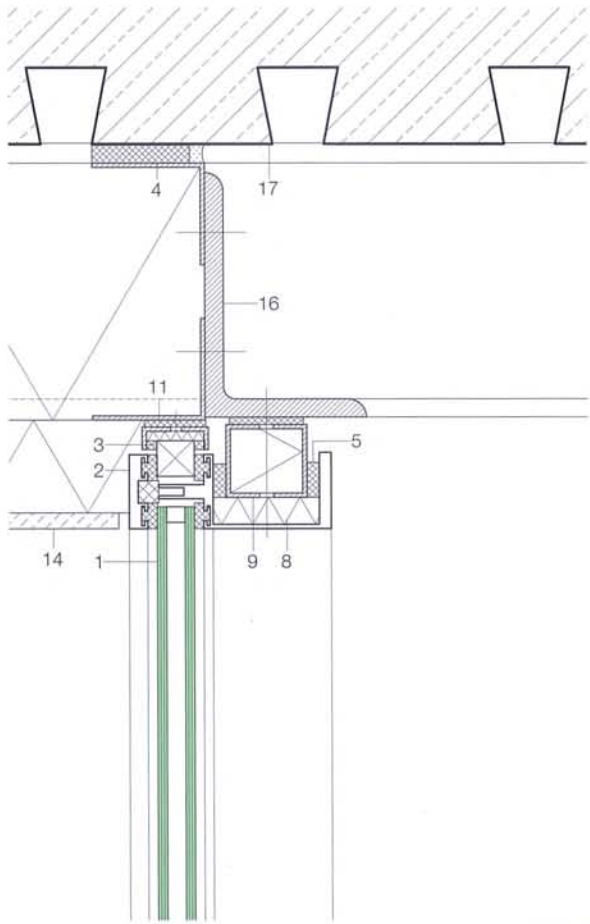
zusätzlich die hier auftretenden Bewegungen der Bauteile infolge von Lasten (Wind-, Nutzlast etc.) und Wärme ermöglichen. Der Stahlträger läuft vom kalten Außenraum in den beheizten Bereich und stellt somit eine Wärmebrücke dar. Um Tauwasserausfall zu vermeiden, muss er deshalb vollflächig gedämmt sein. Zum Innenraum wird die Dämmung mit einer Dampfsperre dauerhaft diffusions- und luftdicht abgeschlossen.

Abb. 3.3.17 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton mit umlaufendem Stahlblech. Die Glasebene wird soweit wie möglich nach unten gezogen. Die Deckenunterseite ist wärmegedämmt und mit einer Vorsatzschale aus Faserzement etc. verkleidet. Die Fassade ist stehend ausgebildet. Der Kraftschluss erfolgt über an das Stahlblech angeschweißte Stahlwinkel. Problematisch ist hier das Ineinandergreifen der Gewerke Stahlbau und Fassade (unterschiedliche Toleranzen, Gewährleistungsfragen). Der Fassadenriegel ist gedämmt, um Wärmebrücken zu vermeiden. Zum Innenraum muss die Dämmung dauerelastisch und dauerhaft diffusions- und luftdicht geschlossen sein. Der Raum zwischen Fassade und Rohbau ist mit einer Durchtrittssicherung zu schließen. Vorgaben hierzu sind in Deutschland den entsprechenden Landesbauordnungen zu entnehmen. Die Reinigung des Zwischenraums sowie die stehende Luftschicht im Zwischenraum an einer relativ schlecht gedämmten Stelle, können in diesem Fall möglicherweise zu Problemen führen (Kondensatgefahr, Tauwasser), eine Begleitheizung ist daher empfehlenswert.

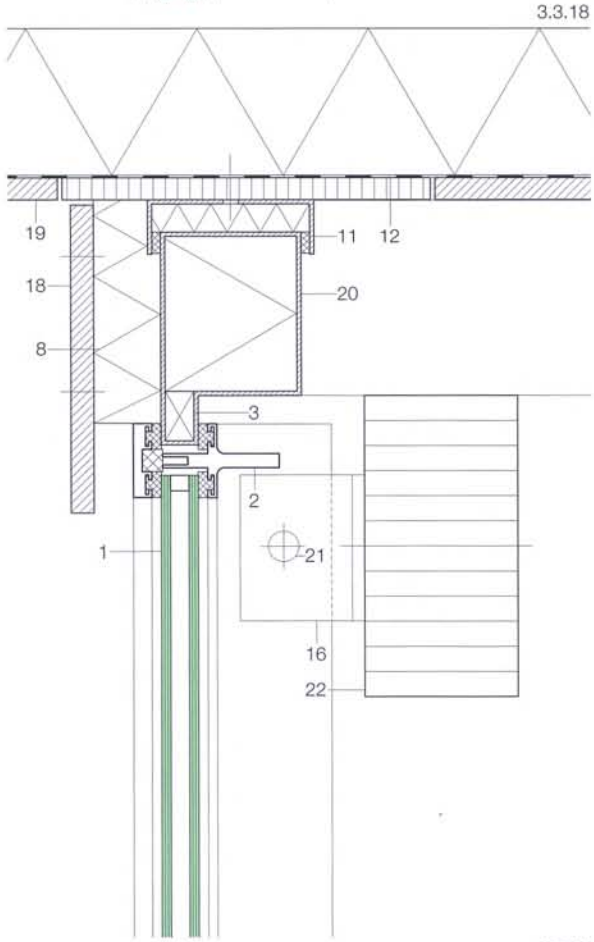


3.3.17





3.3.18



3.3.19

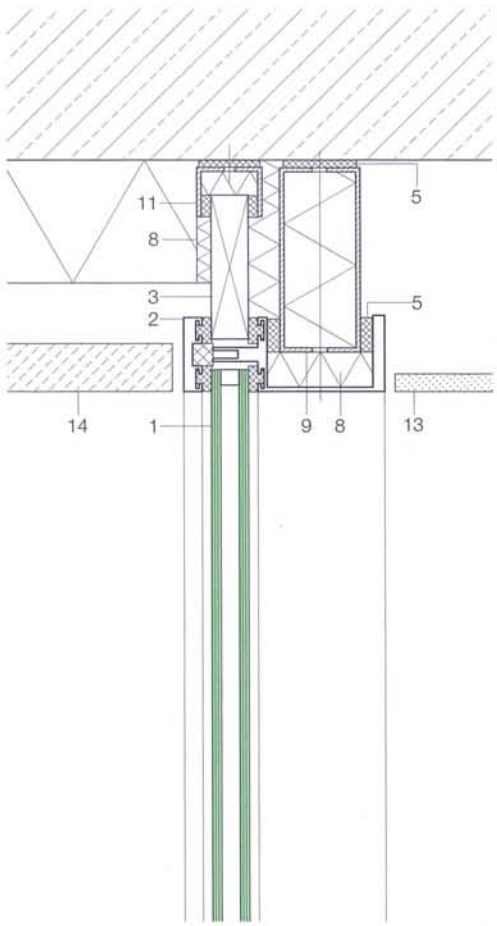
1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Distanzhalter Kunststoffklotz
4 elastisches Dichtungsband
5 dauerelastische Dichtung
6 L-Kunststoffprofil
7 Aluminiumprofil eloxiert
8 Wärmedämmung
9 Aluminiumprofil gedämmt
10 thermische Trennung
11 Aluminiumprofil thermisch getrennt, gedämmt
12 Dampfsperre
13 Gipskartondecke auf Unterkonstruktion
14 Faserzementplatte auf Unterkonstruktion
15 Dämmputz
16 L-Stahlprofil feuerverzinkt
17 Stahltrapezblech
18 Holzverblendung
19 Holzschalung
20 Fassadenpaneel Aluminiumblech
21 Schraube in Langloch
22 Schichtholzträger
23 Aluminiumprofil abnehmbar

Deckenanschluss

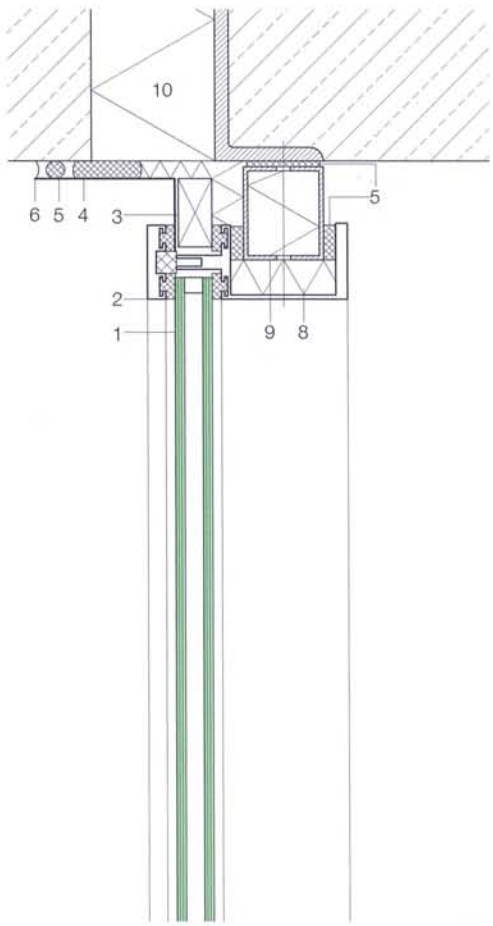
3.3.18 Deckenanschluss an Stahlkonstruktion
3.3.19 Deckenanschluss an Holzkonstruktion
3.3.20 Deckenanschluss, zweischalige Konstruktion
3.3.21 Deckenanschluss, außen gedämmt
3.3.22 Deckenanschluss, thermisch getrennt
3.3.23 Deckenanschluss, innen gedämmt

Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

Die Abb. 3.3.18–3.3.23 zeigen Anschlüsse einer Pfosten-Riegel-Fassade an eine horizontale Deckenscheibe, wie sie beispielsweise bei zurückspringenden Fassadenebenen vorkommen.
Die Deckenanschlüsse in Abb. 3.3.20–3.3.23 stehen für unterschiedliche gestalterische Absichten, z.B. ob eine Beton-Deckenunterseite ganz, nur teilweise oder nicht mehr zu sehen sein soll.
Grundsätzlich muss der obere Anschluss der Fassade zur Decke derart ausgebildet sein, dass Bewegungen der Decke, verursacht durch Verkehrslast, Setzungen usw., keinen Druck in der Ebene der Glasscheiben verursachen. Gegebenenfalls muss ein Schiebegelenk vorgesehen werden.
Abb. 3.3.18 Die Primärkonstruktion ist aus Stahl. Die Deckenkonstruktion besteht aus Stahltrapezblech auf einer Trägerlage aus IPE-Profilen mit Aufbeton. Die Stahlträger und das Trapezblech durchdringen die Außenhaut. Um Tauwasserausfall im Innenraum zu vermeiden, ist die gesamte Stahlkonstruktion im Außenbereich gedämmt. Fassade und Primärkonstruktion werden durch Stahlwinkel beweglich angeschlossen. Zwischen der Trägerlage wird ein Dämmmaterial dauerhaft eingebracht. Die Verkleidung außen sollte demontierbar sein. Der Anschluss muss zum Innenraum hin dauerhaft diffusions- und luftdicht sowie dauerelastisch ausgebildet sein.
Abb. 3.3.19 Die Primärkonstruktion ist aus Holz. Die Fassade ist stehend ausgebildet. Über Langlöcher ist der Pfosten vertikal verschiebbar an die Rohkonstruktion angeschlossen. Ein gedämmtes Formstück, in den oberen Fassadenriegel geklemmt und über ein thermisch getrenntes U-Profil als Bewegungsfuge beweglich eingeschoben, schließt die Fassade an die Holzkonstruktion an. Ein schmales Blendbrett verdeckt den Anschluss. Es sollte demontierbar sein, um bei Glasbeschädigung die Deckleiste abnehmen zu können.
Der Fassadenanschluss muss zum Innenraum diffusions- und luftdicht ausgebildet sein.
Abb. 3.3.20 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Fassade ist stehend ausgebildet, der obere Anschlusspunkt muss somit horizontal fixiert, aber vertikal verschiebbar



3.3.20



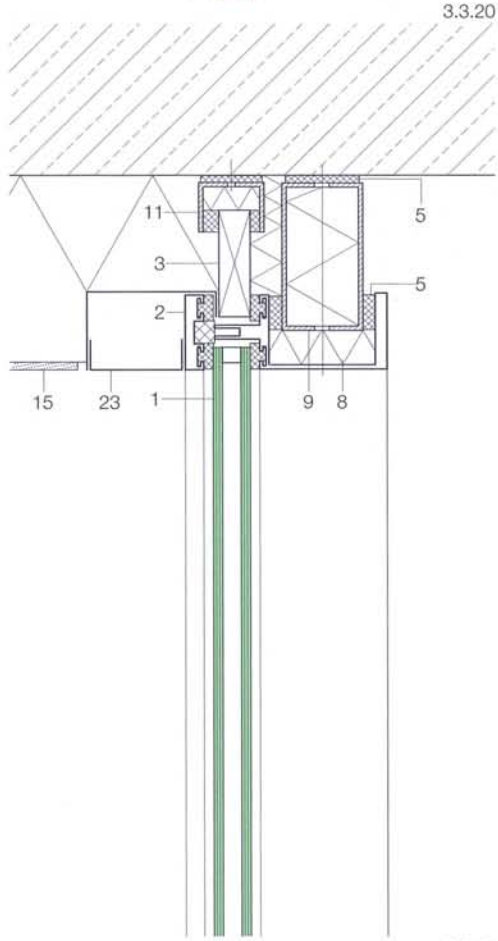
3.3.22

sein. Im Außenbereich ist die Deckenuntersicht mit Dämmputz verkleidet. Das Anschlussprofil muss zum Innenraum hin diffusions- und luftdicht angeschlossen sein.

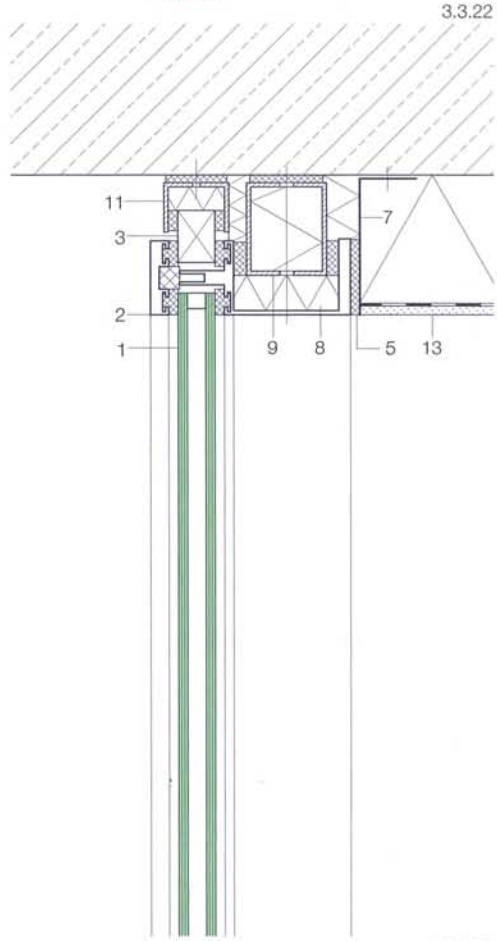
Abb. 3.3.21 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Der Deckenanschluss entspricht prinzipiell Abb. 3.3.20. Dort ist allerdings die Rohkonstruktion im Außen- und Innenbereich durch abgehängte Verkleidungen verblendet. Der Anschlusspunkt muss dauerhaft diffusions- und luftdicht sowie dauerelastisch ausgebildet sein. Die Verkleidung außen sollte im Fassadenbereich demontierbar sein, um bei Glasbeschädigung die Deckleiste abnehmen zu können.

Abb. 3.3.22 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Decke ist im Bereich der Fassadenachse thermisch getrennt. Im Vergleich zu Abb. 3.3.20 ist die Anschlussausbildung hier beidseitig zu sehen. Die Fassade wird durch Winkel und elastische Verklebungen an den Rohbau angeschlossen.

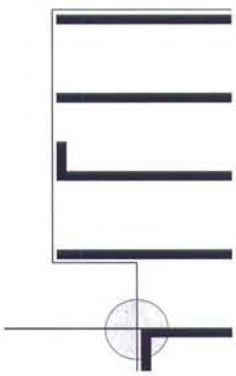
Abb. 3.3.23 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Der Fassadenanschluss entspricht prinzipiell in Abb. 3.3.20. Allerdings ist die Deckenuntersicht hier im Außenbereich sichtbar. Im Innenbereich muss die Decke durch Verzögerungsstreifen gedämmt werden. Die Materialstärke und Länge des Verzögerungsstreifens wird durch den Bauphysiker festgelegt. Problematisch ist die Verschraubung der Fassade, da die Schraube im kalten Bereich des Rohbaus liegt. Hier könnte durch Tauwasserausfall Kontaktkorrosion entstehen, es sollten daher Edelstahlschrauben verwendet werden. Die Haltekonstruktion muss im Innenbereich dauerhaft diffusions- und luftdicht angeschlossen sein.

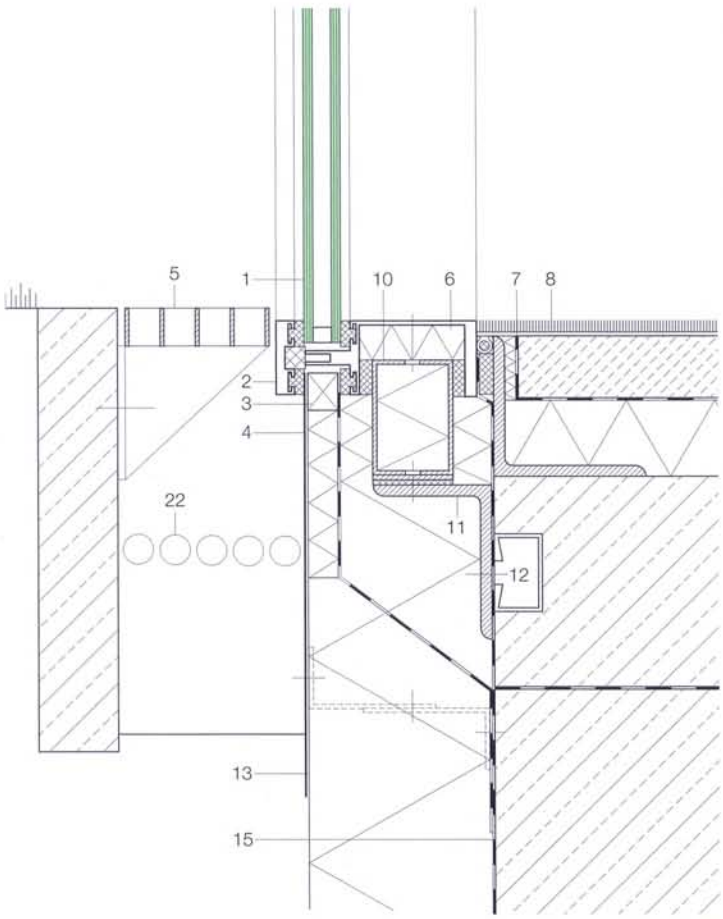


3.3.21

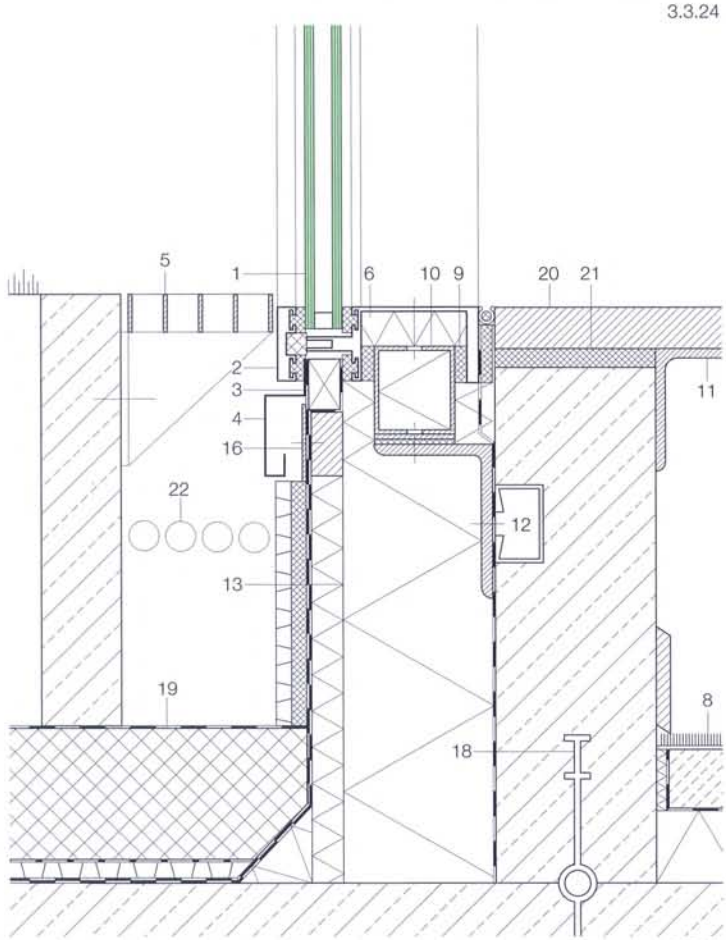


3.3.23





3.3.24



3.3.25

1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Distanzhalter Kunststoffklotz
4 Aluminiumblech eloxiert
5 Fassadenrost
6 Wärmedämmung
7 Dampfsperre
8 Bodenaufbau: textiler Belag Estrich Trennlage Trittschalldämmung
9 dauerelastische Dichtung
10 Aluminiumprofil gedämmt
11 L-Stahlprofil feuerverzinkt
12 Befestigungsschiene
13 Perimeterdämmung
14 Holzrost auf Stelzlager
15 Magerbeton als Sauberkeitsschicht
16 Flachstahl
17 Aufständerung
18 Fugenband
19 Drainageplatte
20 Holzstufe
21 elastisches Dichtungsband
22 Filterkies

Fußpunkt/niveaugleicher Übergang zwischen innen und außen

3.3.24 ebener Übergang zum Außenbereich
3.3.25 Anschluss an begrüntes Flachdach
3.3.26 Anschluss an Terrassenbelag/Balkon
3.3.27 Anschluss an begrüntes Flachdach mit aufgeständertem Boden innen

Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

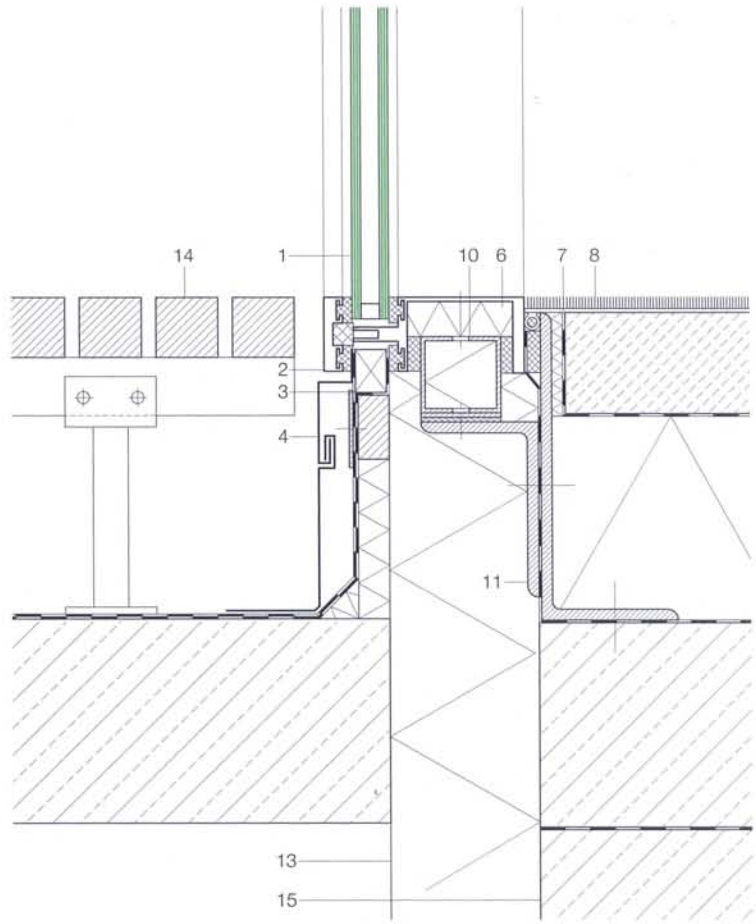
Die Abb. 3.3.24–3.3.27 zeigen Fußpunkte einer Pfosten-Riegel-Fassade. Diese Punkte können an Übergängen zu Flachdächern, Terrassen, vor allem aber im Erdgeschoss auftreten. Hier treffen die Gewerke Fassade, Rohbau, Ausbau und Abdichtungsarbeiten aufeinander. Deshalb ist eine sorgfältige Detaillierung hinsichtlich Ausführung, Terminplanung und Klärung von Gewährleistungsfragen notwendig. Auf dauerhafte Dichtigkeit ist an diesen Punkten zu achten. Die in der Norm geforderte Höhendifferenz von mindestens 15 cm zwischen der Wasser führenden Schicht und dem unteren Dichtungsanschluss am Fassadenriegel kann nur in Abstimmung mit den Bauherren und der ausführenden Firma umgangen oder gemindert werden.
Je nach Nutzungsart muss die innere oder äußere Scheibe zum Schutz vor Verletzung in Sicherheitsglas ausgeführt werden.
Bei niveaugleichem Übergang muss darauf geachtet werden, dass die untere Rahmenkonstruktion nach außen entlüftet wird (Dampfdruckausgleich), damit im Falzbereich keine Feuchtigkeit verbleibt.
Abb. 3.3.24 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Der Bodenanschluss erfolgt mit niveaugleichem Übergang zwischen Innen- und Außenraum. Die Fassade ist stehend ausgebildet. Der Lasteintrag erfolgt über ein thermisch getrenntes und gedämmtes Rohrprofil, das mittels Stahlwinkel und Befestigungsschiene an der Primärkonstruktion befestigt ist. Der Anschlusspunkt ist in drei Richtungen justierbar. Der Fußbodenaufbau ist mit einem Stahlwinkel abgestellt. Der Raum zwischen der Fassadenachse und der Deckenstirn wird mit geeignetem Dämmmaterial hinterfüllt. Zum Raum hin muss ein dauerhaft diffusionsdichter Anschluss hergestellt werden, um ein Durchfeuchten des Dämmstoffs zu vermeiden. Problematisch ist das Ineinandergreifen der Gewerke Fassadenbau und Abdichtungsarbeiten. Der Fassadenbauer klemmt in den Fassadenriegel unten einen Folienlappen ein, der dann vom Abdichtungsgewerk an die Abdichtung der Kelleraußenwand angeschweißt wird. Kritisch ist außerdem der Versprung in der Dich-

tungsebene oberhalb der Perimeterdämmung. Die Dichtungsebene der Fassade muss nach der gültigen Norm mindestens 15 cm über der Wasser führenden Schicht liegen. Der Zwischenraum zur Fassade ist mit Filterkies 16/32 verfüllt.

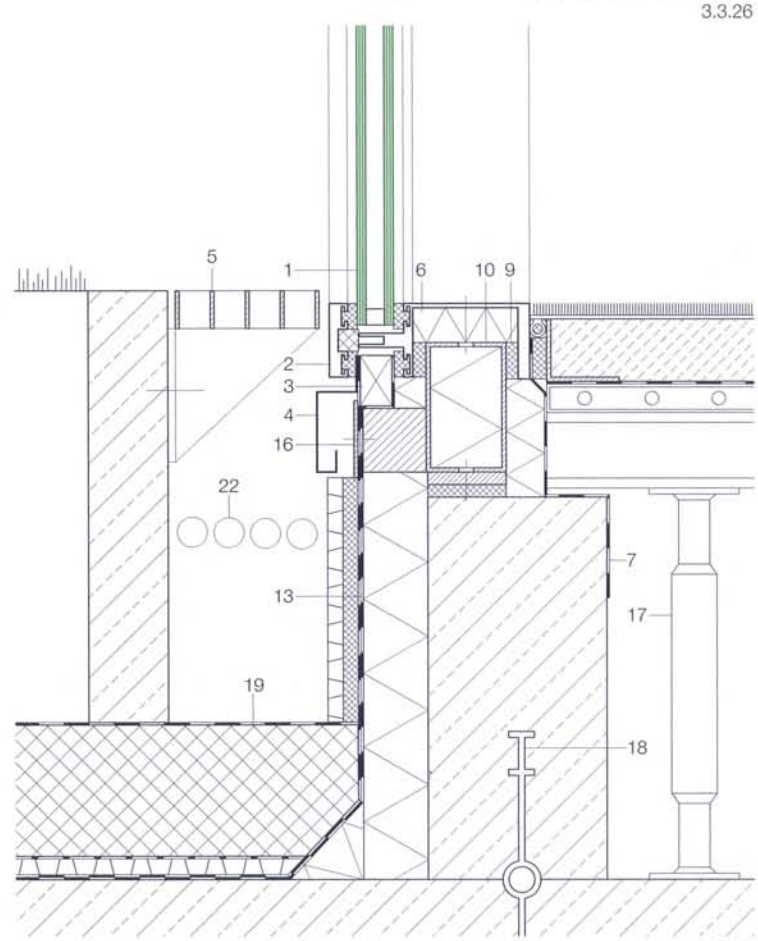
Abb. 3.3.25 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Problematisch sind hier die unterschiedlichen Höhen der Bodenaufbauten im Innen- und Außenraum. Ein Übergang ohne Niveauversprung ist möglich durch aufgeständerte Böden im Innenraum oder durch Verspringen der Rohdecke. Im gezeigten Beispiel ist eine Stufe zum Innenraum ausgebildet. Die stehende Fassade ist über ein thermisch getrenntes und gedämmtes Rohrprofil, Stahlwinkel und Befestigungsschiene kraftschlüssig und in drei Richtungen justierbar am Rohbau angeschlossen. Das Fassadenprofil ist ausgedämmt und zum Innenraum dauerhaft diffusions- und luftdicht geschlossen. Die Betonaufkantung ist gegen drückendes Wasser mit einem Fugenband gesichert und außenseitig gedämmt. Problematisch hinsichtlich der Gewährleistung ist das Ineinandergreifen der Gewerke Fassade und Abdichtungsarbeiten. Bewegungen aus Rohbau und Fassade müssen über Bewegungsschlaufen aufgenommen werden.

Abb. 3.3.26 Die Primärkonstruktion ist aus Stahlbeton. Die Rohkonstruktion ist im Bereich der Fassadenachse durch ein spezielles, wärmegedämmtes Bewehrungselement getrennt. Um einen niveaugleichen Übergang zum Außenraum herzustellen, ist außenseitig ein aufgeständerter Holzbohlenbelag vorgesehen. Hier kann es zu Bewegungen kommen, die der Übergangspunkt der Fassade zur Balkon/Terrassenabdichtung – z.B. durch eine Bewegungsschlaufe in der Dichtung – aufnehmen muss. Der Punkt, an dem die Gewerke Fassade und Abdichtungsarbeiten ineinandergreifen, ist kritisch. Gewährleistungsfragen müssen geklärt sein. Die Abdichtungsfolie wird durch eine zweiteilige Blechabdeckung vor Beschädigungen und UV-Einstrahlung geschützt. Die stehende Fassade ist über ein thermisch getrenntes, gedämmtes Rohrprofil und Stahlwinkel fest und in drei Richtungen justierbar an der Rohdecke verschraubt. Das Profil ist gedämmt und zum Innenraum dauerhaft diffusions- und luftdicht geschlossen, um eine Durchfeuchtung des Dämmstoffs und Kontaktkorrosion zu vermeiden. Der Holzrost muss demontierbar sein, um bei Glasbeschädigungen die Deckleiste der Fassade abnehmen zu können.

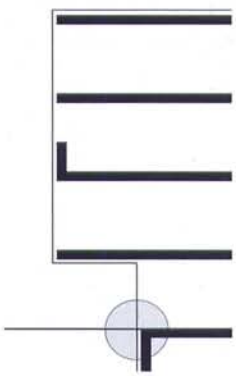
Abb. 3.3.27 Die Detailausbildung entspricht dem Detail in Abb. 3.3.25, jedoch wird im Innenraum durch einen aufgeständerten Doppelboden (z.B. in einem Verwaltungsbau) ein höhengleicher Übergang zum Außenraum hergestellt. Das thermisch getrennte Profil wird direkt von oben über untergelegte Stahlplatten fest und in drei Richtungen justierbar auf dem Rohbau verankert.

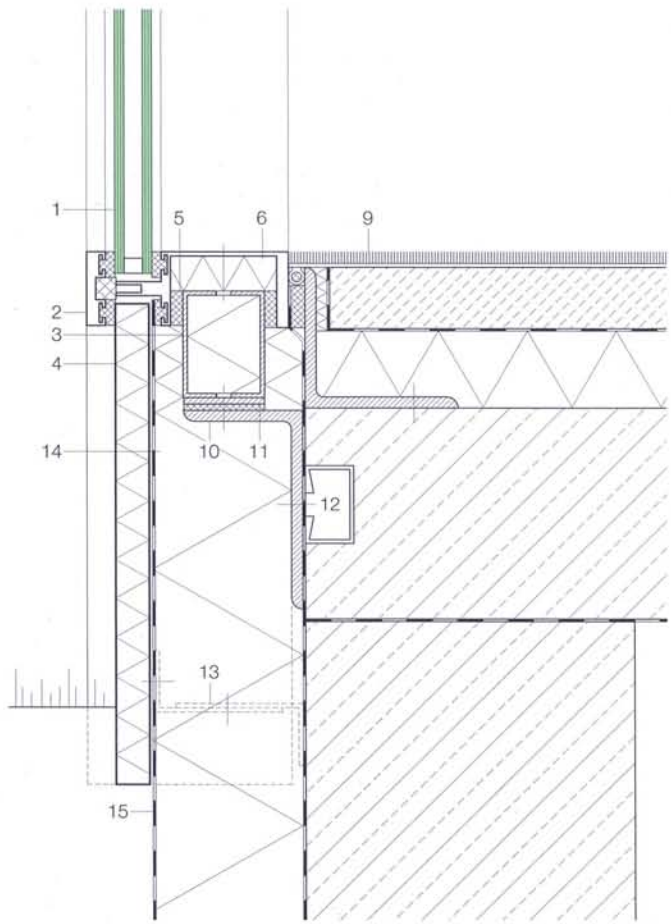


3.3.26

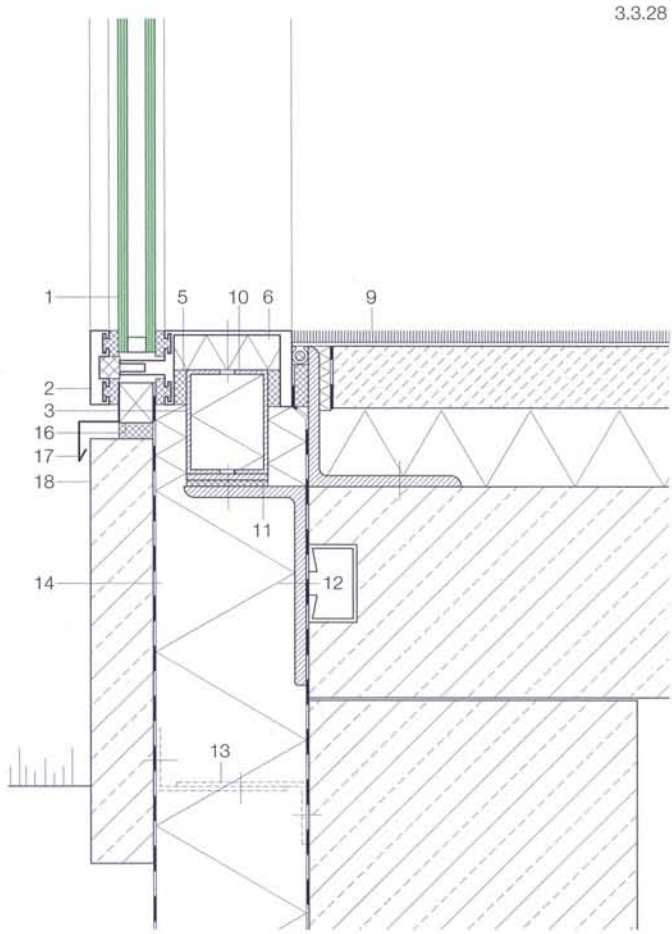


3.3.27





3.3.28



3.3.29

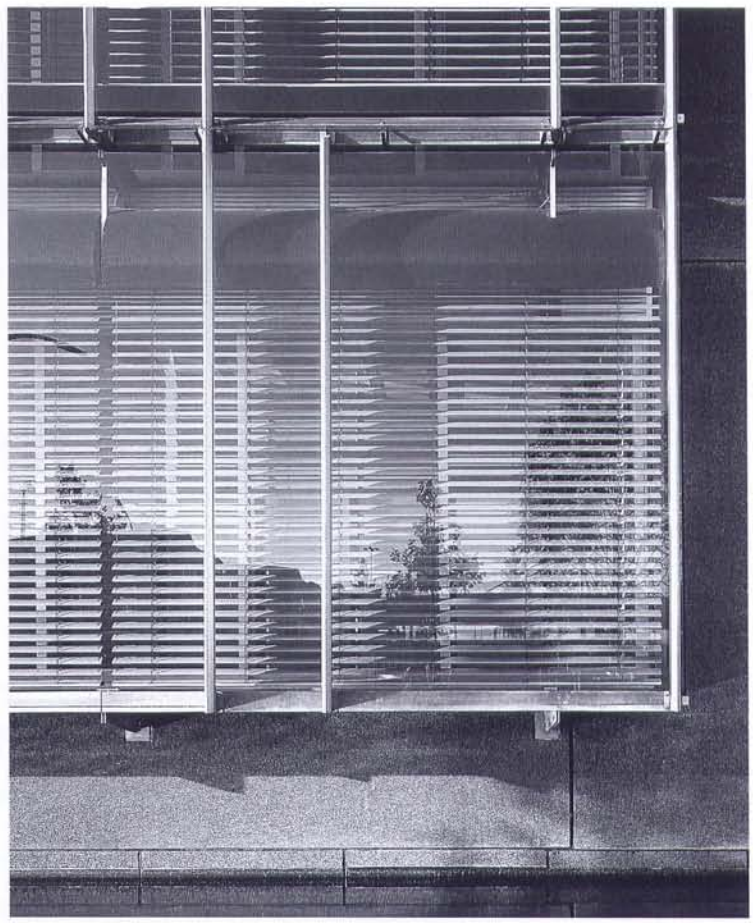
1 Isolierglas
2 Fassadenriegel Aluminium
3 Aluminiumprofil thermisch getrennt, gedämmt
4 Fassadenpaneel gedämmt
5 dauerelastische Fuge
6 Wärmedämmung
7 Dampfsperre
8 Aluminiumblech
9 Bodenaufbau: textiler Belag Estrich Trennlage Trittschalldämmung
10 Stahlwinkel
11 EPDM/APTK-Auflager
12 Befestigungsschiene
13 L-Aluminiumprofil
14 Perimeterdämmung
15 Filtervlies
16 Distanzhalter Kunststoffklotz
17 Aluminiumblech eloxiert
18 Werksteinsockel
19 Durchtrittsicherung

Sockel

3.3.28 Paneelsockel
3.3.29 Sockel aus Werkstein
3.3.30 zurückgesetzter Sockel

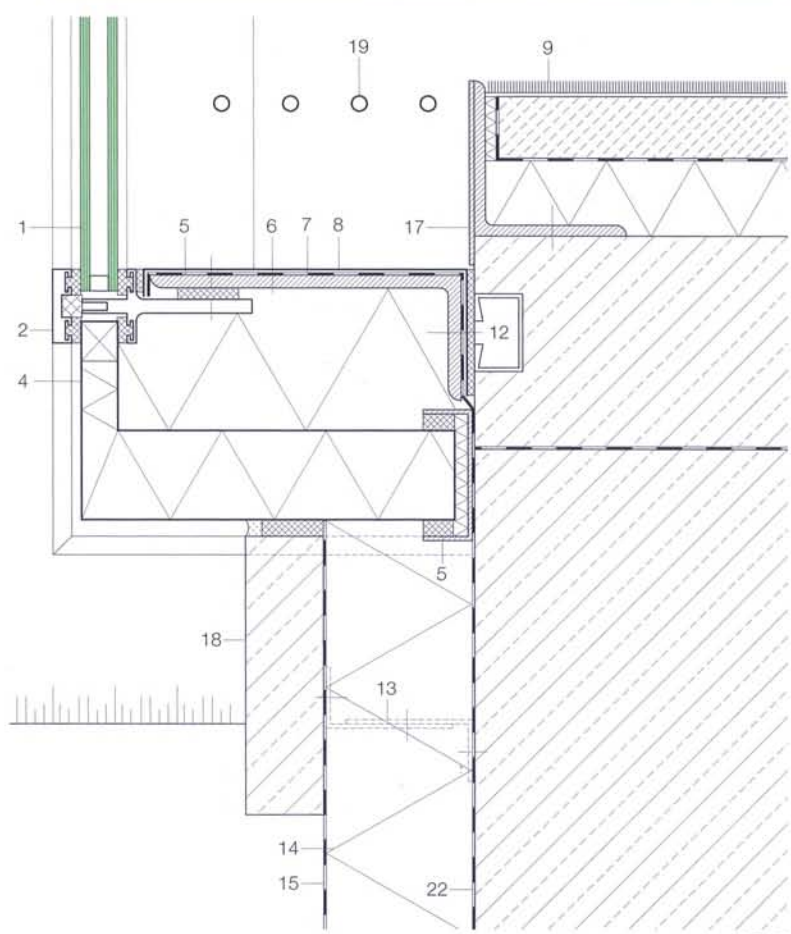
Vertikalschnitte
Maßstab 1:5

Die gezeigten Sockelpunkte können an Übergängen zu Flachdächern und Terrassen, vor allem aber im Erdgeschoss auftreten. Hier treffen die Baugewerke Fassade, Rohbau, Ausbau und Abdichtungsarbeiten aufeinander.
Abb. 3.3.28 Der gewählten Lösung liegt die Absicht zugrunde, die Glasfront bis zum Fußboden nach unten zu führen. Der Sockel ist aus einem gedämmten Blechpaneel. Die Fassadenachse läuft bündig, d.h. ohne Versprung, durch. Das Paneel ist in den unteren Fassadenriegel eingeklemmt und über eine Winkelkonstruktion an den Rohbau angeschlossen. Die Kellerwand ist außenseitig gedämmt und abgedichtet. Die Perimeterdämmung läuft ohne Unterbrechung hinter dem Paneel bis zur Unterkante der Fassade. Die Fassade ist stehend ausgebildet. Sie ist mit einem gedämmten und thermisch getrennten Aluminiumrohr, Stahlwinkeln und Befestigungsschiene an der Rohkonstruktion in drei Richtungen justierbar angeschlossen. Stahl- und Aluminiumteile müssen zum Schutz vor Kontaktkorrosion mit einer Zwischenschicht getrennt werden. An den Verbindungsstellen ist mit Edelstahlschrauben zu arbeiten. Der Konstruktionszwischenraum wird mit geeignetem Dämmstoff vollständig hinterfüllt. Zum Innenraum muss eine lückenlose Dampfsperre eingebaut werden, um ein Durchfeuchten des Dämmstoffs zu vermeiden.
Abb. 3.3.29 Die Konstruktion entspricht Abb. 3.3.28. Der Sockel ist hier aus einem witterungsbeständigen Werkstein, z.B. Beton. Die Fassade wird durch eine in den unteren Fassadenriegel eingeklemmte Kunststoffleiste mit



einer dauerhaft luftdichten Fuge dauerelastisch an den Werkstein angeschlossen. In den Fassadenriegel ist ein Tropfblech eingeklemmt, um die Silikonfuge zu schützen und optisch abzudecken.

Abb. 3.3.30 Die Fassadenachse liegt hier vor der Vorderkante der massiven Außenwand. Die Fassade wird über Stahlwinkelkonsolen gehalten. Diese Konsolen sind in einer Befestigungsschiene und über Langlöcher in drei Richtungen justierbar an der Rohkonstruktion fixiert. In den unteren Fassadenriegel ist ein gekantetes Fassadenpaneel mit Kerndämmung eingebracht. Das Paneel wird an der Kelleraußenwand in einen Edelstahlwinkel eingebracht. Diese Verbindung muss dauerelastisch und dauerhaft diffusions- und luftdicht ausgebildet sein. Der Fassadenriegel wird mit einem Aluminiumblech an die Stahlbetondecke dampfdicht angeschlossen. Der entstehende Konstruktionszwischenraum muss mit geeignetem Dämmstoff vollständig hinterfüllt und zum Schutz gegen Durchfeuchtung zum Innenraum hin mit einer Dampfsperre geschützt werden. Die Spanne zwischen Vorderkante Fußbodenaufbau und Fassadenebene ist gegebenenfalls nach Vorgabe der Landesbauordnung mit einer Durchtrittsicherung zu versehen. Die Kelleraußenwand ist mit einer Perimeterdämmung im Außenbereich gedämmt und mit geeigneten Anstrichen gegen Durchfeuchtung geschützt. Im Sockelbereich ist vor die Perimeterdämmung ein Werksteinsockel eingebaut. Der Werksteinsockel ist mit einer dauerelastischen Fuge an das Fassadenpaneel angeschlossen.

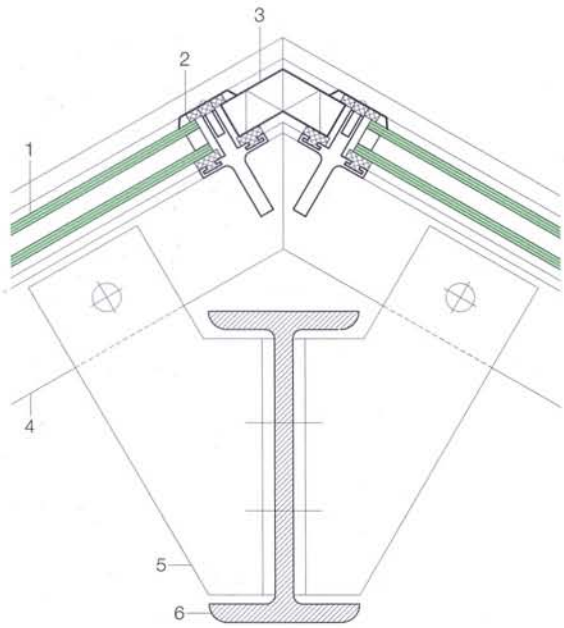


3.3.30

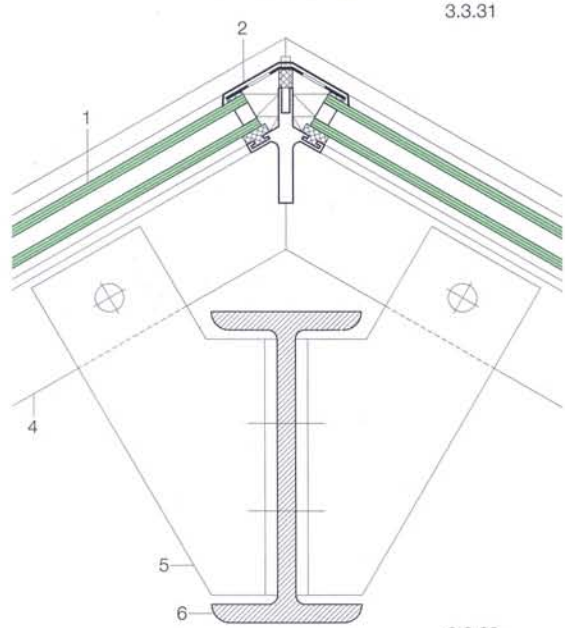
Glasdachkonstruktionen

3.3.31 und 3.3.32 Firstpunkte
3.3.33 und 3.3.35 Traufpunkte
3.3.36 oberer Anschluss an aufgehendes Bauteil
3.3.37 und 3.3.38 seitlicher Anschluss an aufgehendes Bauteil

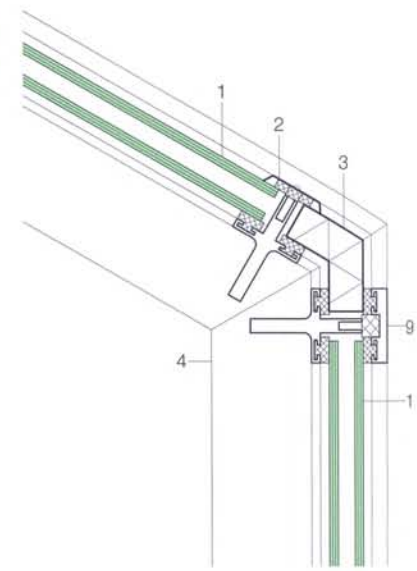
Vertikalschnitte
Maßstab 1:5



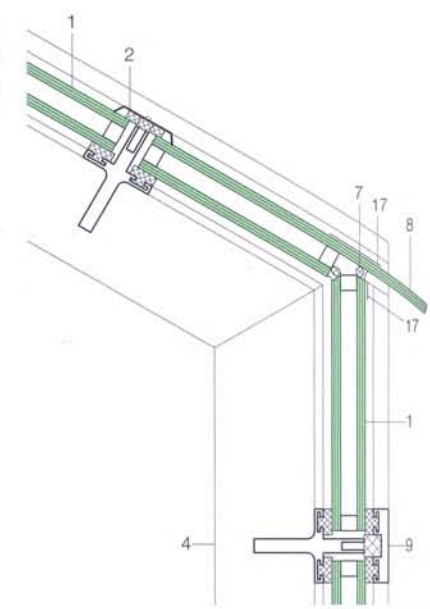
3.3.31



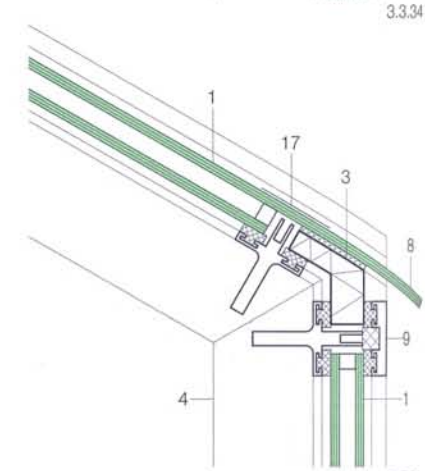
3.3.32



3.3.33



3.3.34

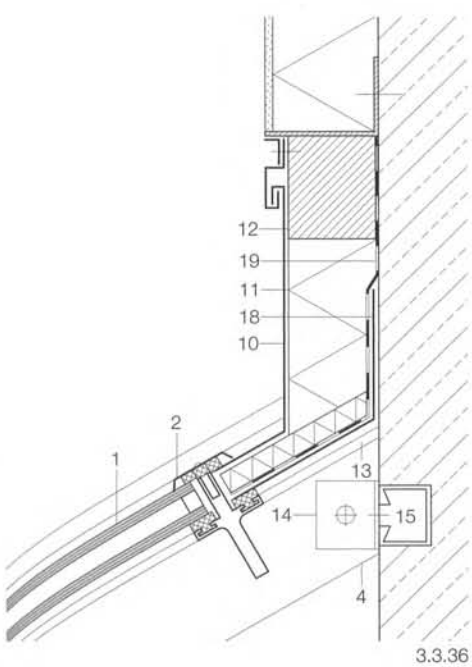


3.3.35

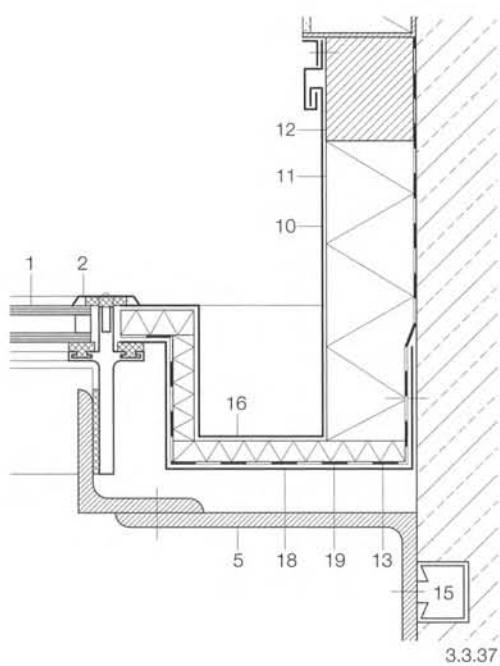
Die Abbildungen zeigen typische Lösungen für geneigte Glasdachkonstruktionen. Grundsätzlich können hier die selben Werkstoffe wie bei vertikalen Glasfassaden eingesetzt werden. Wegen der höheren thermischen und veränderten mechanischen Beanspruchung gegenüber der vertikalen Verglasung sind allerdings besondere konstruktive Maßnahmen erforderlich. Für die längs- und querlaufenden Sprossen sind die selben Profile, wie sie in den vorangegangenen Fassadendetails als Pfosten und Riegel verwendet wurden, zugrunde gelegt. Der Anschluss an die Primärkonstruktion aus Stahl erfolgt über Stahllaschen in drei Richtungen justierbar.
Das Drainagesystem der Unterkonstruktion ist der Schräglage anzupassen, damit das Wasser nach außen abfließen kann. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die wasserführende Ebene tiefer liegt als die Dichtebene. Die quer laufenden Pressleisten auf dem Dach sind flach und abgeschrägt, damit das Niederschlagswasser ablaufen kann. Allgemein ist zu beachten, dass bei Überkopfverglasungen die untere Scheibe splitterbindend (z.B. VSG, bei begrenzten Abmessungen auch Drahtglas) auszuführen ist. Bei Bruch muss die zerstörte Scheibe eine Resttragfähigkeit aufweisen, d.h. ihr Eigengewicht und eine Zusatzlast über eine von der Bauaufsichtsbehörde zu definierende Zeitspanne tragen können, ohne aus der Rahmenkonstruktion zu rutschen.
Bei einer betretbaren oder begehbaren Verglasung muss die Glasart entsprechend ausgewählt werden. Die zu erwartenden Lasten (Personen inklusive Material z.B. bei Reparaturarbeiten) müssen als Zusatzlasten berücksichtigt werden. Als betretbar gelten Verglasungen, wenn sie nur von einem eingeschränkten Personenkreis begangen werden können, z.B. für Wartungszwecke. Begehbar impliziert eine allgemeine uneingeschränkte Zugänglichkeit.
Bei größeren Dachflächen werden Entwässerungsrinnen notwendig.
Abb. 3.3.31 Die Querriegel am Firstpunkt sind aus optischen Gründen möglichst weit nach oben gerückt. Der First ist mit einem gedämmten Paneel geschlossen, das im entsprechen-

1 Isolierglas
2 Pressleiste abgeschrägt
3 Fassadenpaneel gedämmt
4 Fassadenriegel Aluminium
5 L-Stahlprofil
6 Stahlträger
7 dauerelastische Fuge
8 ESG
9 Aluminiumprofil thermisch getrennt, gedämmt
10 Abdeckblech
11 Dämmung
12 Kantholz
13 PVC-Profilschiene
14 Aluminiumwinkel
15 Ankerschiene
16 Blechrinne
17 keramische Bedruckung
18 Aluminiumblech
19 Abdichtung

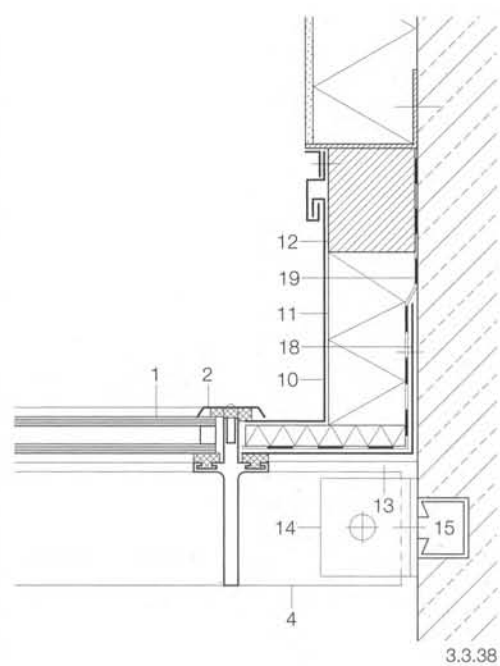
den Winkel gekantet ist. Die schräg liegenden Profile sind auf Gehrung geschnitten und über Schraubkanäle aneinander gefügt.
Abb. 3.3.32 Der First ist mit einem Abdeckblech geschlossen, das im Schraubkanal der Firstpfette befestigt wird.
Abb. 3.3.33 Die Riegel sind aus optischen Gründen möglichst weit in die Ecke geschoben. Die Ecke ist mit einem gedämmten Paneel geschlossen, das im entsprechenden Winkel abgekröpft ist. Die Fassadenpfosten und die schräg liegenden Dachsprossen sind auf Gehrung geschnitten und werden mit Stahlwinkeln oder über die Schraubkanäle aneinander gefügt. Bei Traufpunkten ohne Dachüberstand ist eine Tauwassersammelrinne empfehlenswert, die das schmutzhaltige Tauwasser aufnimmt.
Abb. 3.3.34 Die Ecke ist als Ganzglasecke ausgeführt. Die geneigte Glastafel ist im Eckpunkt ausgeklinkt, die äußere Scheibe läuft als Dachüberstand über die Fassadenachse weiter. Die Fugen zwischen vertikaler Glasfläche und Dach sind mit dauerelastischem Dichtstoff geschlossen. Bei dieser aus gestalterischen Gründen gewählten Lösung ist zu beachten, dass die Lagerung der oberen Scheibe besonders sorgfältig erfolgen muss und die Entwässerung des Falzraums bei nicht gründlicher Verarbeitung zu Undichtigkeiten neigt. Das Detail ist konstruktiv nur über die Silikondichtung gelöst.
Abb. 3.3.35 Die Ecke ist mit einem gedämmten Paneel geschlossen. Die äußere Glasscheibe der geneigten Isolierglaseinheit ist auf das Paneel geklebt und läuft als Dachüberstand über die Fassadenachse weiter. Der frei liegende Randverbund des Isolierglases bei Abb. 3.3.34 und 3.3.35 ist durch geeignete Maßnahmen, z.B. Bedrucken der Scheiben, vor UV-Strahlung zu schützen.
Abb. 3.3.36 zeigt den oberen Anschluss eines geneigten Glasdachs an eine aufgehende gedämmte Stahlbetonwand. Die schräg laufenden Profile sind über Langlöcher, Stahlwinkel und eine Ankerschiene in drei Richtungen justierbar mit dem Rohbau verbunden. Das Glasdach ist mit einem gedämmten Paneel, einem PVC-Winkel und Dichtungsbändern dauerelastisch und dauerhaft diffusions- und luftdicht an den Rohbau angeschlossen. Das Anschlussblech ist entsprechend der Norm 15 cm über die Wasser führende Schicht nach oben gezogen.
Abb. 3.3.37 und 3.3.38 Der seitliche Anschluss an aufgehende Bauteile kann mit oder ohne Rinne hergestellt werden. Das Glasdach ist mit einem Paneel, einem PVC-Winkel und Dichtungsbändern dauerelastisch und dauerhaft diffusions- und luftdicht an den Rohbau angeschlossen. In Abb. 3.3.37 ist die Höhe der schräg laufenden Tragsprosse für die Rinne ausgenutzt. Bei geringen Dachneigungen von weniger als 10° kann es erforderlich sein, die Rinne im Winter zu beheizen. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Anschlussdämmung sollte dem des Isolierglases entsprechen, um Wärmebrücken zu vermeiden. Zu beachten ist, dass Konstruktionen unter 7° Neigung das Wasser nicht komplett abfließen lassen, d.h. dieses kann im Glasfalz verbleiben mit den möglichen Folgen einer Schädigung des Randverbundes, einer Reduzierung der Lebensdauer des Isolierglases, der Verätzung der Glasoberfläche sowie der behinderten Schmutzabführung.



3.3.36



3.3.37



3.3.38

Teil 4 Gebaute Beispiele im Detail

Nr.	Seite	Architekt(en)	Gebäude	Merkmale
1	202	Herzog & de Meuron	Prada Store in Tokio, J	Fassade mit rautenförmigen Glaselementen
2	208	Foster and Partners, London	Umbau eines Museumsgebäudes in London, GB	Glas im historischen Kontext, Glastreppe
3	210	Di Blasi Associati, Mailand	Glasbrücke in der Basilika von Aquileia, I	Glasbrücke
4	212	Kollhoff, Berlin mit Christian Rapp	Wohnbebauung in Amsterdam, NL	Glas und Mauerwerk, Faltfenster
5	215	Fink + Jocher, München	Geschäftshaus in Lindau, D	Glas im historischen Kontext, Glasfassade
6	218	Ando & Associates, Osaka	Konferenzpavillon in Weil am Rhein, D	Glas und Sichtbeton, Glasfassade
7	221	Sejima & Associates, Tokio	Wohnhaus in Tokio, J	Stahl-/Glasfassade, Glasecke
8	224	Herzog & de Meuron, Basel	Karikaturenmuseum in Basel, CH	Glas im historischen Kontext, Glasfassaden
9	227	Bembé + Dellinger, Greifenberg	Wohnatelier am Ammersee, D	Glasschiebefenster in Holzrahmen
10	230	Werner Sobek, Stuttgart	Wohnhaus R 128 in Stuttgart, D	Ganzglaswohngebäude
11	234	Baumschlager Eberle, Lochau	Wohnanlage in Dornbirn, A	Fassade aus siebbedrucktem ESG
12	236	Adjaye Associates, London	Idea Store in London, GB	farbiges Glas und Low-E-Beschichtung
13	239	Sauerbruch Hutton, Berlin	Feuer- und Polizeiwache in Berlin, D	farbige Glaslamellen
14	242	Mahler Günster Fuchs, Stuttgart	Fachhochschule in Wiesbaden, D	Isolierverglasung mit Holzgitter im SZR
15	245	Lichtblau Wagner, Wien	Pfarrzentrum in Podersdorf, A	bedrucktes Glas
16	248	schneider+schumacher, Frankfurt/Main	Hochregallager in Lüdenscheid, D	Profilbauglas
17	252	Allmann Sattler Wappner, München	Service-Center in Ludwigshafen, D	Glasfliesen an der Fassade
18	254	Baumschlager Eberle, Lochau	Versicherungsgebäude in München, D	Glasfassade, Umbau und Erweiterung
19	257	Amann & Gittel, München	Druckereigebäude in München, D	Profilbauglas, doppelschalig
20	260	Heikkinen + Komonen, Helsinki	Finnische Botschaft in Washington, USA	Glassteinfassade, hinterspannte Glasfassade
21	265	OMA; Rem Koolhaas, Rotterdam	Niederländische Botschaft in Berlin, D	Kastenfassade, Glastrennwände, Glasfußboden
22	269	Behnisch & Partner, Stuttgart	Internationales Kongresszentrum in Bonn, D	Außenhaut in Schichten, Glasfassaden, Lichtdach
23	274	Behnisch & Partner, Stuttgart	Akademie der Künste in Berlin, D	bedrucktes Glas
24	278	Nouvel, Cattani & Associés, Paris	Fondation Cartier in Paris, F	Glasfassaden, Glasdach
25	282	Rogers Partnership, London	Büro- und Studiogebäude Channel 4 in London, GB	hängende und hinterspannte SSG-Fassade
26	285	Chaix Morel & Partner, Paris	Hochschulkomplex in Marne-la-Vallée, F	SSG-Fassaden, abgehängte Glasdächer
27	290	Ingenhoven Overdiek Kahlen + Partner	RWE-Hochhaus in Essen, D	zweischalige Glasfassade, Schrägverglasung
28	296	Kauffmann + Theilig, Stuttgart	Glasdach der Industrie- und Handelskammer in Stuttgart, D	zweischaliges Glasdach
29	298	Piano, Genua	Kunstmuseum in Basel, CH	Ganzglaskonstruktion
30	302	Behnisch & Partner, Stuttgart	Badehalle im Kurmittelhaus in Bad Elster, D	Glasdach, bedruckte Sonnenschutzelemente ESG
31	306	Postel, Rotterdam	Verbindungssteg in Rotterdam, NL	Ganzglaskonstruktion
32	308	Design Antenna, Richmond	Erweiterung eines Glasmuseums in Kingswinford, GB	Ganzglasgebäude
33	311	Hascher Jehle Architektur, Berlin	Kunstmuseum in Stuttgart, D	Glaskubus: Glasfassade, Glasdach
34	314	Ibos + Vitart, Paris	Kunstmuseum in Lille, F	begehbares horizontales Glasdach
35	317	Piano, Genua	Forschungslabor und Architekturbüro in Genua, I	Glas und Holz, geneigtes Glasdach, Glastrennwand
36	320	Allmann Sattler Wappner, München	Gymnasium in Flöha, D	abgehängtes geneigtes Glasdach
37	322	Danz, Schönaich	Glasdach Schloss Juval in Schnalstal im Vinschgau, I	unterspanntes geneigtes Glasdach
38	325	gmp, Aachen/Leipzig	Neue Messe in Leipzig, D	abgehängtes gekrümmtes Glasdach
39	328	Grimshaw, London	Waterloo International Terminal in London, GB	gekrümmtes Glasdach, abgeh. Glastrennwände
40	333	Foster and Partners, London	Universitätsbibliothek in Berlin, D	Glaskuppel
41	338	Lamm Weber Donath Partner, Stuttgart	Verglastes Seilnetz am Rhön-Klinikum in Bad Neustadt, D	Zeltdach mit verglaster Seilnetzkonstruktion
42	340	gmp, Hamburg	Innenhofüberdachung eines Museums in Hamburg, D	verglaste Netzschale

Abb. 4 Kunsthaus Bregenz, 1997, Peter Zumthor

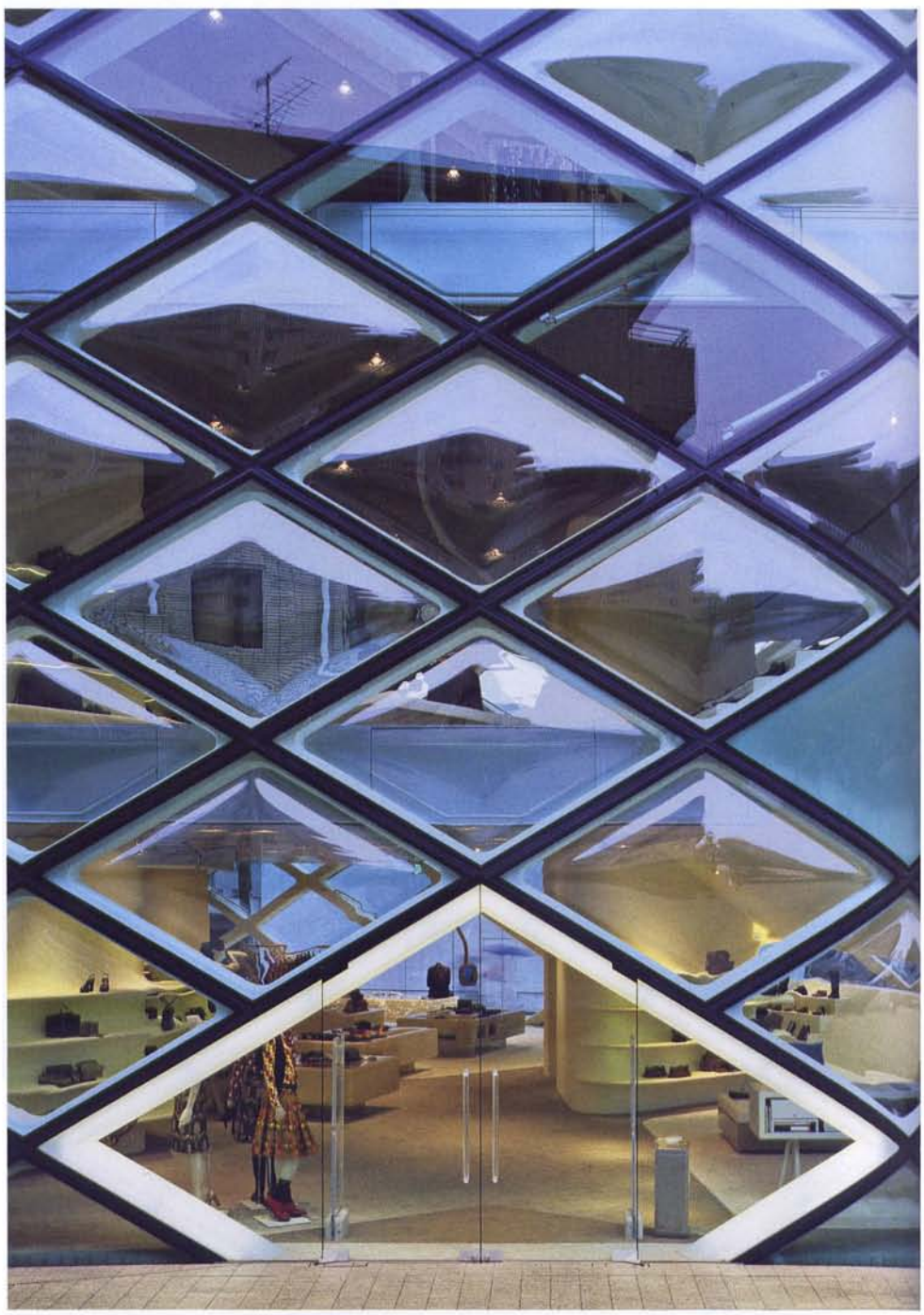
Landesschützen-Major
1809

Prada Aoyama Epicenter

Tokio, J 2003

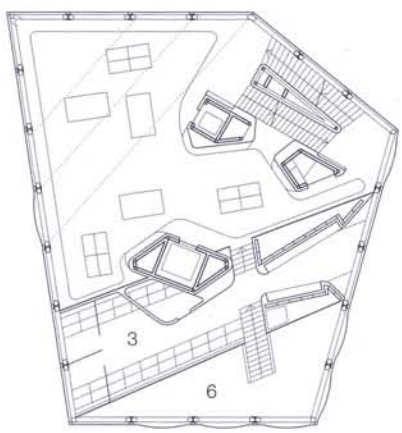
Architekten:
Herzog & de Meuron, Basel
Partner-Architekten:
Takenaka Corporation, Tokio
Tragwerksplanung:
WGG Schnetzer Puskas, Basel
Takenaka Corporation, Tokio

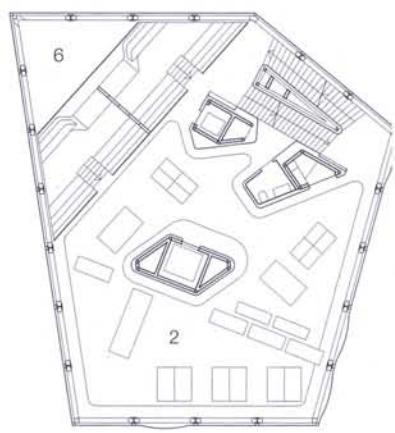
Das Prada-»Epicenter« an der Fashionmeile Omotesando ist wie ein dreidimensionales Schaufenster ausgebildet. Die prismatische Form des Baukörpers wird durch konvex und konkav gewölbte Gläser zu einer sinnlichen Erscheinung. Die optischen Effekte der verformten Gläser verführen zum Betreten dieser Raumskulptur, deren rautenförmige Fassade gemeinsam mit den horizontal aussteifenden »Tubes« der Umkleiden und den Geschossdecken einen starren erdbebensicheren Käfig bildet. Die Stahlprofile der tragenden Fassade konnten nur wegen der EPDM/APTK-Lager der Fundamente so filigran dimensioniert werden. Die Unterkonstruktion der Verglasung ist als diagonale Pfosten-Riegel-Fassade ausgeführt. Damit die Dichtigkeit trotz der durch die Rautenform bedingten Schrägstellung der Pfosten gewährleistet werden kann, wurden die Innenseiten zusätzlich mit Silikon nassversiegelt. Die Anforderungen an schmale Fugen ohne Pressleisten und die Elastizität der Konstruktion führten zu einer Halterung mit in den Randverbund eingreifenden Klammern. Bei einem Erdbeben bleiben die Scheiben in ihrer Lage, die Unterkonstruktion gleitet im Randverbund der Scheiben. Bei der Herstellung werden ebene Scheiben auf einem trapezförmigen Rahmen erwärmt, bis sich der Innenbereich durch das Eigengewicht absenkt. Um die Toleranzen von 30 mm bei einem Stich von 150 mm einhalten zu können, war ein acht Stunden dauernder Prozess mit exakt gesteuerten Aufheiz-, Verformungs- und Abkühlphasen nötig.
In Japan werden im Gegensatz zu Deutschland Floatglasscheiben als äußere Lage für sicherer angesehen als vorgespanntes Glas (ESG). So wurde für die Scheiben Floatglas eingesetzt; durch die Erwärmung bei der Verformung kann bedingt von einer Teilvorspannung ausgegangen werden. Da kein Sonnenschutz vorgesehen ist, sind dort, wo die Auslagen der Sonne ausgesetzt sind, laminierte Scheiben mit eingeschweißter UV-Filterfolie eingebaut, um ein Ausbleichen zu verhindern. Im Bereich eines möglichen Brandüberschlags zur Nachbarbebauung wurde Brandschutzglas verwendet. Mit Gasdruckfedern versehene Einstiegsflügel für die Feuerwehr können beim Anleitern von außen entriegelt werden.

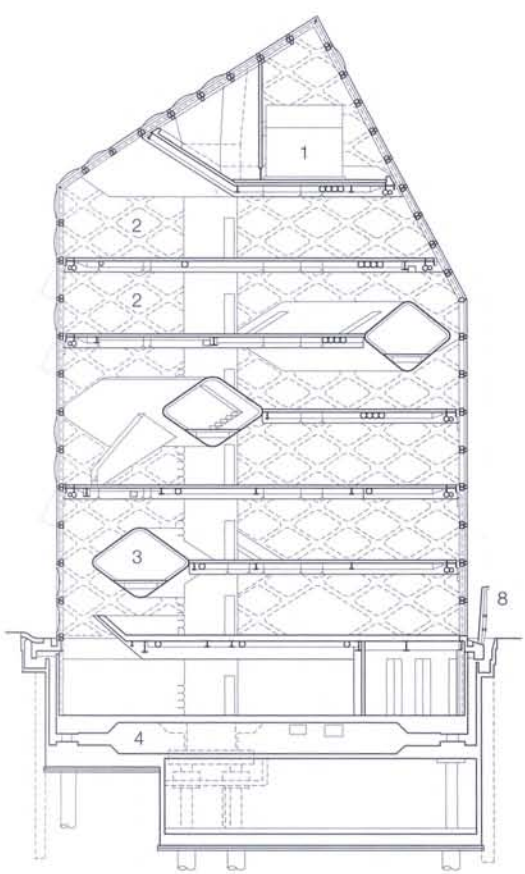


Lageplan
Maßstab 1:4000
Grundrisse Erdgeschoss,
4. und 5. Obergeschoss •
Schnitt
Maßstab 1:400

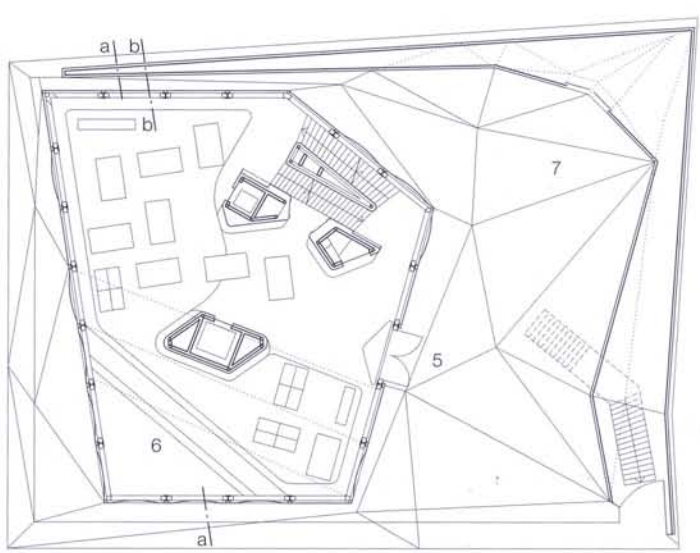
1 Technik
2 Büro
3 »Tube«
4 Erdbebendämpfer Fundament
5 Eingang
6 Luftraum
7 Plaza







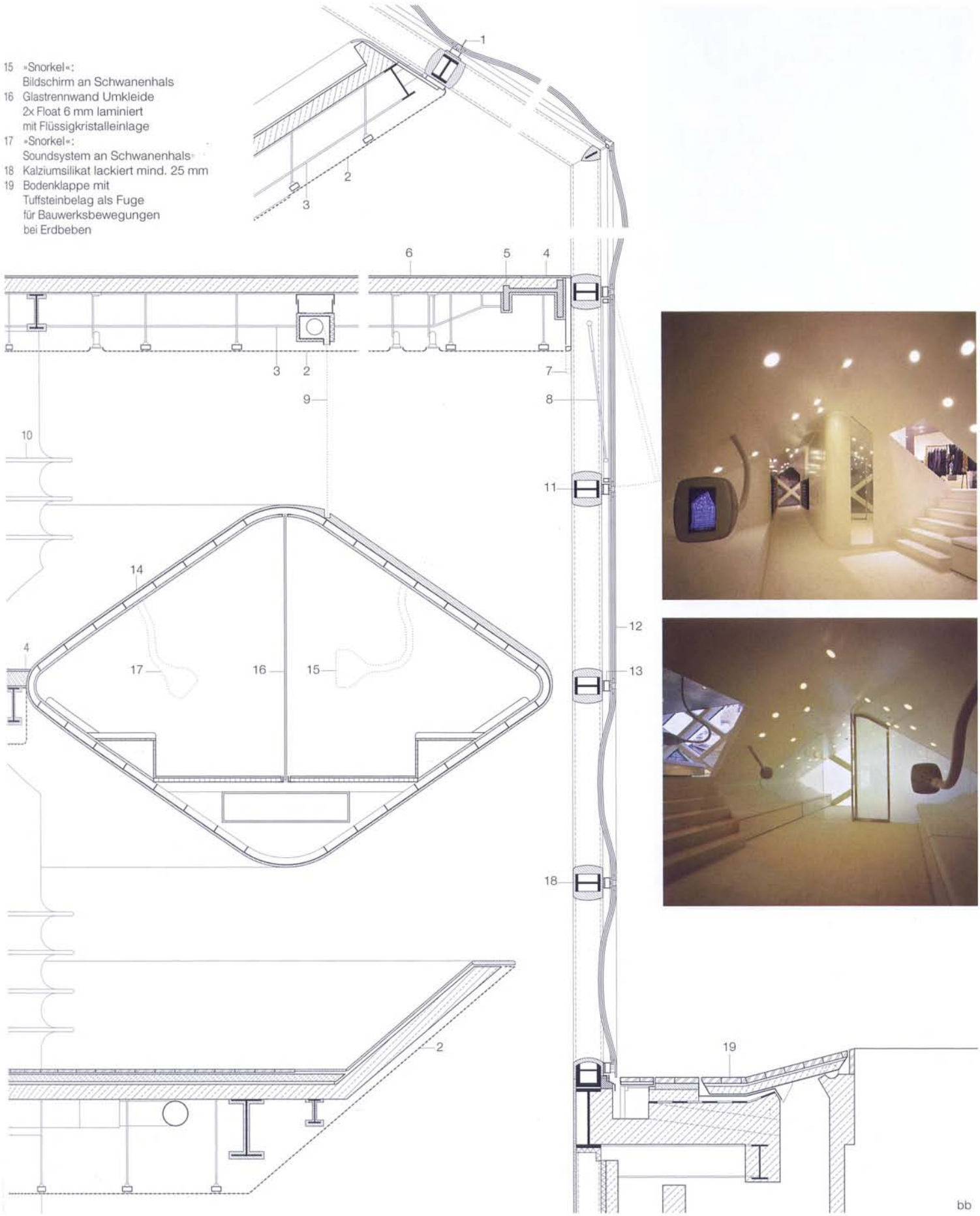
aa



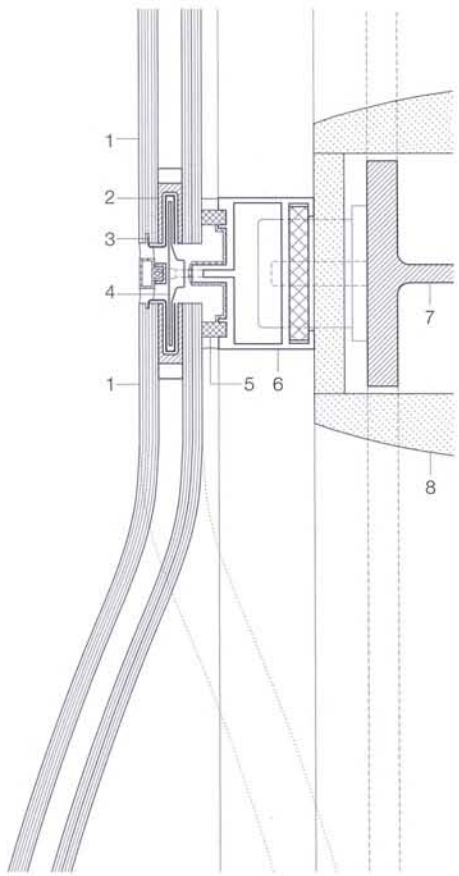
Schnitt Maßstab 1:50

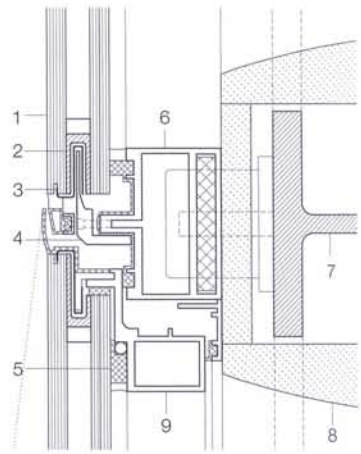
1 Regenrinne
2 Lochblech Aluminium, Stöße verzahnt
3 Stahlprofil H 350/175 mm
4 Bodenstreifen entlang Fassade:
Epoxidharz cremefarben 2 mm
Estrich 18 mm
Betonverbunddecke 150 mm
5 Auflager Decke und Zugband
der diagonalen Fassaden-
träger 600/400 mm
6 Teppich 12 mm
Estrich 10 mm
Betonverbunddecke 150 mm
7 Rauchschürze Aluminiumpaneel
zum Schließen des unteren Rautenfelds
8 Gasdruckfeder Öffnungsflügel
9 Rauchvorhang ausfahrbar
10 Regale Stahlblech,
cremefarben lackiert
11 tragende Fassade
Stahlprofil HEA 250/180 mm auf
Baustelle verschweißt,
Blechstärke je nach Beanspruchung,
an Gebäudekanten mit massiven
Gussteilen verstärkt
12 Verglasung rautenförmig eben,
konvex oder konkav 3200/2000 mm
13 diagonale Pfosten-Riegel-
Konstruktion Aluminium
14 »Tube«: Brandschutzbekleidung innen
und außen Brandschutz Kalziumsilikat
cremefarben matt lackiert 25 mm
Stahlblech 6 mm mit
Verstärkungsrippen

15 »Snorkel«:
Bildschirm an Schwanenhals
16 Glastrennwand Umkleide
2x Float 6 mm laminiert
mit Flüssigkristalleinlage
17 »Snorkel«:
Soundsystem an Schwanenhals
18 Kalziumsilikat lackiert mind. 25 mm
19 Bodenklappe mit
Tuffsteinbelag als Fuge
für Bauwerksbewegungen
bei Erdbeben



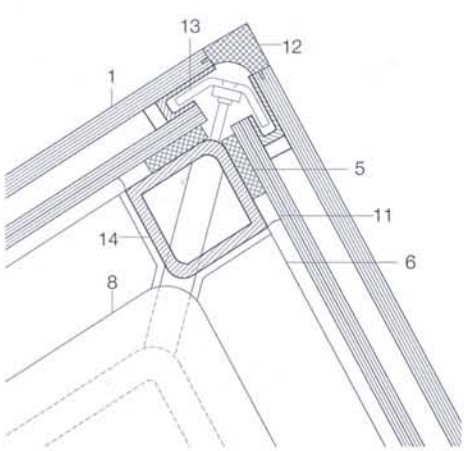
bb

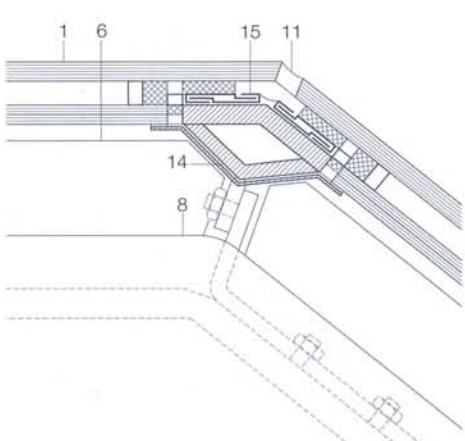


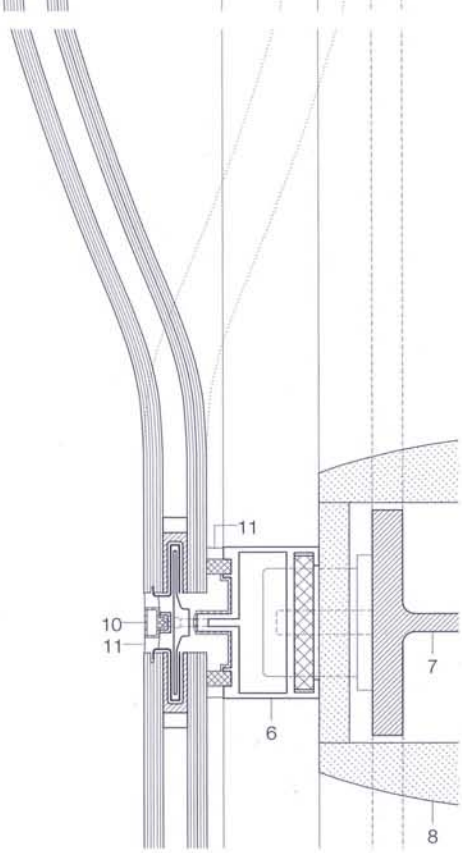


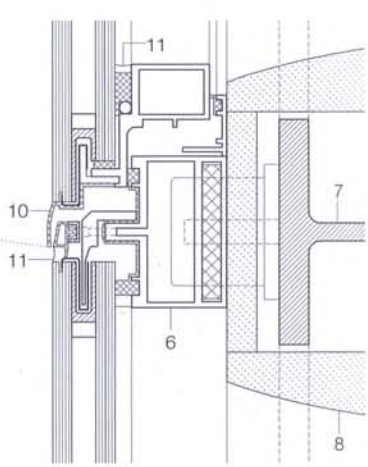
Detailschnitte
Vertikalschnitt Firstpunkt
scharfkantige Ecken durch Silikonprofil
Horizontalschnitt Gebäudeecke
minimale Fugen durch überstehende Gehrung der äußeren Scheibe •
Regeldetail Glashalterung •
RWA-Öffnungsflügel/Notausstieg
Maßstab 1:5

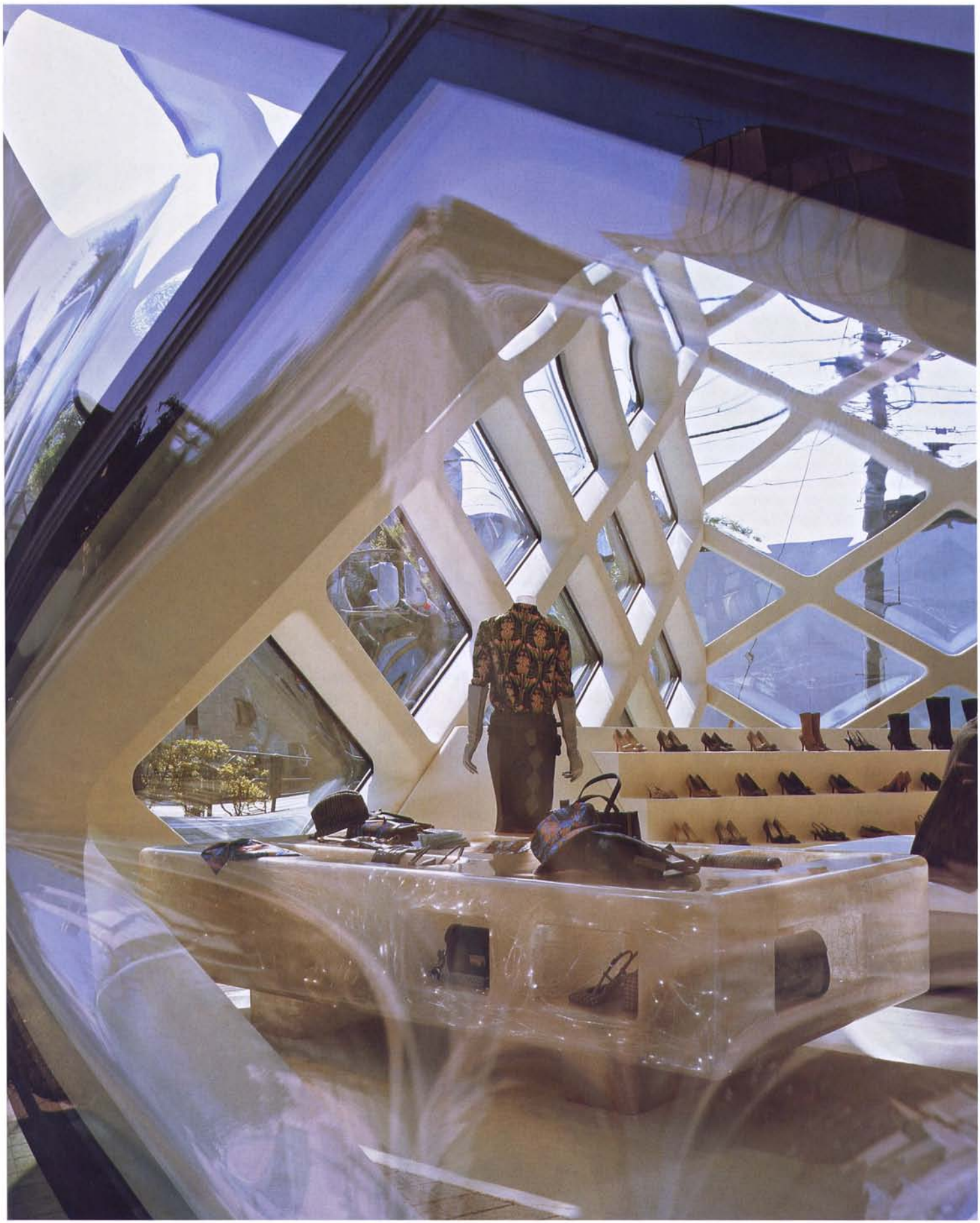
1 rautenförmige Glaselemente eben, konvex oder konkav gebogen 3200/2000 mm: Float 12 mm Rand punktuell mit diamantgefräster Nut SZR 16 mm Luftfüllung + VSG 2× 6 mm mit einlaminierter UV-Filterfolie U= 2,6 W/m²K
2 Gleitschiene Edelstahl LJ-Stahlprofil
3 mechanische Sicherung der äußeren Scheibe Halteklammer Edelstahl
4 Halteklammer Verglasung Aluminium l = 34 mm
5 Anpressprofil Silikon
6 diagonale Pfosten-Riegel-Konstruktion Aluminium
7 tragende Fassade Stahlprofile HEA 250/180 mm
8 Brandschutzverkleidung Kalziumsilikat cremefarben matt lackiert mind. 25 mm
9 RWA-Flügel/Notausstieg Aluminium
10 Fugenprofil Silikon
11 Nassversiegelung Silikon
12 Kantenprofil Silikon
13 Klemmprofil Aluminium
14 Unterkonstruktion Schweißprofil Stahlblech 8–20 mm
15 Aluminiumgleitschiene









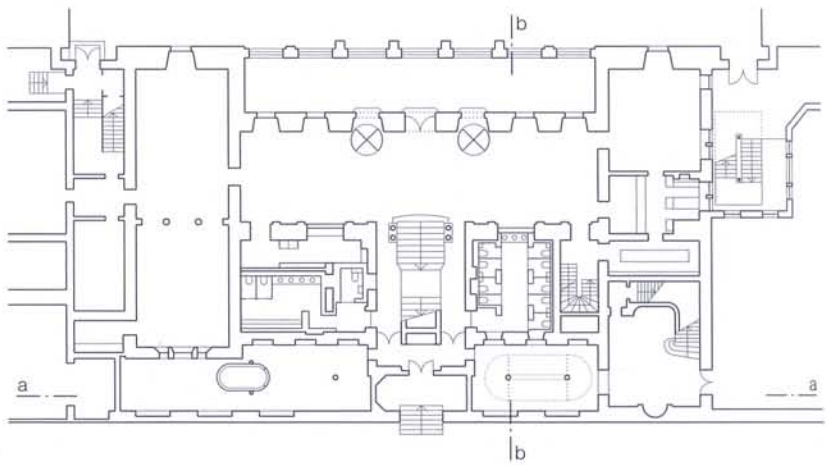


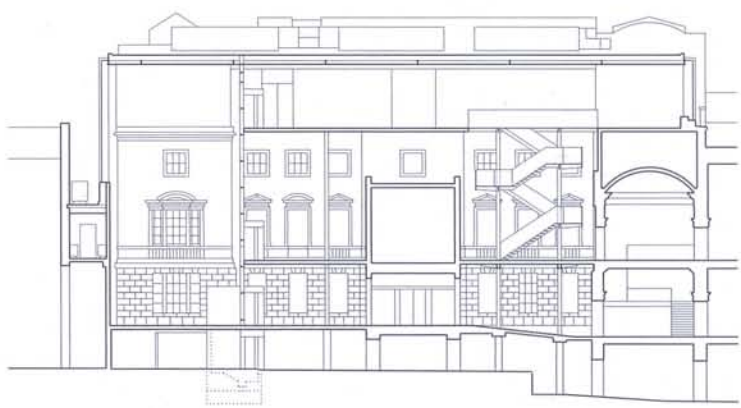
Instandsetzung und Umbau eines Museumsgebäudes

London, GB 1991

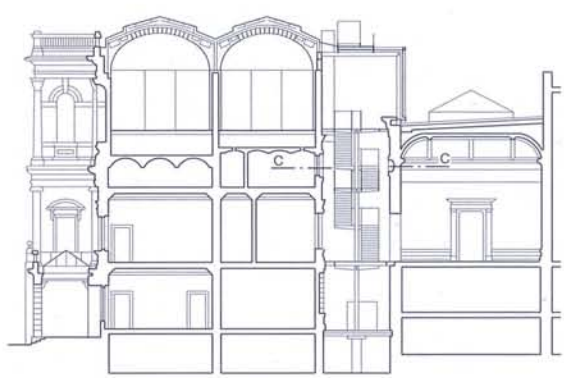
Architekten:
Foster and Partners, London
Tragwerksplanung:
Anthony Hunt Associates, London

Durch die Instandsetzung und den Umbau der viktorianischen Diploma Galleries zu den Sackler Galleries gelang es, das geschichtsträchtige alte Gebäude einer neuen, zeitgemäßen Nutzung zuzuführen. Die Sanierung war notwendig geworden, da aufgrund der ungenügenden Erschließungssituation und des schlechten Raumklimas die bisherigen, der Royal Academy of Arts angegliederten Ausstellungsräume die meiste Zeit des Jahres leerstanden. Die neuen, innerhalb der alten Mauern gelegenen Galerien werden über Oberlichter natürlich belichtet. Ein raffiniertes Lamellensystem in der Decke reguliert die Lichteinstrahlung. Die Räume sind voll klimatisiert und nun auch für anspruchsvolle Wechselausstellungen geeignet. Das Zugangsproblem wurde durch eine neue Treppe und einen gläsernen Aufzug im bestehenden engen Lichthof zwischen dem alten Burlington House und den Diploma Galleries gelöst; der ehemals ungenutzte Raum wird zur zentralen Erschließung für beide Gebäude der Royal Academy. Damit ist auch die klassizistische Fassade des Burlington House wieder zugänglich. Alle neuen Einbauten sind im Detail ausgesprochen reduziert und beschränken sich auf wenige Materialien. Die Treppenstufen und die Geländer sind aus Glas, damit in dem schmalen Raum das von oben einfallende Licht bis ins Erdgeschoss vordringen kann. Auf der obersten Ebene wurde ein neuer Foyerbereich für die Ausstellungsräume geschaffen, der auch der Skulpturensammlung sowie Michelangelos berühmten Tondo einen angemessenen Platz bietet. Eine über Eck geführte Verglasung von Wand und Dach sowie ein gläserner Streifen im Fußboden ermöglichen hier die natürliche Belichtung des Raumes und der darunterliegenden Ebenen. Der behutsame Umbau der Sackler Galleries stellt eine herausragende Lösung für ein gelungenes Zusammenwirken von alt und neu dar. Der Baustoff Glas spielt dabei eine zentrale Rolle.

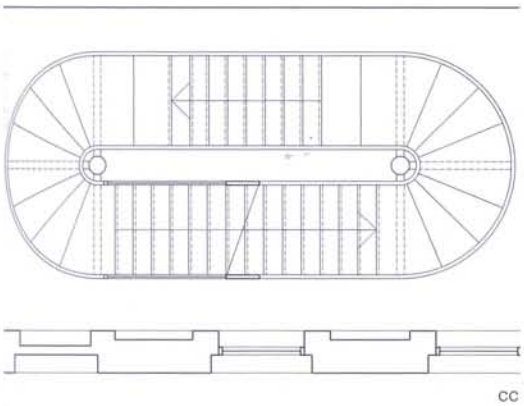


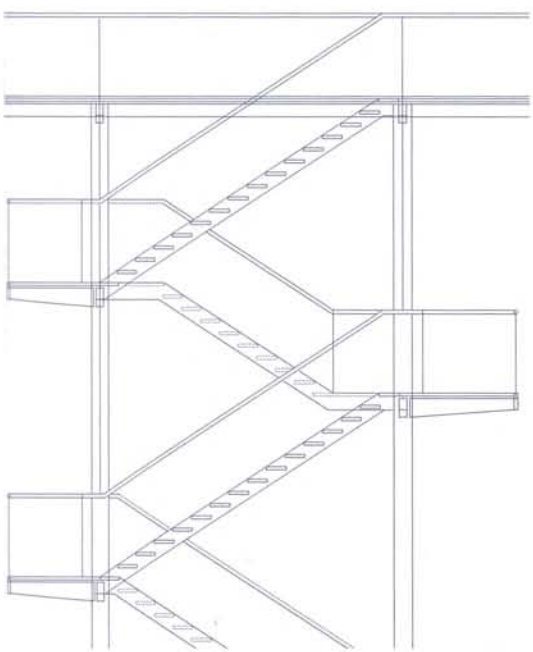


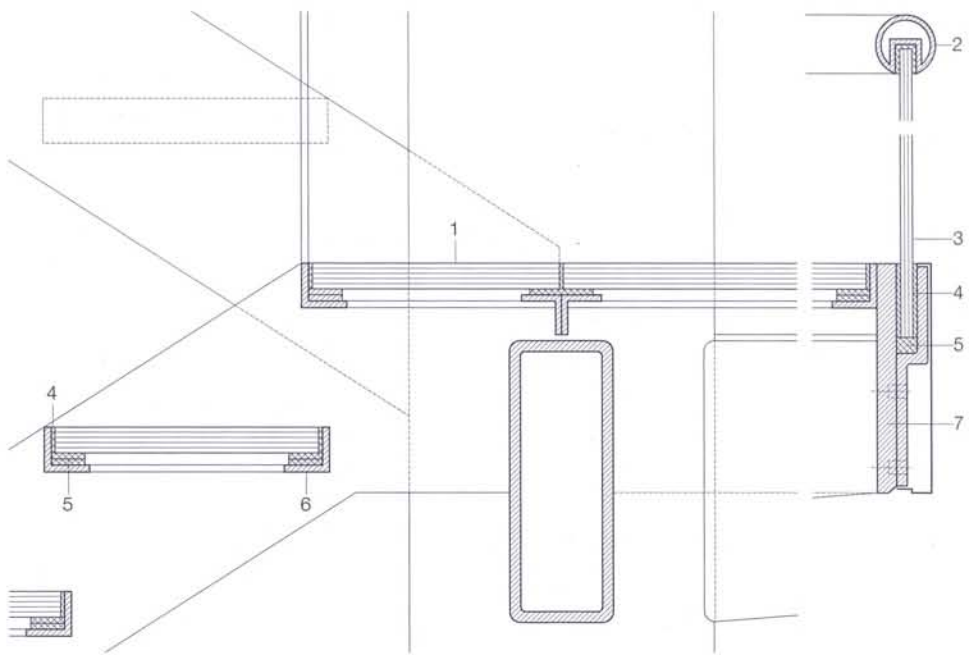
aa



bb

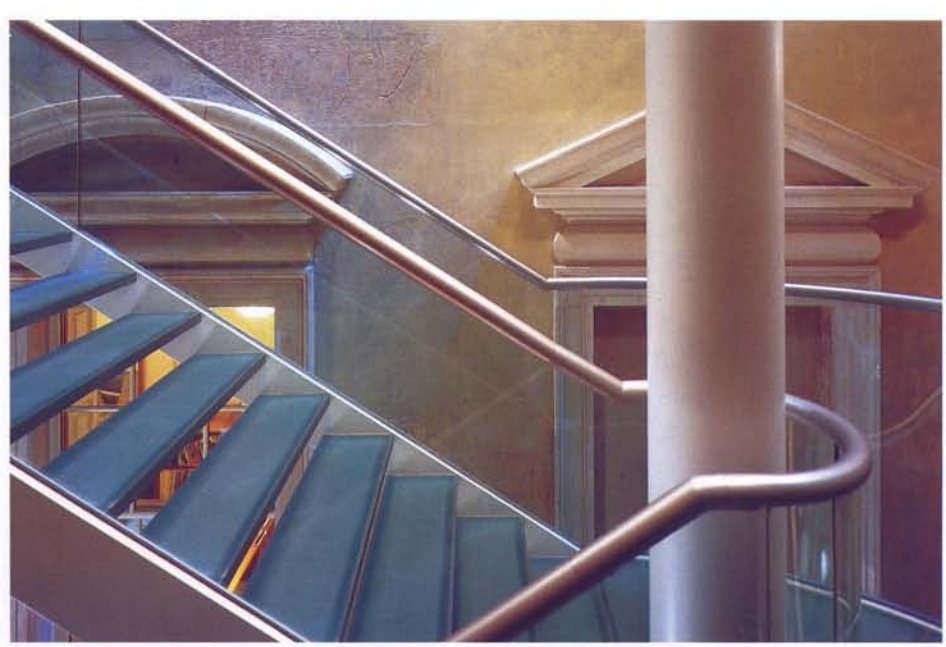






Grundriss • Schnitte
Maßstab 1:500
Horizontalschnitt •
Vertikalschnitt Treppe
Maßstab 1:100
Detailschnitt Zwischenpodest
Maßstab 1:5

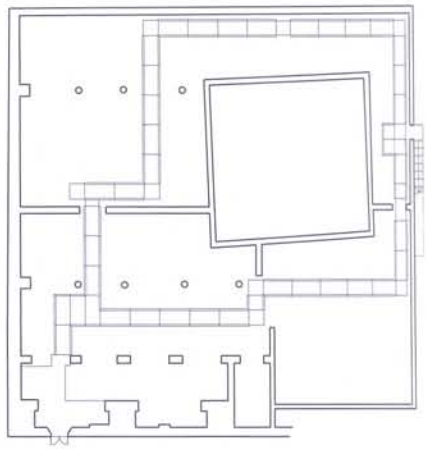
1 VSG 25 mm,
Oberfläche
sandgestrahlt
2 Handlauf
Edelstahlrohr
Ø 40 mm
3 ESG 16 mm
4 Verfugung Silikon
5 EPDM-Auflager
6 Edelstahlprofil
L 40/40/5 mm
7 Wange Flachstahl
▱ 220/22 mm



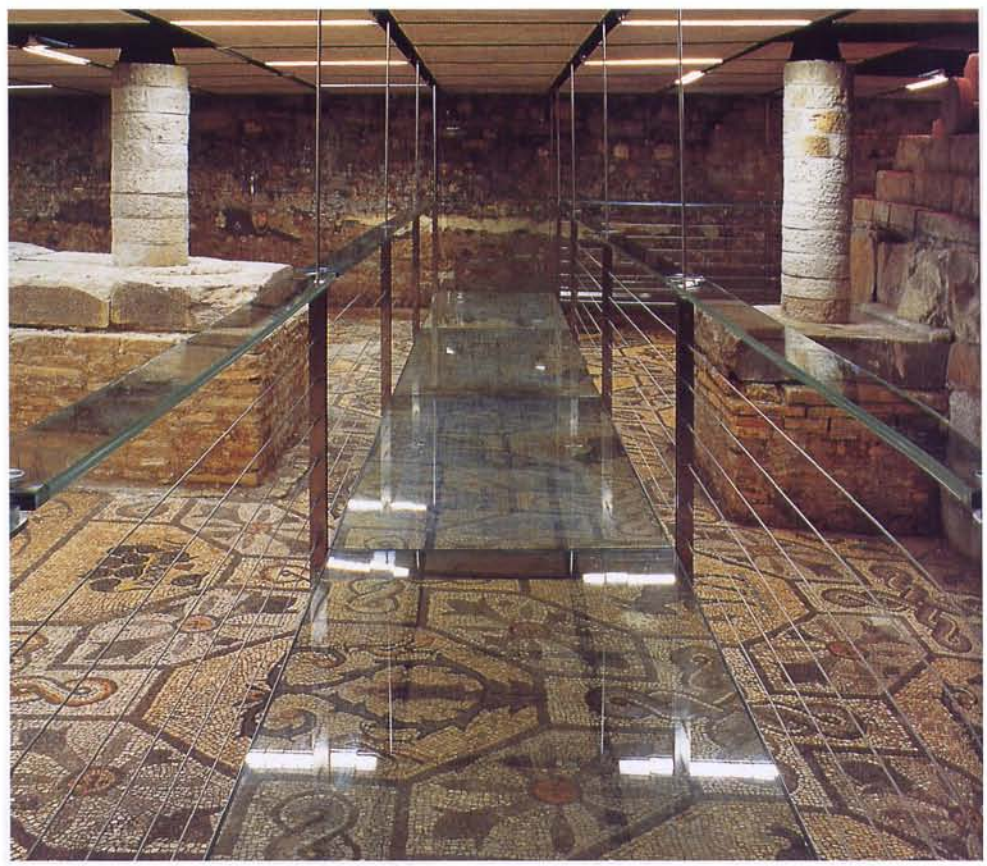
Glasbrücke in der Basilika von Aquileia

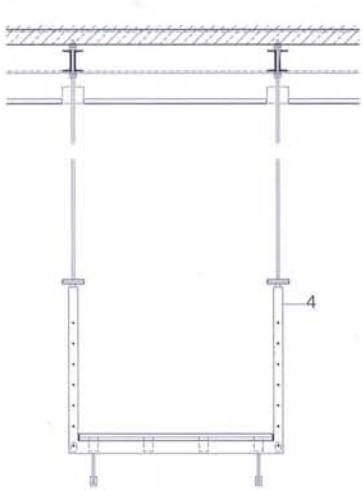
Laguna di Grado, I 1999

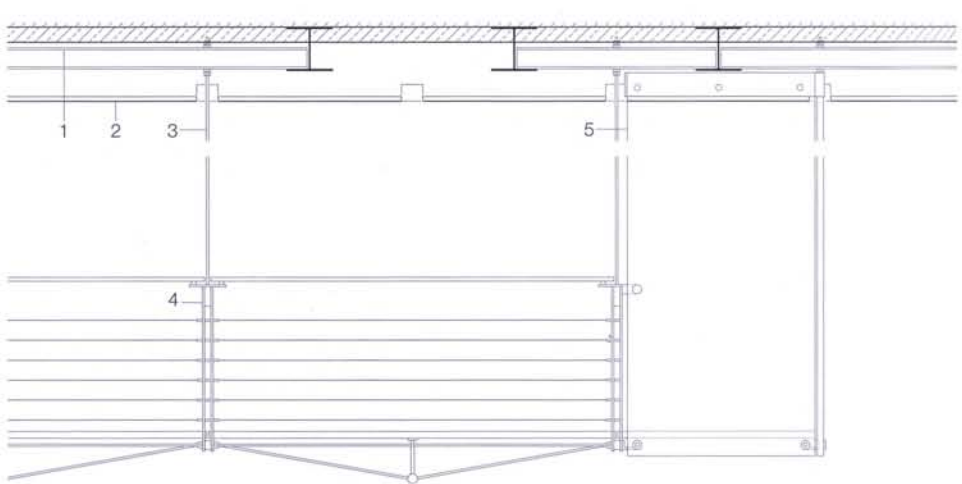
Architekten:
Ottavio Di Blasi Associati, Mailand
Ottavio Di Blasi, Paolo Simonetti,
Daniela Tortello, Stefano Grioni
Mitarbeiter:
Mauricio Cardenas, Marzia Roncoroni,
Anna Fabro
Tragwerksplanung:
Favero & Milan Ingegneria, Meran

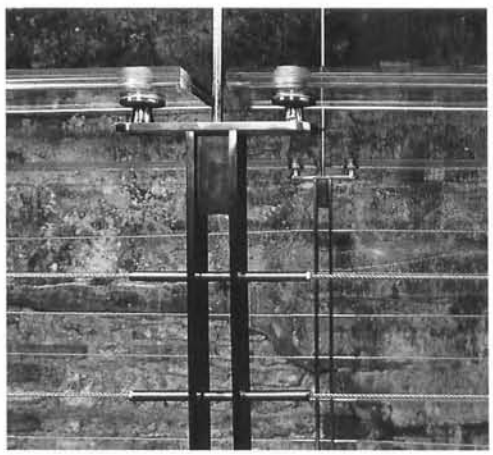


Noch während des Ersten Weltkriegs begannen die Ausgrabungen der Mosaikböden unter der Basilika von Aquileia, einer der wichtigsten archäologischen Entdeckungen des 20. Jahrhunderts, wie sich im Laufe der Freilegung herausstellte. Mittlerweile zum Weltkulturerbe der Menschheit erklärt, bilden sie einen Anziehungspunkt für 300000 Kunstinteressierte jährlich. Aber nicht nur die Tatsache, dass den Mosaiken durch die Besucherströme irreparabler Schaden zugefügt wird, weckte Handlungsbedarf. In erster Linie war es notwendig, das baufällig gewordene Betondach zu ersetzen, welches damals zum Schutz vor Witterungseinflüssen errichtet worden war. Der Architekt wählte eine Stahlkonstruktion, die es ihm ermöglichte, ein System transparenter Stege von der Decke abzuhängen. So ist unverstellte Sicht auf die Böden gewährleistet, ohne sie der Gefahr weiterer Beschädigung auszusetzen. Die Gehfläche besteht aus Verbundglasplatten, deren oberste, 6 mm dünne Schicht leicht entfernt werden kann. Aufgrund der zu erwartenden Abnutzung ist ein Auswechseln dieser Schicht alle zwei Jahre vorgesehen. Eine schlanke Edelstahlkonstruktion nimmt das Gewicht des Steges und die Verkehrslast auf. Durch Anordnen vertikaler Glasscheiben in allen Ecken des Wegesystems wurde das größte Problem, die waagrechte Aussteifung, gelöst.





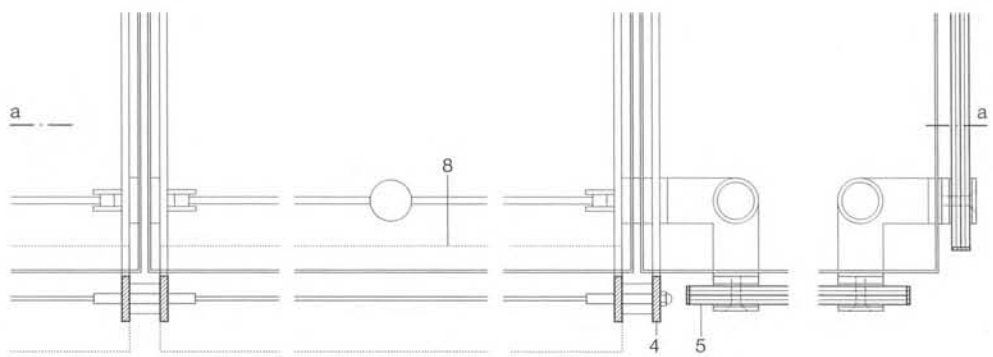


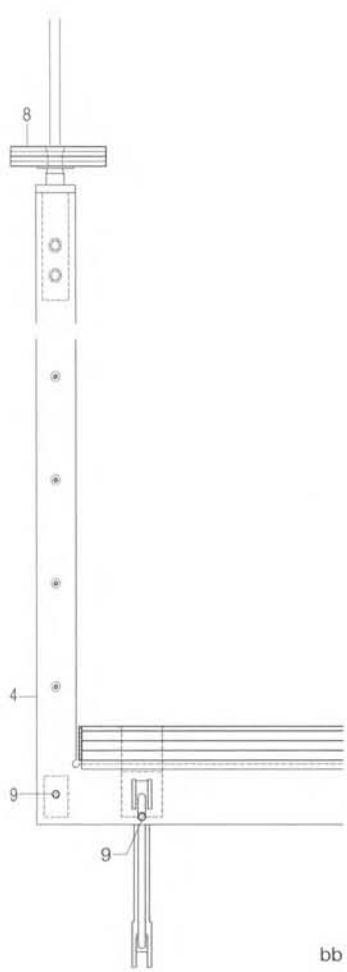


Grundriss Steganlage
Maßstab 1:750
Querschnitt • Teilansicht
Maßstab 1:50

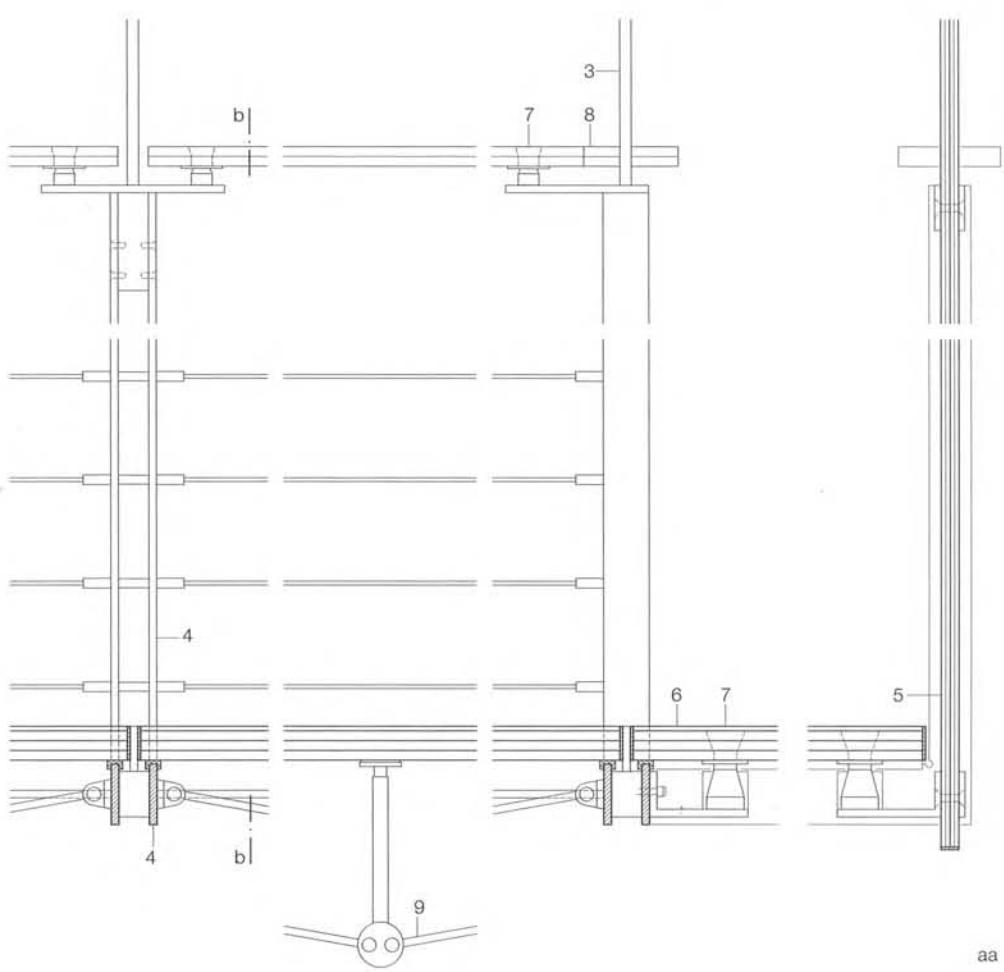
Detailschnitte Steg
Maßstab 1:10

1 neue Deckenkonstruktion
2 abgehängte Decke:
Natursteinverblendung 6 mm
auf Stahlwabenkonstruktion
3 Abhängung Edelstahlseil Ø 15 mm
4 Geländerkonstruktion Edelstahl
aus ▱ 2× 60/10 mm (vertikal)
und ▱ 2× 80/10 mm (horizontal)
5 VSG aus 2× 12 mm ESG
6 VSG aus extraweißem
ESG 6 mm + 3× 12mm
7 Punkthalter Edelstahl
8 Handlauf VSG aus 2× 12 mm ESG
9 Edelstahlseil Ø 10 mm





bb

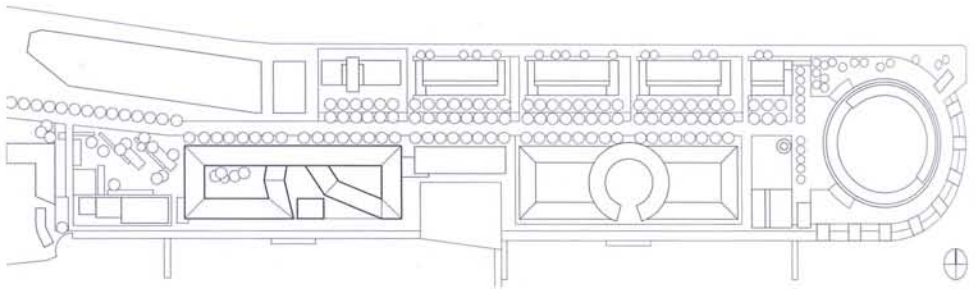


aa

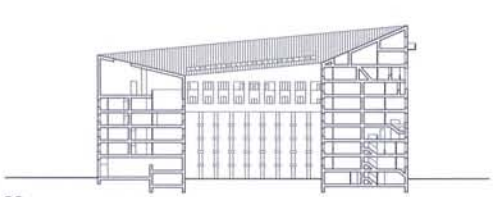
Wohnbebauung

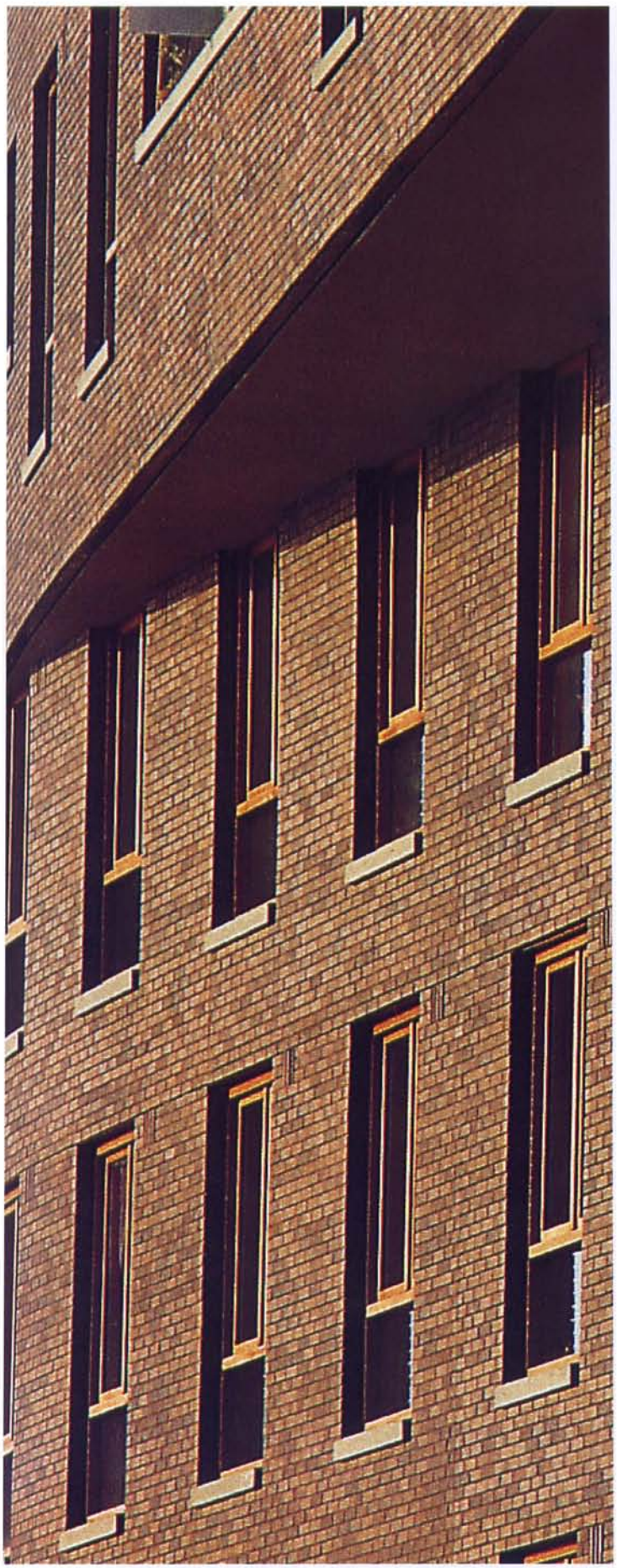
Amsterdam, NL 1994

Architekten:
Hans Kollhoff, Berlin mit Christian Rapp, Berlin/Amsterdam
Tragwerksplanung:
Konstruktie-Bureau Heijckmann, Amsterdam

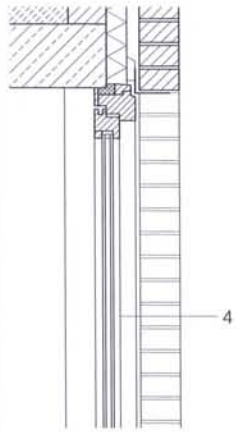


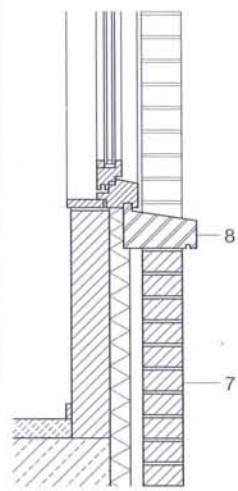
Der 170 m lange, vier bis neun Geschoss hohe Gebäudekomplex auf einer früheren Hafen- und Industrieinsel in der Nähe des Amsterdamer Zentrums besteht aus über 300 Wohnungen. Er ist Teil einer städtebaulichen Großform, die von verschiedenen beteiligten Architekten gemeinsam entwickelt wurde und die Bedingungen des Ortes wie die Lage am Wasser, ein bestehendes Gebäude und vorhandenes Grün in ihrer Gestalt berücksichtigt.
Sorgfältig detailliertes Sichtmauerwerk prägt zusammen mit den Lochfassaden und den optisch als Bänder durchlaufenden Wintergartenfenstern an der Südseite die äußere Erscheinung. Die Wohnraumfenster aus Red-Cedar-Holz sind im zweischaligen Wandaufbau exakt um das Maß der Vormauerung zurückgesetzt und liegen somit bauphysikalisch sinnvoll in einer Ebene mit der Wärmedämmung. Die Brüstung ist im Innenraum mit einem hölzernen Fensterbrett abgedeckt, außen entspricht diesem eine Fensterbank aus Naturstein. Das kleinteilig gegliederte, einfach verglaste Wintergartenfenster ohne bauphysikalische Ansprüche ist aus einfachen pulverbeschichteten Stahlprofilen zusammengesetzt. Das untere Drittel ist fest verglast, die beiden Hälften darüber lassen sich horizontal zusammenfalten. Die vielen, in unterschiedlichen Winkeln nach außen vom Gebäude wegstehenden Glasflächen ergeben ein lebendiges Fassadenbild.



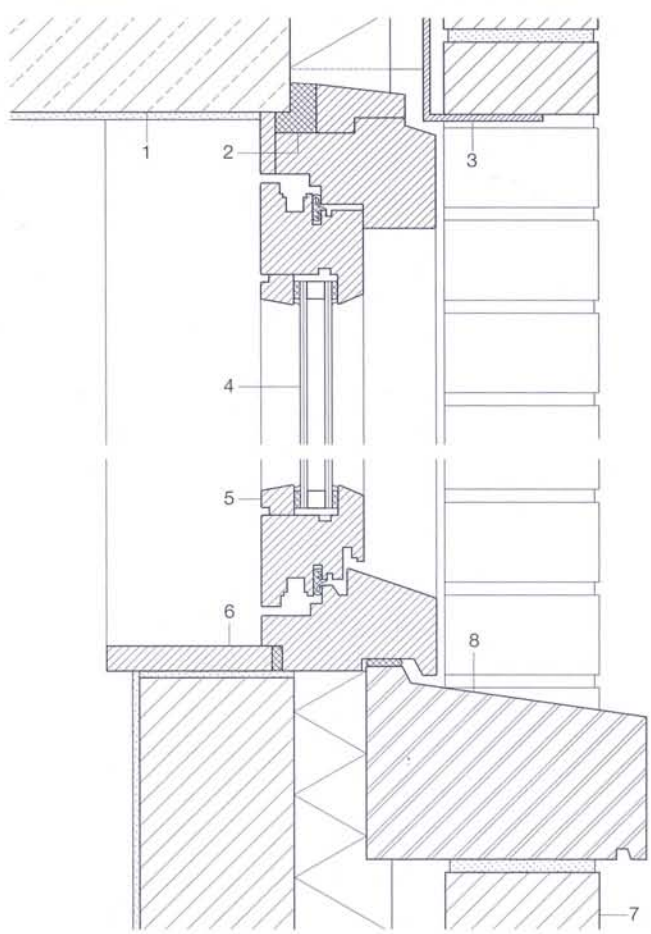


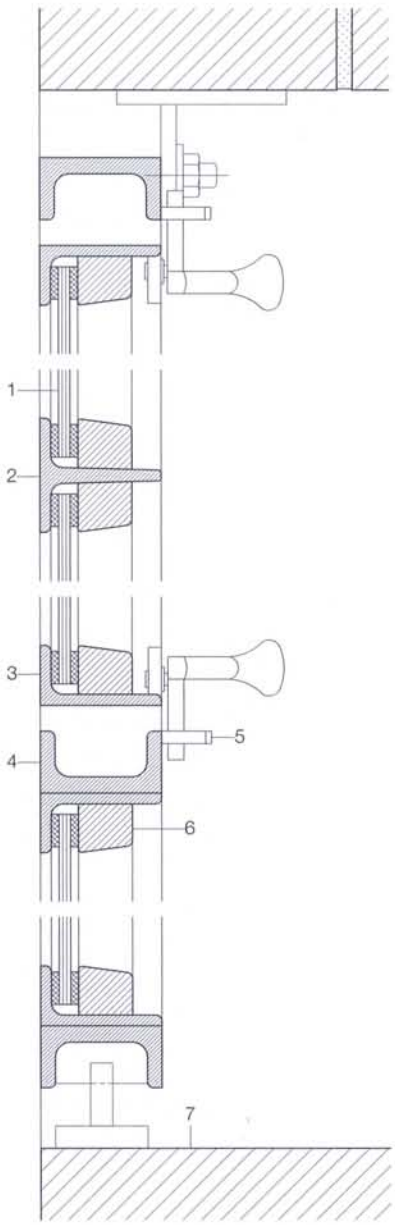
Lageplan
Maßstab 1:7500
Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:1250
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitt Fassade
Maßstab 1:5

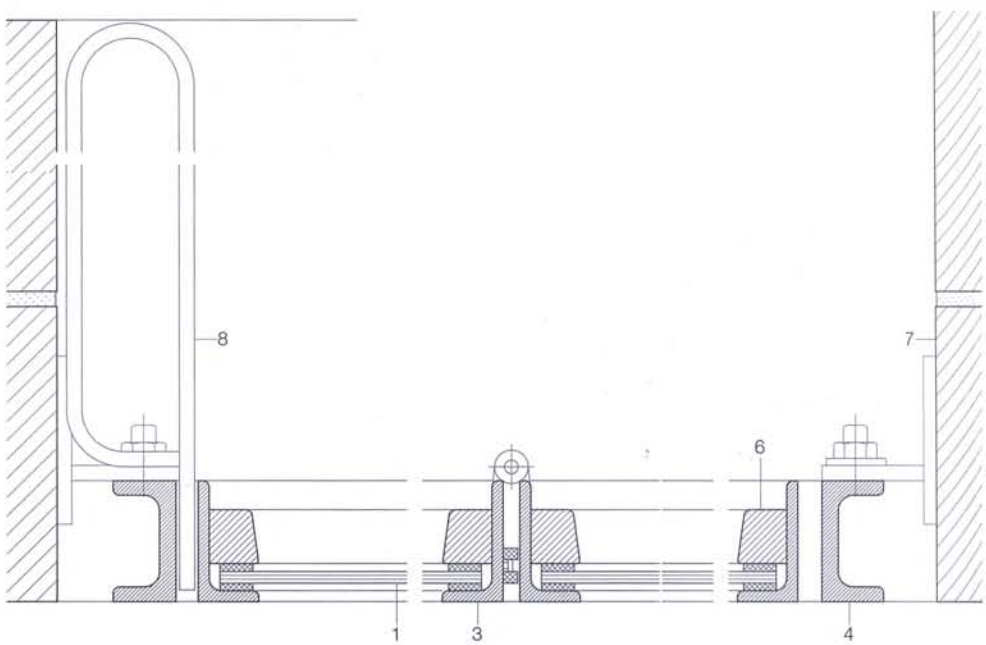




1 Stahlbeton
2 dauerelastische Fuge
3 Sturz L-Stahlprofil
4 Holzfenster
Red-Cedar
mit Isolierverglasung
5 Glashalteleiste
6 innere Fensterbank
Holz
9 Wandaufbau:
Innenputz 15 mm
Mauerwerk 115 mm
Wärmedämmung 65 mm
Hinterlüftung 35 mm
Sichtmauerwerk,
Klinker 115 mm
10 äußere Fensterbank
Werkstein







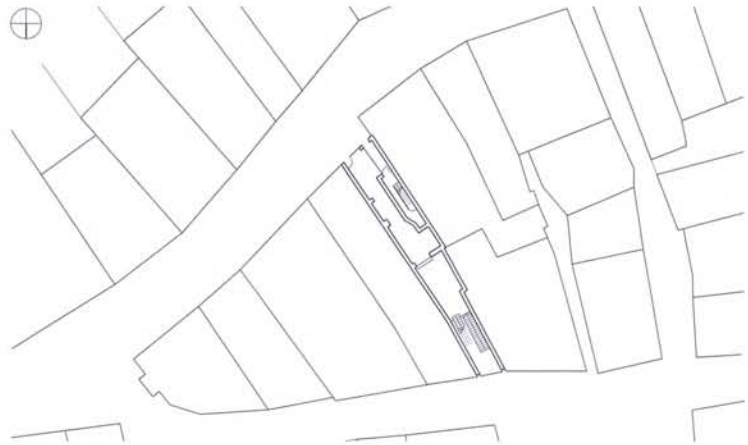
Detailschnitte Faltfenster
Maßstab 1:2,5

1 ESG 4 mm
2 Stahlprofil T 40/40 mm
3 Stahlprofil L 40/20 mm
4 Stahlprofil LJ 40/20 mm
5 Messingknauf
6 Glashalteleiste 18/16 mm
7 Sichtmauerwerk, Klinker 115 mm
8 Öffnungsschlaufe 5/35 mm

Geschäftshaus

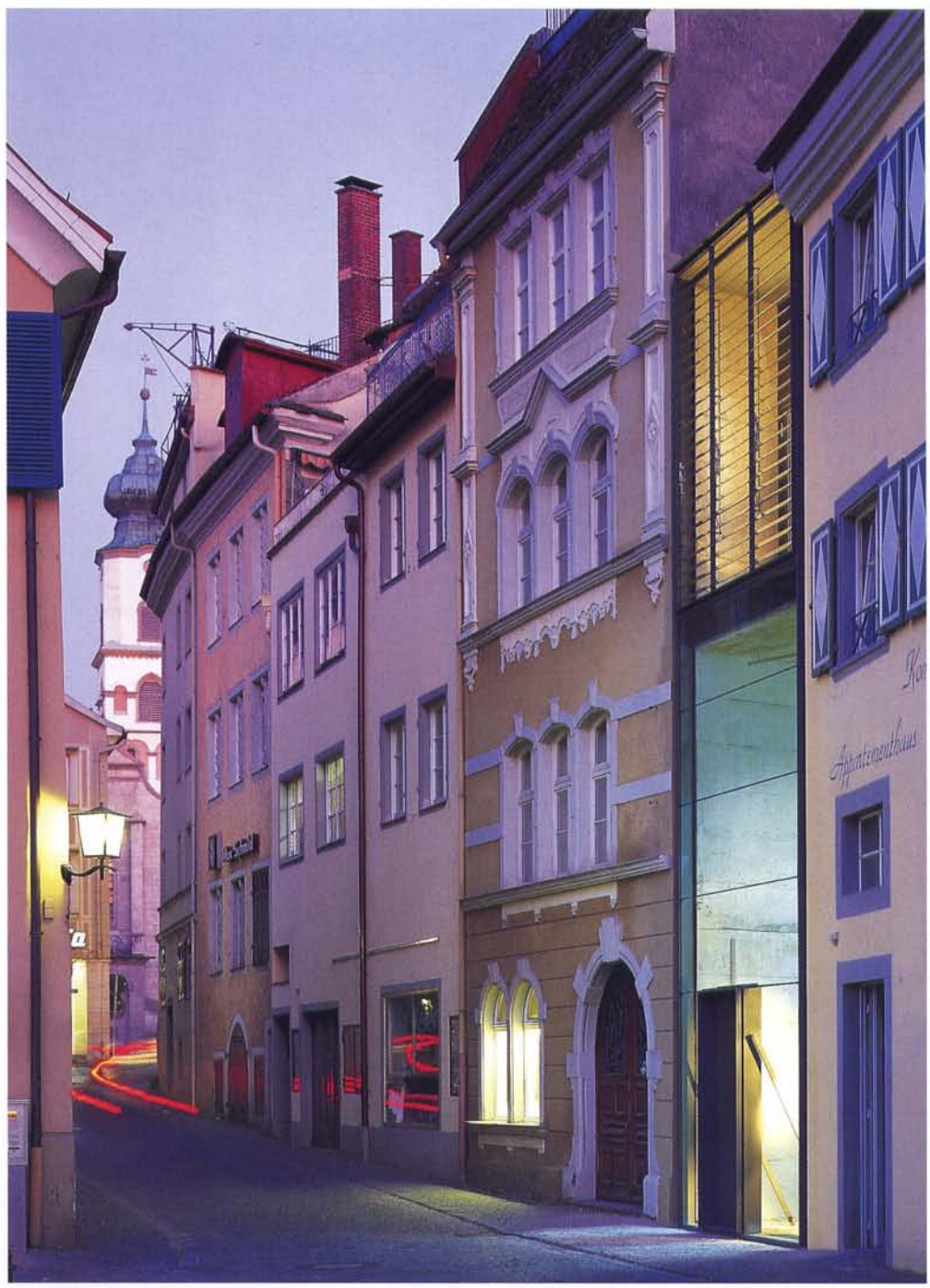
Lindau, D 1995

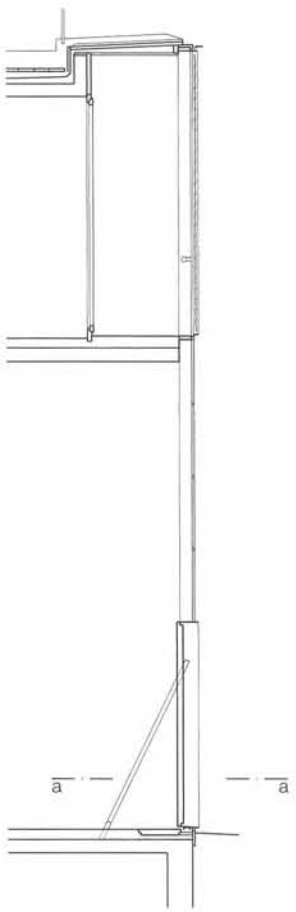
Architekten:
Fink + Jocher, München
Dietrich Fink, Thomas Jocher
Mitarbeiter:
Richard Waldmann, Christof Wallner
Tragwerksplanung:
Dr. Becker + Partner, Lindau



Lageplan Maßstab 1:1000

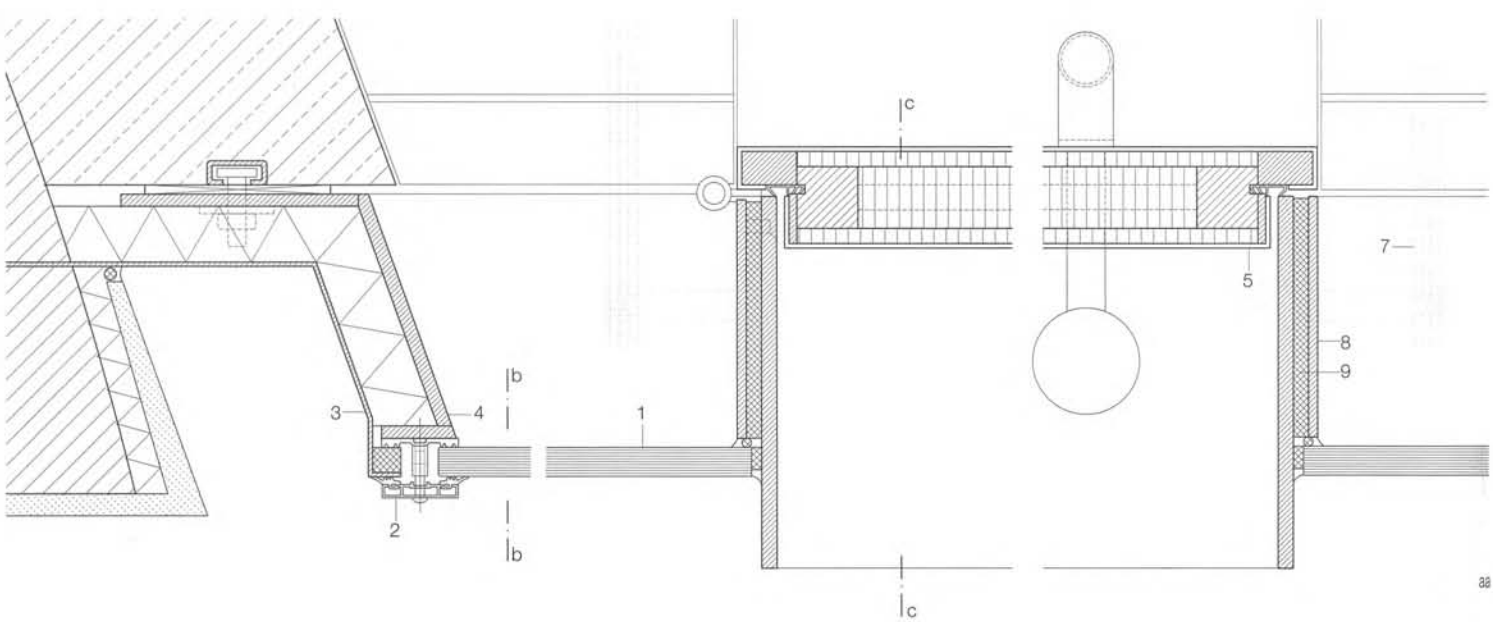
Der Neubau schließt eine Baulücke in der Lindauer Innenstadt, die an ihrer schmalsten Stelle nur 2,90 m misst. Das rückwärtige Altstadthaus wurde im Zuge der Baumaßnahme mit geringen Eingriffen saniert. Ein Laden in den unteren Geschossen beider Gebäude ist als Passage gedacht und verbindet die angrenzenden Altstadtgassen.
Die Fassade des Neubaus ist vollflächig verglast, um bei einer Ladentiefe von 35 m das Maximum an natürlicher Belichtung zu erreichen. Dadurch zeigt das Haus zur Straße hin seine innere Struktur – es bildet eine »Stadtfuge«. Die topographisch bedingte Zweigeschossigkeit der Ladennutzung – die Eingangsebene beim Altbau liegt eine Etage höher – ist außen ablesbar. Die im Detail zurückhaltend gestaltete Glasfassade ermöglicht es dem Gebäude, sich in die intakte historische Umgebung einzufügen, ohne sich anzupassen. Selbstbewusst, aber unaufdringlich bekennt es sich zu seiner Entstehungszeit. Die Spiegelung der Nachbarbebauung in der Fassade zeigt die Mehrschichtigkeit der Situation: die Fläche und das Relief, Transparenz und Geschlossenheit, alt und neu, Innenraum und Außenraum und seine fließenden Grenzen.
Die Glastafeln sind über die gesamte Fassadenbreite gespannt und werden seitlich von Pressleisten gehalten. Die horizontalen Fugen – sie beziehen sich formal auf die Bänderungen des Nachbargebäudes – sind mit Silikon abgedichtet. Im Bereich der Loggia im zweiten Obergeschoss wurde ein System von öffenbaren Glaslamellen eingesetzt. Die Tür ist als eigenständiges, geschlossenes Element in die Fassade gestellt. Im Vergleich zur umgebenden Bebauung mit ihren geschlossenen Wänden und transparenten Öffnungen werden somit die Materialeigenschaften umgekehrt und der Eingang wird dezent betont. Um den Kontrast zur Umgebung nicht noch zu verstärken, wurden auffällige Materialien an der Fassade vermieden. Alle Metallteile sind mit einem dunklen Eisenglimmeranstrich versehen. Der Innenraum des Ladens wird von glatten Sichtbetonwänden geprägt.

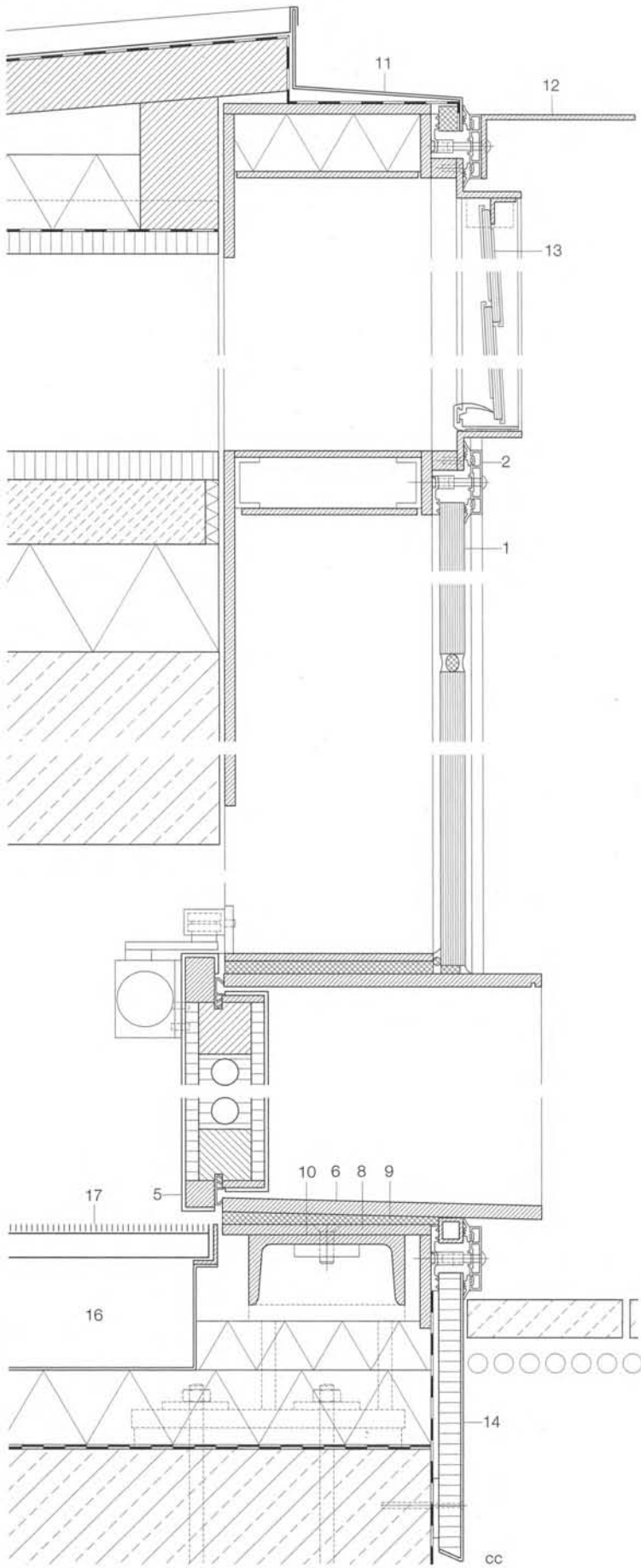


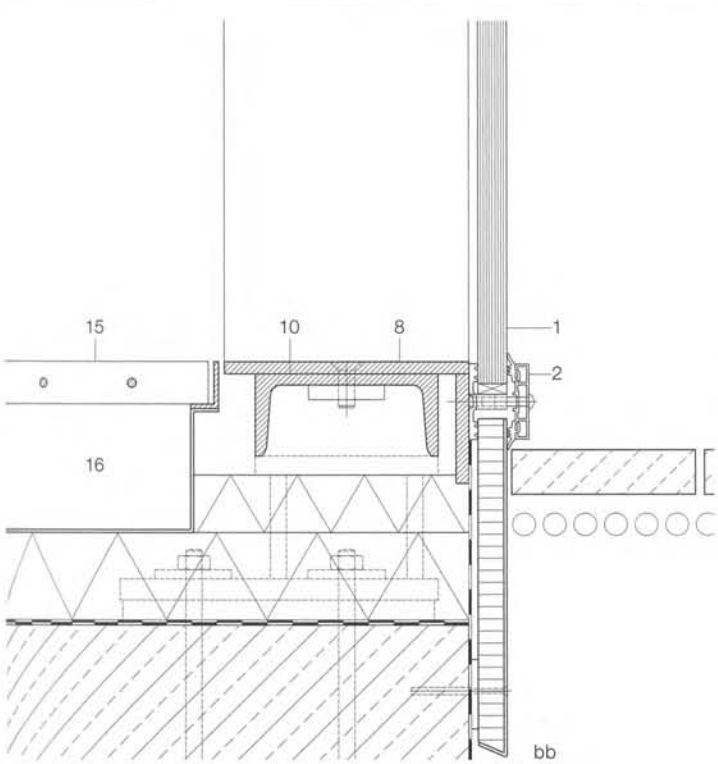


Vertikalschnitt
Maßstab 1:100
Detailschnitte Fassade
Maßstab 1:5

1 ESG 19 mm
2 Aluminium-Pressleiste
3 Aluminiumblech d= 3 mm
4 Flachstahl ▱ 10 mm
5 Türblatt:
Röhrenspanplatte 40 mm
Spanplatte V 100
Leichtmetallblech 3 mm
vollflächig verklebt
6 Türschwelle
Flachstahl ▱ 10 mm
2% Gefälle nach außen
7 Flachstahl ▱ 50/6 mm
8 Flachstahl ▱ 6 mm
9 Hartgummi 10 mm
10 Stahlprofil ⊔ 140 mm
11 Aluminiumblech d= 3 mm
12 Stahlprofil ⌞ 120/50 mm
13 bewegliche Glaslamellen
14 Holzwerkstoffplatte
mit Stahlblech beschichtet
15 Metallgitterrost
16 Bodenkonvektor mit Stahlkorpus
17 Metallwanne 4 mm mit
eingelegter Kokosmatte




11
12
13
2
1
10
6
8
9
17
5
16
14
cc

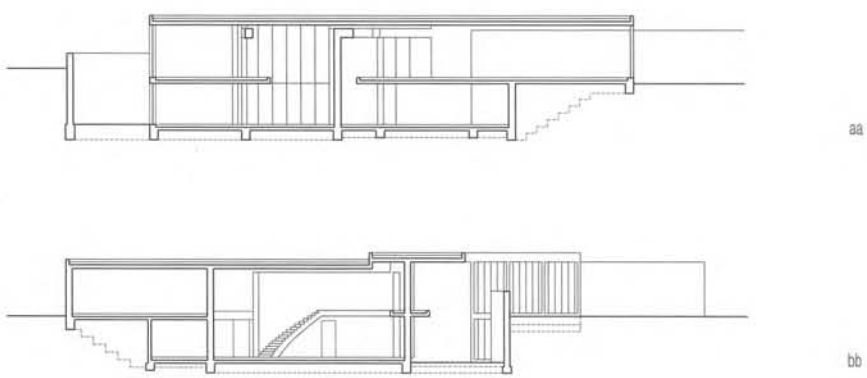

15
10
8
1
2
16
bb

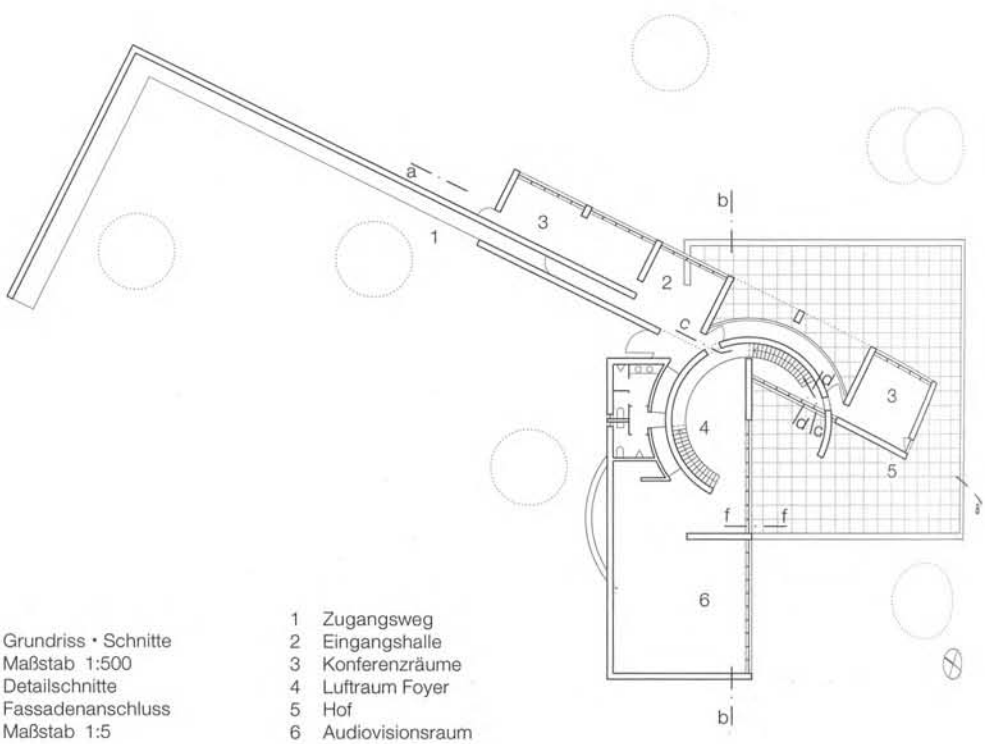
Konferenzpavillon

Weil am Rhein, D 1993

Architekten:
Tadao Ando Architect & Associates, Osaka
Werkplanung und Bauleitung:
Günter Pfeifer, Roland Mayer, Lörrach
Projektleiter:
Peter M. Bährle
Mitarbeiterin:
Caroline Reich
Tragwerksplanung:
Johannes C. Schuhmacher, Bad Krozingen

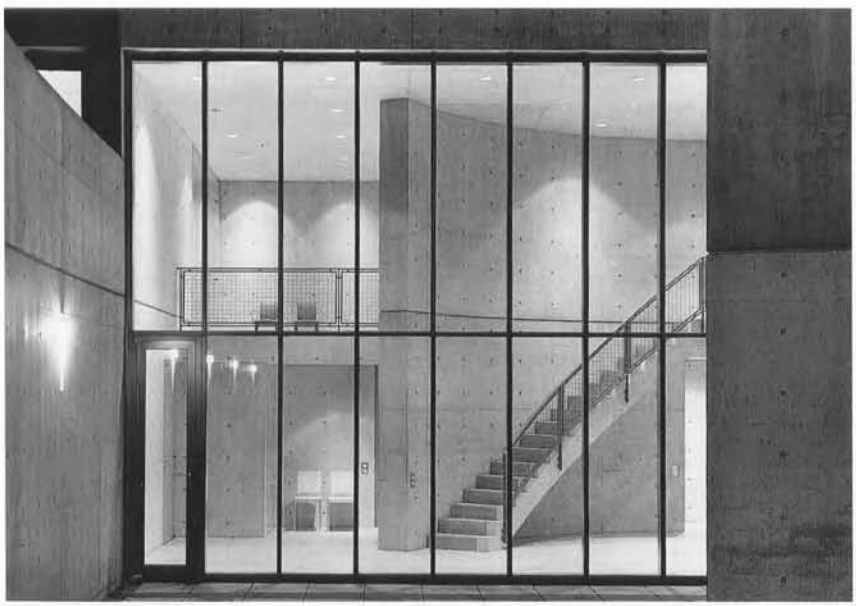
Das zweigeschossige Konferenz- und Schulungsgebäude eines Büromöbelfabrikanten steht auf einem Wiesengelände am Rande des Firmengrundstücks inmitten von Kirschbäumen. Von seinen heterogenen Nachbargebäuden hebt es sich durch einen klaren Baukörper ab. Entlang einer L-förmigen Mauer wird der Besucher in einen schmalen rechteckigen Gebäudetrakt geleitet, der die Verlängerung der Mauer bildet. Dieser lange Zugang gleicht japanischen Meditationswegen. Der Grundriss des Gebäudes ist raffiniert: Zwei im spitzen Winkel aneinander stoßende, rechteckige Kuben werden an ihrer Verbindungsstelle von einem Zylinder durchdrungen. Dieser nimmt das Foyer mit den Treppen auf. Der integrierte Hof liegt unter Geländeniveau. Von der Wiese ist nur ein Geschoss sichtbar, die Kronen der Kirschbäume überragen den Pavillon. Die unterschiedlich großen Räume können auf zwei Geschossebenen als Konferenzzimmer, Gästezimmer, Lobby und Bibliothek genutzt werden. Wie die meisten Gebäude von Tadao Ando ist auch dieses von seinen sorgfältig gestalteten Wänden aus Sichtbeton geprägt. Die raumhohen Fenster stehen im Kontrast zu den klaren Sichtbetonfassaden und treten als gleichmäßige dunkle Flächen in Erscheinung. Der strengen Gestaltung des Baukörpers entsprechen die zurückhaltend ausgebildeten Verglasungsdetails: Bewusst wird hier auf jeglichhen Schnörkel verzichtet. Schlichte Pfosten-Riegel-Konstruktionen aus anthrazitfarbig eloxierten Aluminiumprofilen bilden klare Raster, die mit der Teilung der Betonflächen korrespondieren. Andos Konferenzpavillon ist beispielhaft für ein gelungenes Zusammenwirken der Materialien Glas und Beton.

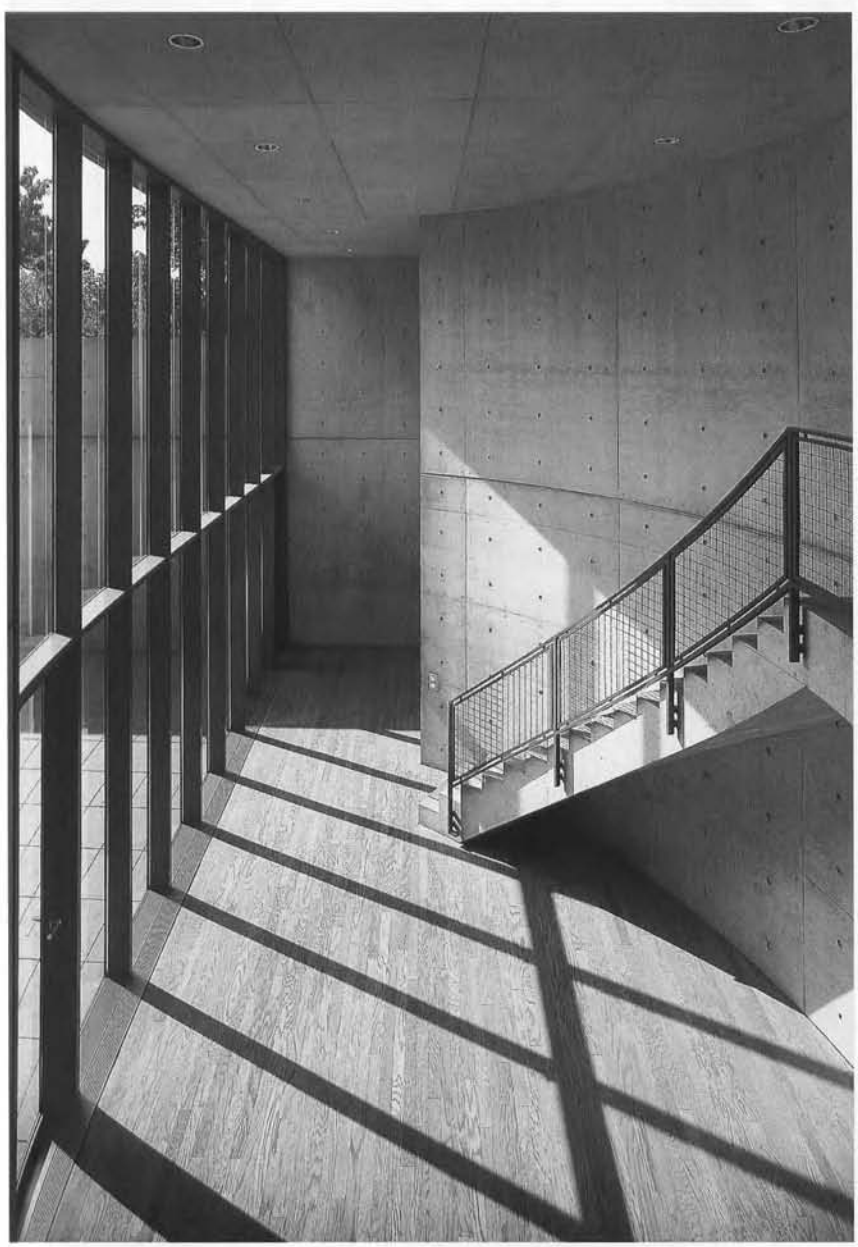




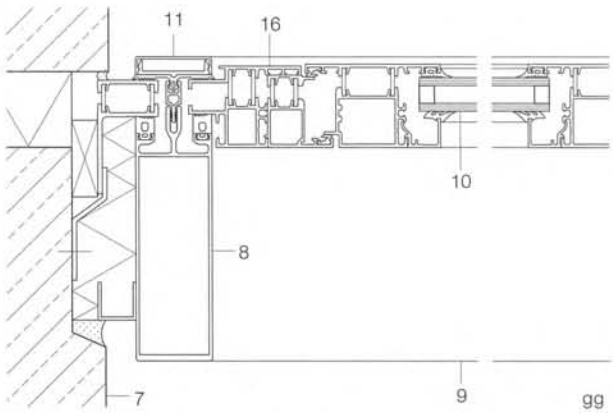
Grundriss • Schnitte
Maßstab 1:500
Detailschnitte
Fassadenanschluss
Maßstab 1:5

1 Zugangsweg
2 Eingangshalle
3 Konferenzräume
4 Luftraum Foyer
5 Hof
6 Audiovisionsraum

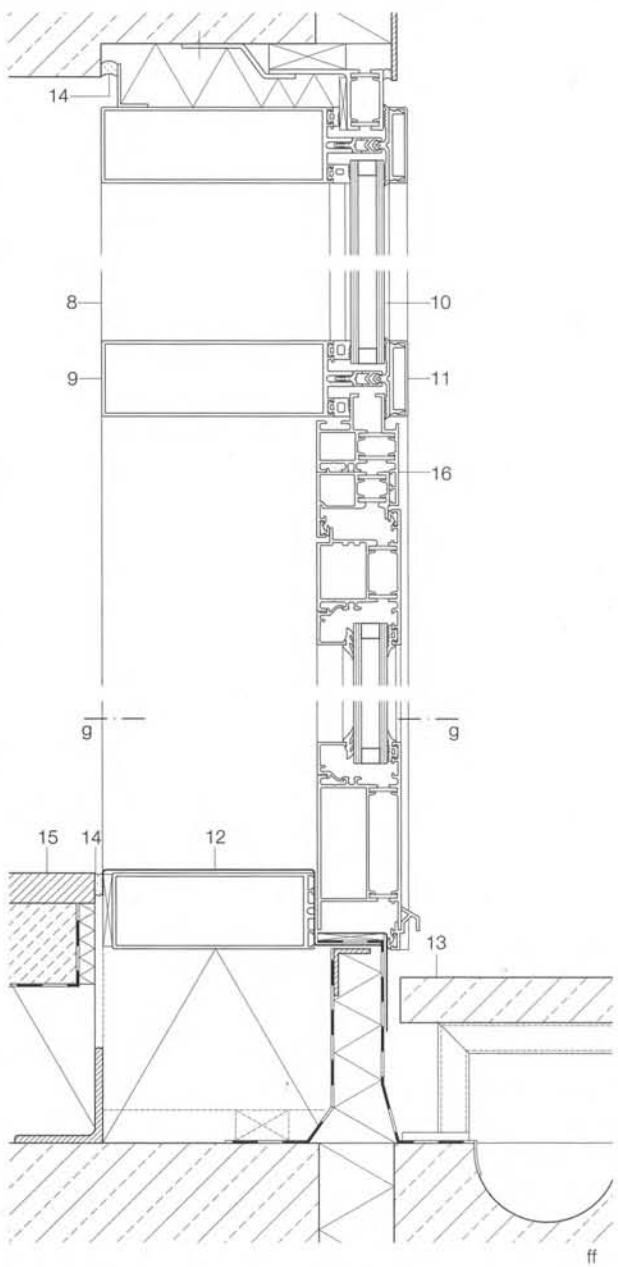




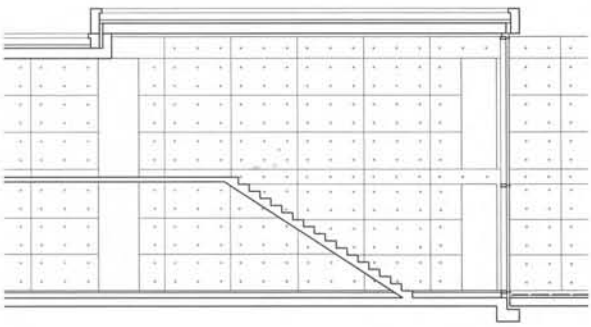
7 zweischalige Sichtbetonwand mit Kerndämmung
8 Pfostenprofil Aluminium
9 Riegelprofil Aluminium
10 Isolierverglasung 6 + SZR 12 + 6 mm
11 Aluminium-Pressleiste mit Deckprofil
12 Edelstahlblech gekantet, eloxiert
13 Betonplattenbelag aufgeständert
14 dauerelastische Verfugung
15 Parkett
16 Aluminiumtür



gg



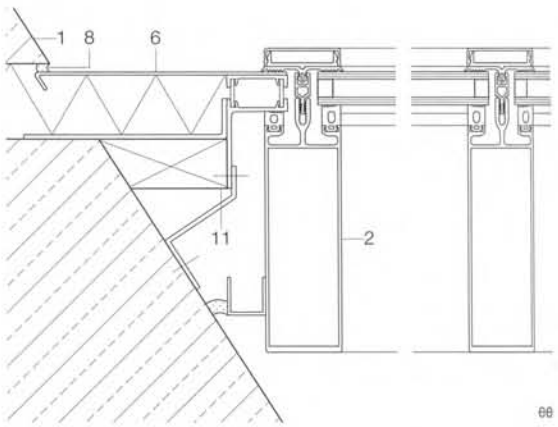
ff



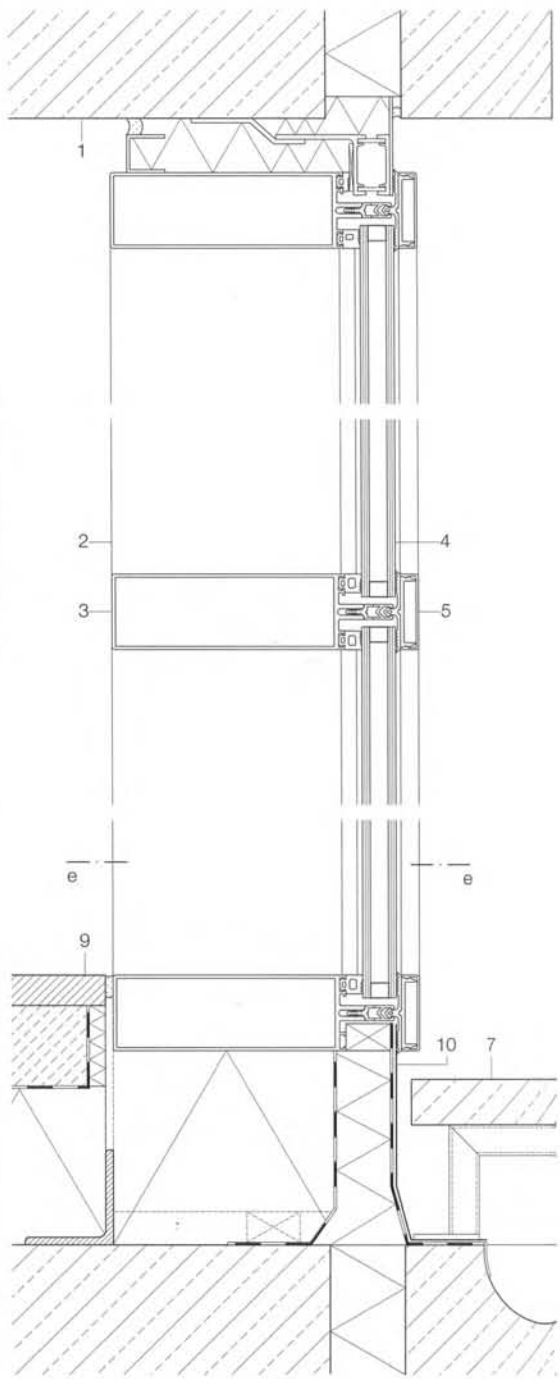
cc

Schnitt Maßstab 1:200
Detailschnitte
Maßstab 1:5

1 zweischalige Sichtbetonwand mit Kerndämmung
2 Pfostenprofil Aluminium
3 Riegelprofil Aluminium
4 Isolierverglasung 6 + SZR 12 + 6 mm
5 Aluminium-Pressleiste mit Deckprofil
6 Edelstahlblech eloxiert
7 Betonplattenbelag aufgeständert
8 dauerelastische Verfugung
9 Parkett
10 Edelstahlblech
11 Kunststoffprofil



ee

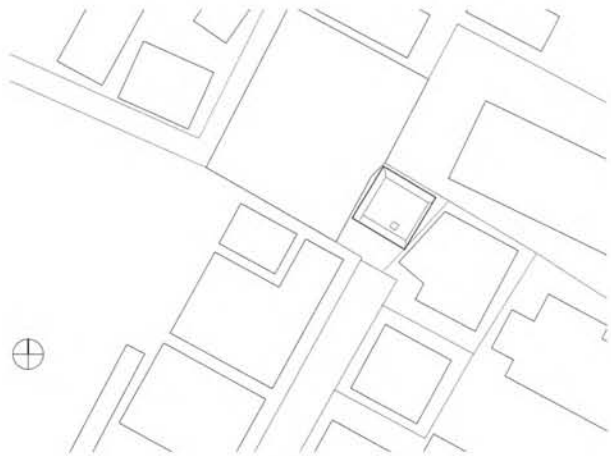


dd

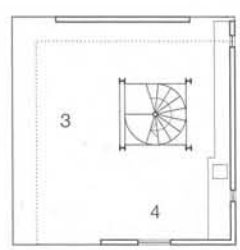
Wohnhaus

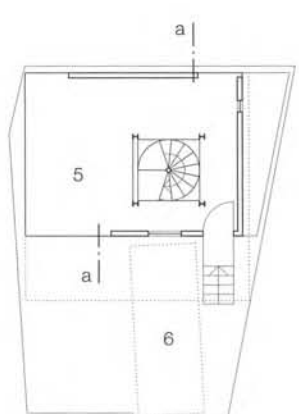
Tokio, J 2000

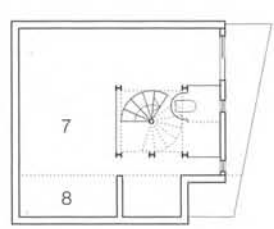
Architekten:
Kazuyo Sejima & Associates, Tokio
Mitarbeiter:
Yoshitaka Tanase, Shoko Fukuya
Tragwerksplanung:
Sasaki Structure Consultant, Tokio



In Harajuku, einem dicht bebauten Stadtteil und neuen In-Viertel Tokios mit unzähligen kleinen Geschäften und Lokalen, steht das Haus für eine junge Familie. Auf dem kleinen Grundstück sind die einzelnen Ebenen übereinander gestapelt. Die eigenwillige Form des Gebäudes entspricht den baurechtlichen Vorgaben, nach denen die Geschosse bemessen sind. Fassadenelemente aus Glas und Stahlblech markieren die Kubatur des Baukörpers.
Ganz im Sinne von Kazuyo Sejimas' Philosophie steht das Raumkonzept im Vordergrund, konstruktive Aspekte treten dahinter zurück, die tragende Stahlkonstruktion ist ebenso reduziert wie die Details der Fassade. Um offen zu bleiben für die sich ändernden Ansprüche der Familie, sind die Geschosse nur minimal ausgestattet. Auf den einzelnen Ebenen wird der Bezug zwischen innen und außen unterschiedlich thematisiert: Während das Schlafgeschoss halb in die Erde gesetzt und durch ein Oberlichtband belichtet ist, öffnet sich das darüber liegende Gästezimmer zum unbebauten Rückgrundstück. Der zur schmalen Zufahrtsstraße gelegene Einschnitt in der Gebäudekubatur markiert den Parkbereich für das Auto. Wohn-, Essplatz und Terrasse sind wiederum zum hinteren Grundstück orientiert, zur Straße schützen Paneele aus Stahlblech oder transluzente Glasscheiben vor Einblicken. Vorhänge in allen Geschossen erlauben den vollständigen Rückzug von der Stadt. Die begrenzte Grundfläche wirkt durch den reduzierten, ganz in weiß gehaltenen Ausbau – auch die Stahlstützen sind weiß gestrichen – und die alle Ebenen verbindende Wendeltreppe großzügig. Das Haus erlaubt ein offenes Zusammenleben auf begrenztem Wohnraum.

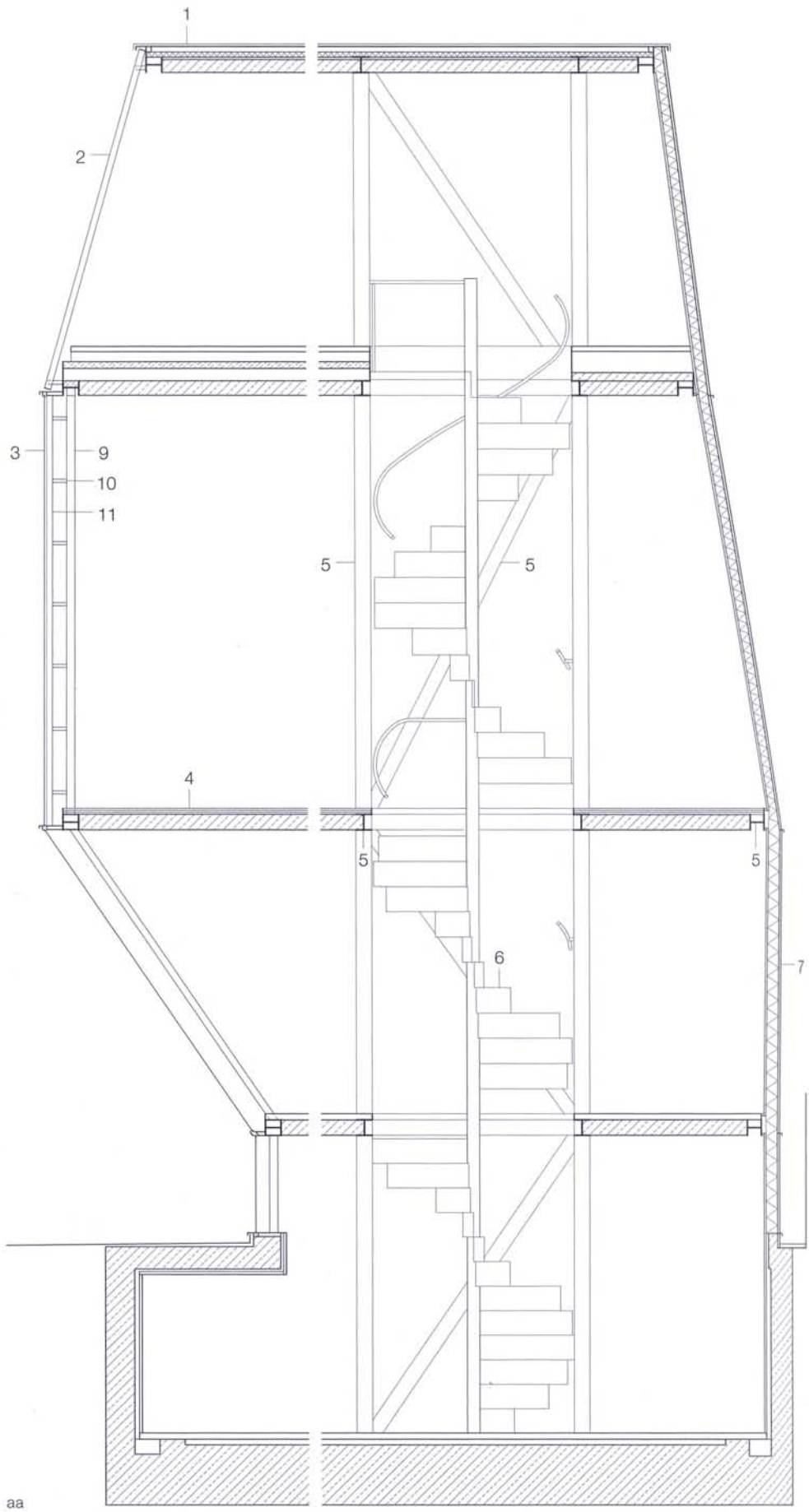






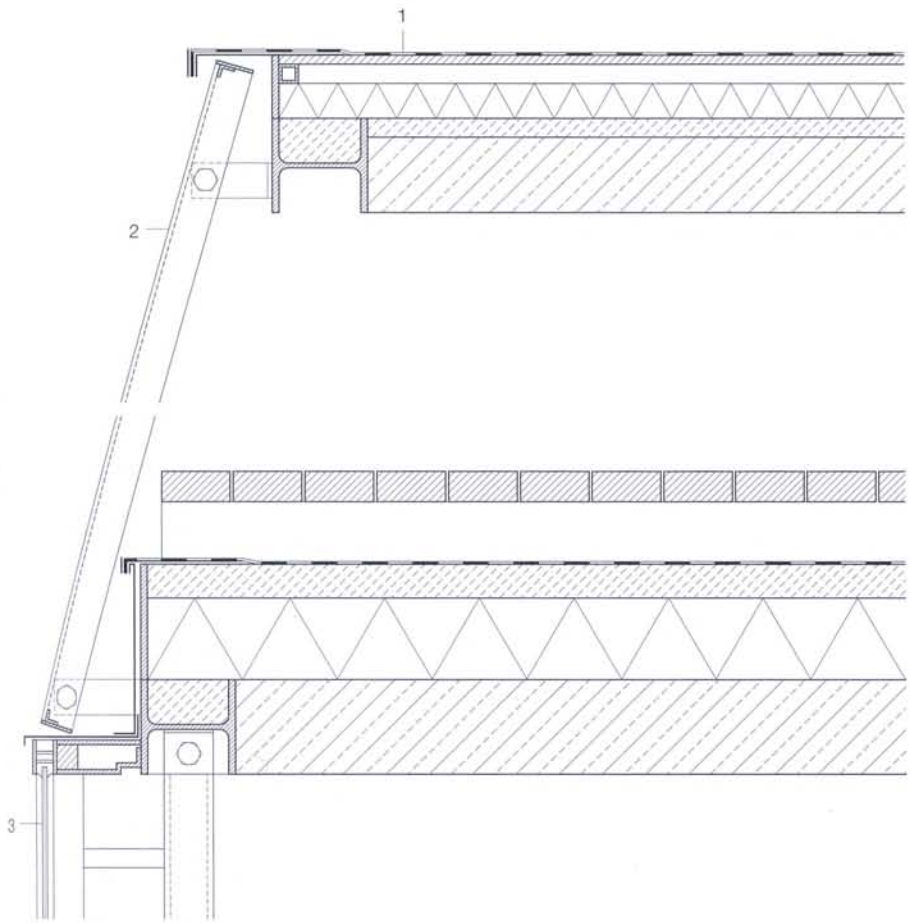
Lageplan
Maßstab 1:500
Grundrisse
Maßstab 1:200

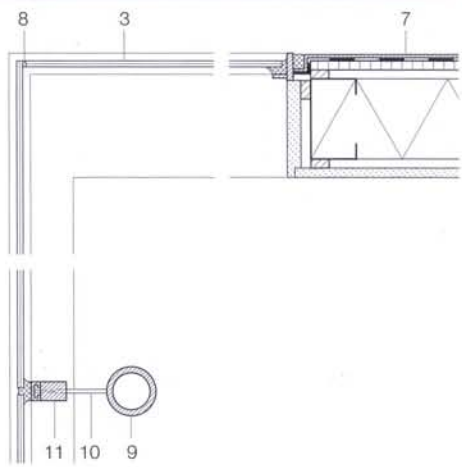
1 Terrasse
2 Bad
3 Wohnen
4 Kochen/Essen
5 Gästezimmer
6 Stellplatz
7 Schlafzimmer
8 Schrankraum



Schnitt
Maßstab 1:50
Detailschnitte 3. Obergeschoss • Glasecke
Maßstab 1:10

1 Dachaufbau:
Dichtungsbahn 1,2 mm mit Schutzanstrich
Sperrholzplatte 12 mm
Unterkonstruktion aus Stahlrohren
Wärmedämmung 40 mm
Estrich
Stahlbeton 100 mm
2 Rahmen aus Flachstählen
mit Streckmetallausfachung
3 VSG 8 mm
4 Bodenaufbau:
Dielen Kirsche 15 mm
Heizestrich 12 mm
Estrich 10 mm
Stahlbeton 125 mm
5 Stahlprofil I 125/125/6,5/9 mm
weiß gestrichen
6 Treppenstufen:
PVC 2 mm
Stahlblech 2,5 mm
7 Wandaufbau:
Verkleidung Stahlblech
aluminiumbeschichtet 0,4 mm
Abdichtung Bitumen
Sperrholzplatte 12 mm
Wärmedämmung zwischen LI-Stahlprofilen
Gipskarton 12,5 mm weiß gestrichen
8 Silikonfuge
9 Stahlrohr Ø 60,5/8 mm weiß gestrichen
10 Flachstahl ▱ 9/38 mm weiß gestrichen
11 Flachstahl ▱ 25/38 mm weiß gestrichen


1
2
3

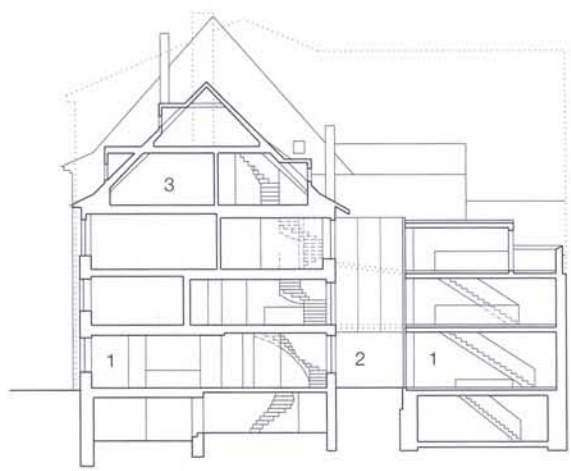

8
3
7
11
10
9

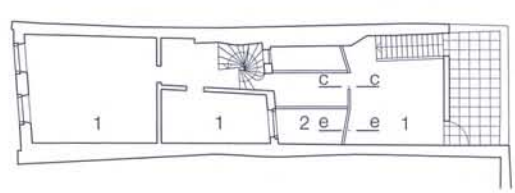
Karikaturenmuseum

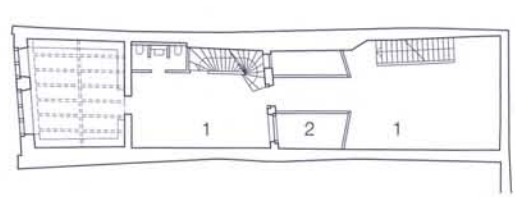
Basel, CH 1996

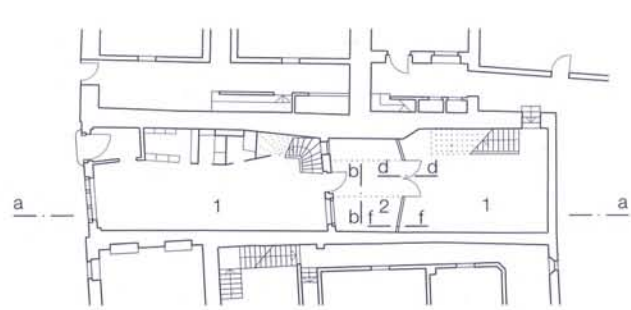
Architekten:
Herzog & de Meuron, Basel
Projektteam: Yvonne Rudolf,
Mario Meier, Isabelle Rossi
Fassadenplanung:
Gerber-Vogt AG, Basel
Tragwerksplanung:
Helmut Pauli, Basel

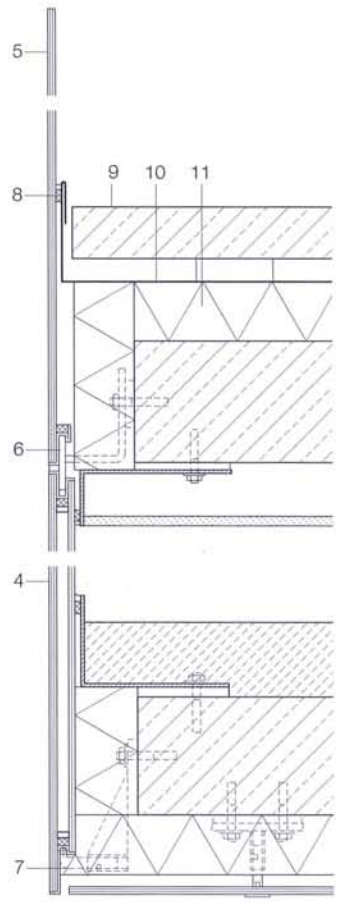
Das kleine Museum zeigt in Wechselausstellungen Zeichnungen, Drucke und Fotos sowohl aus der eigenen Sammlung als auch aus Leihgabebeständen. Es besteht aus zwei Häusern, einem Alt- und einem Neubau, die auf einer schmalen und sehr tiefen mittelalterlichen Parzelle von etwa 6 × 25 m untergebracht sind. Diese beiden Gebäude werden durch einen Glasgang miteinander verbunden. Der Eingang befindet sich im Altbau wie auch das Büro des Konservators, die Bibliothek und einige kleine Ausstellungskabinette. Da das Gebäude im Verlauf mehrerer Jahrhunderte immer wieder umgebaut wurde, unterscheidet sich jedes Geschoss vom anderen durch unterschiedliche Holzböden, Wandverkleidungen und andere Details. Der dreistöckige Neubau ist einfach und homogen gestaltet: Betonplatten für jede Ausstellungsetage werden zum Hof hin durch eine Glaswand abgeschlossen. Jedes Geschoss besteht aus einer nicht unterteilten Grundfläche von 6 × 8 m. Für die Ausstellungsgegenstände stehen sowohl Wände als auch Vitrinen zur Verfügung. Der verglaste Verbindungsgang zwischen Alt- und Neubau teilt den Innenhof in zwei kleine kaminartige Lichtschächte. Die Glasflächen der Hoffassade des Neubaus stehen im stumpfen Winkel so zueinander, dass der verglaste Hofraum als Lichtkörper wirkt und Tageslicht wie eine große Laterne ins Innere der Ausstellung leitet. Durch die Verwendung von zwei unterschiedlich reflektierenden Glasarten verstärkt sich die kaleidoskopische räumliche Wirkung. Der gläserne Lichthof wirkt dadurch noch kleiner und dichter und kann vom Besucher auf den ersten Blick nicht eindeutig räumlich erfasst werden. Alle Glastafeln sind profillos befestigt. Sie stehen unten auf jeweils zwei justierbaren punktförmigen Haltern auf und werden am oberen Gebäudeabschluss durch Stahlwinkel in ihrer Ebene fixiert. Alle Fugen sind optisch reduziert. Aus diesem Grund sind die horizontalen Stöße der Isolierglastafeln so ausgebildet, dass sich die Unterseite der äußeren Scheibe und die Oberseite der inneren Scheibe überlappen. Das unterschiedlich beschichtete Glas erscheint in der Enge des Raumes aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet reflektierend, aber auch transparent.







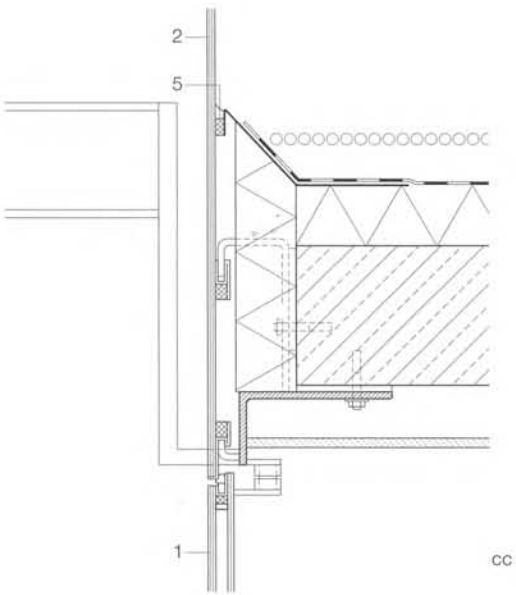




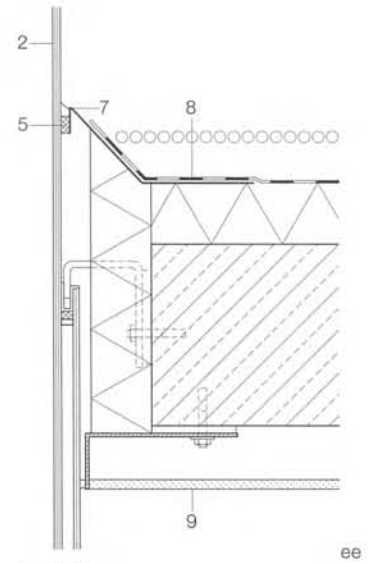
bb

Lageplan
Maßstab 1:3500
Grundrisse • Schnitt
Maßstab 1:400
Detailschnitt
Verbindungsbrücke
Maßstab 1:10

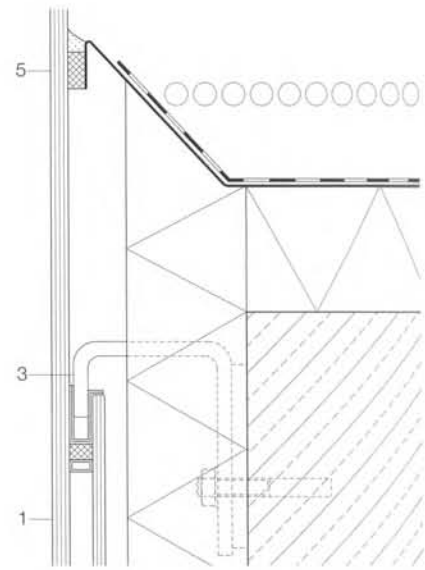
1 Ausstellung
2 Lichthof
3 Büro/Atelier
4 Zweischeiben-Isolierverglasung aus ESG
5 ESG im Attikabereich und an den Fassadenecken
6 Stahlprofil als punktuelle Glasfixierung
7 justierbare Glashalterung
8 dauerelastische Verfugung
9 Betonplatten aufgeständert
10 Titanzinkblech-Wanne 2 mm
11 Wärmedämmung druckfest

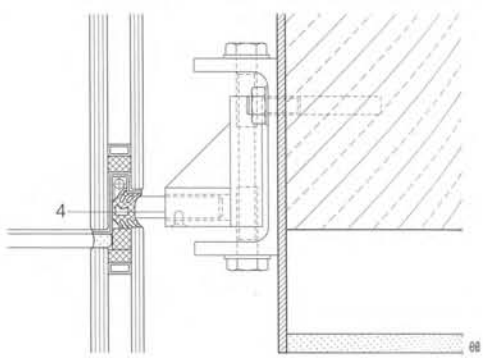


cc

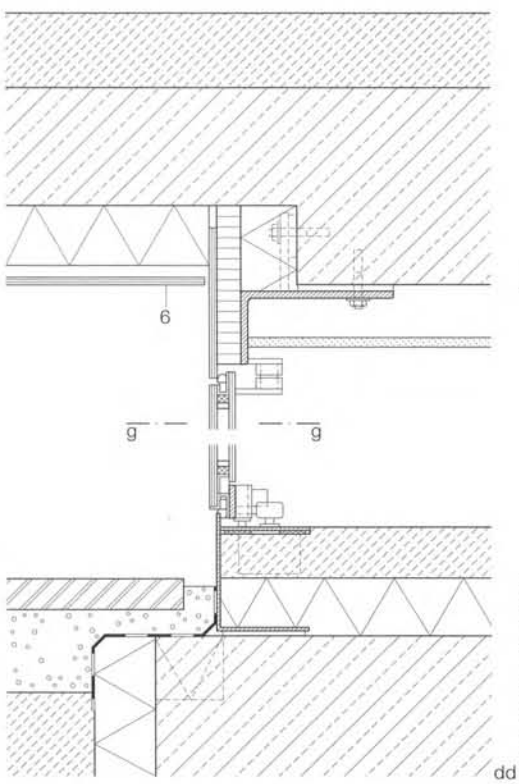


ee

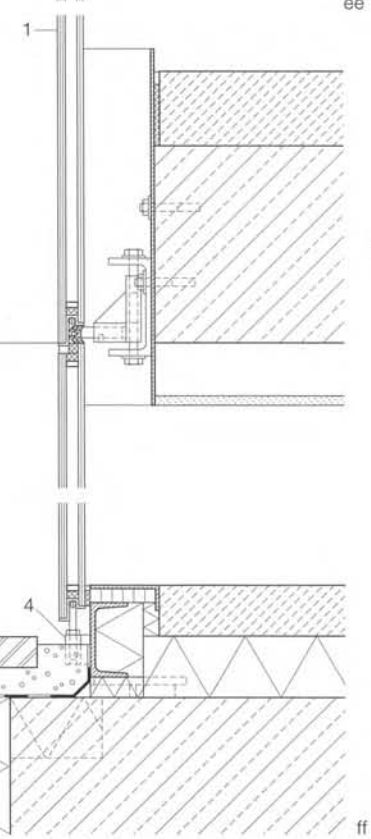


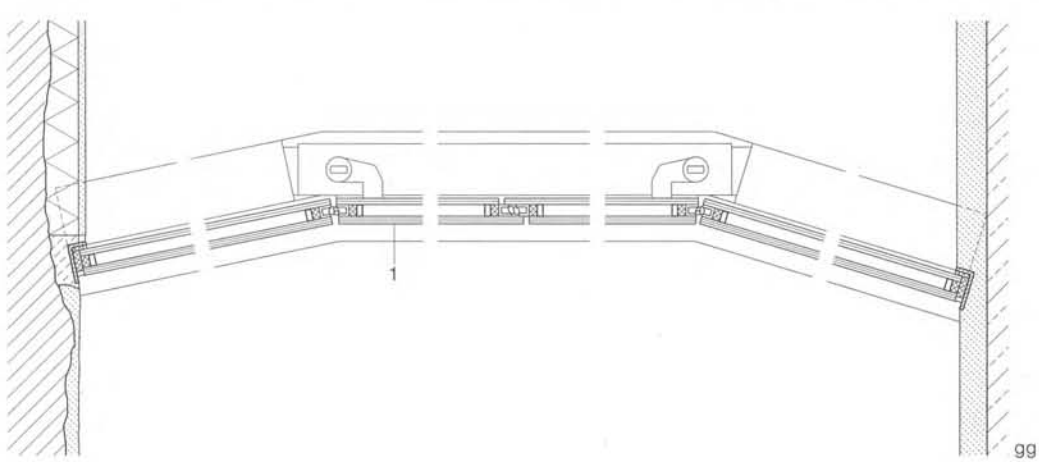


ff



dd





gg

Detailschnitte
Maßstab 1:10
Detail Festverglasung
Erdgeschoss • 1. Obergeschoss
Maßstab 1:5

1 Zweischeiben-Isolierverglasung aus ESG
2 ESG im Attikabereich und an den Fassadenecken
3 Stahlprofil als punktuelle Glasfixierung
4 justierbare Glashalterung
5 dauerelastische Verfugung
6 verspiegeltes Glas
7 Titanzinkblech 1 mm
8 Abdichtung
9 Abhangdecke Gipskarton
10 Betonplatten aufgeständert
11 Titanzinkblech-Wanne 2 mm
12 Wärmedämmung druckfest

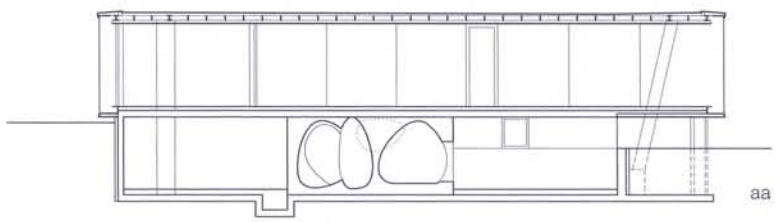
Wohnatelier

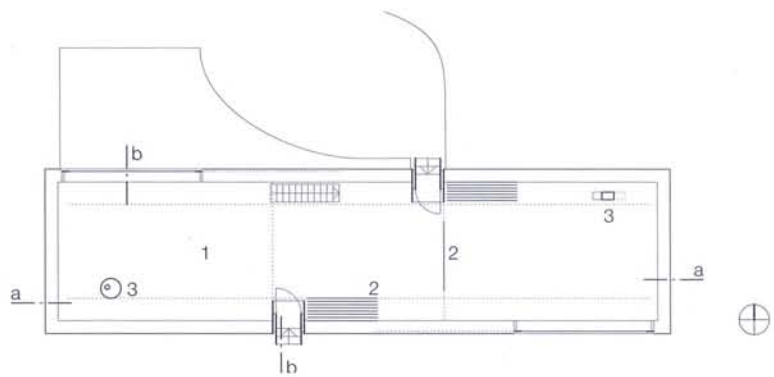
Riederau am Ammersee, D 2003

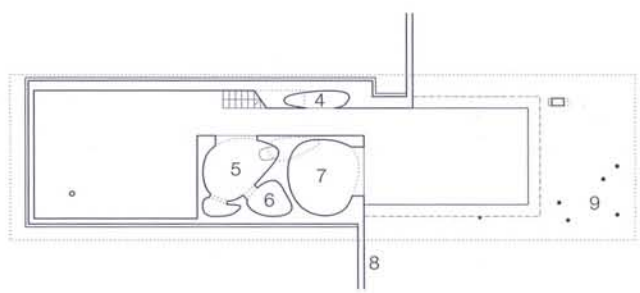
Architekten:
Bembé + Dellinger, Greifenberg
Felix Bembé, Sebastian Dellinger
Tragwerksplaner:
Ingenieurbüro Dr. Rausch, Germering

Schnitt • Grundrisse
Maßstab 1:250

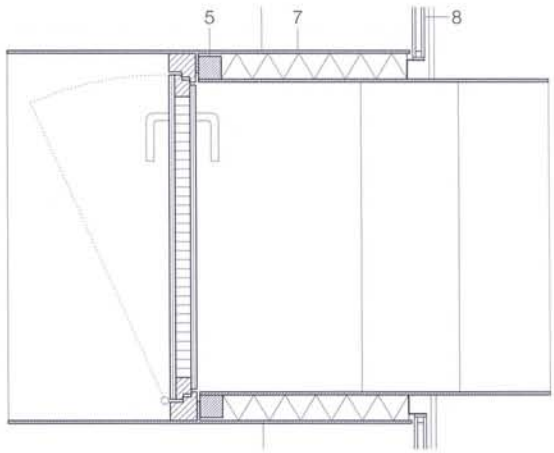
1 Atelier
2 mobile Trennwand
3 Stütze Stahlbeton
4 Garderobe
5 Bad
6 Dusche
7 Schlafkoje
8 Stützwand
9 Rundstützen

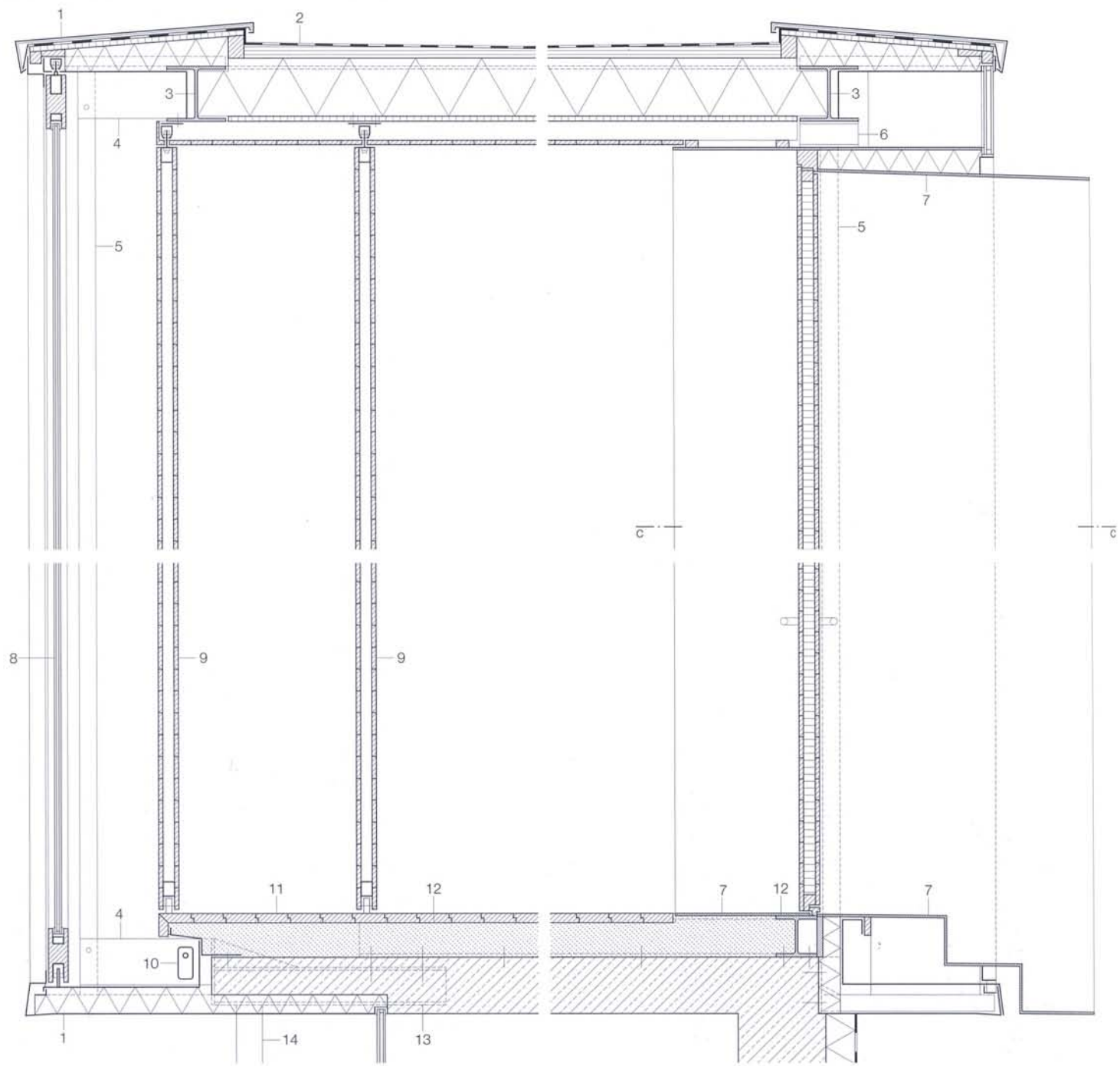






Umgeben von großen, locker gruppierten Bäumen steht nahe des Haupthauses der als Wohnatelier genutzte Pavillon. Da ein Blickschutz auf dem großen Grundstück nicht gewünscht war, konnte der lang gestreckte Baukörper vollflächig verglast werden. Es entstand ein neutraler Einraum, der über der Wiese schwebt und die umgebende Natur optisch einbezieht. Dieser Eindruck wird weder durch sichtbare Konstruktionen noch durch feste Einbauten gestört:
16 Holzschiebewände ermöglichen eine flexible Zonierung des Atelierraumes. An diesen Modulen können Regalbretter, Tischsysteme und auch die Küchenzeile durch Einhängen befestigt werden. Als Konstruktionselemente treten lediglich zwei massive Stahlbetonstützen in Erscheinung, die das Dach tragen und gleichzeitig Entwässerung und den Kamin in sich bergen. Jeweils zwei hinter den Glasschiebefenstern stehende schlanke Stahlstützen sichern das Dach gegen Abheben. Die geschosshohen Scheiben scheinen zwischen Boden und Decke geschoben, sind dort mit schmalen Bändern aus vorpatiniertem Stahl eingefasst und an den Vertikalstößen miteinander verklebt. Der Leichtigkeit des Erdgeschosses steht das massive Souterrain entgegen. Aus einem tonnenschweren Betonkern sind große Hohlkörper ausgespart, die durch in die Schalung eingelegte Styroporformen entstanden sind. Sie dienen im höhlenartigen Untergeschoss als Bad und Schlafkoje.


5
7
8
cc


1
2
3
4
5
6
7
c
c
8
9
9
11
12
12
7
7
4
10
1
14
13
bb

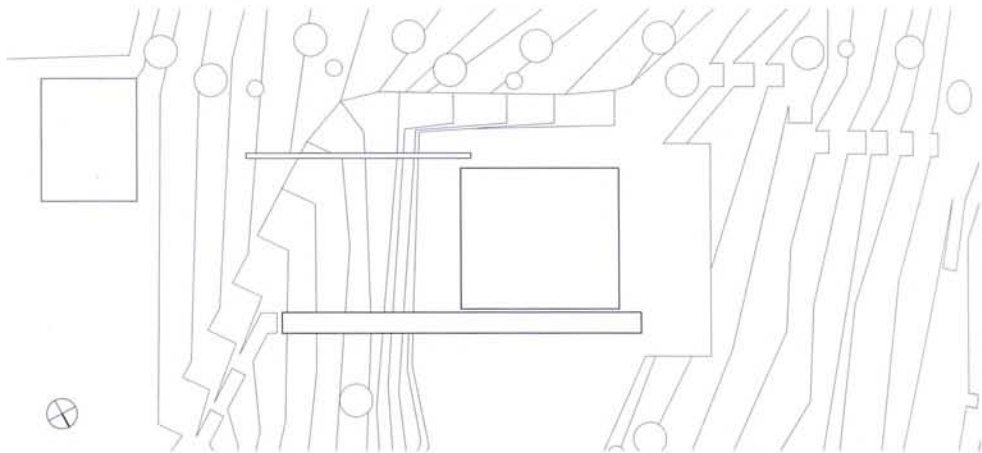
Horizontalschnitt •
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20

1 Stahlblech vorpatiniert 4 mm
2 Abdichtung PVC-Folie,
Aufkeilung 0–30 mm
Sparren 120/200 mm,
dazwischen Wärmedämmung
Mineralfaser 200 mm
Schalung 18 mm
Lattung 65 mm
Deckenschalung
Eiche unbehandelt 15 mm
3 Rahmen aus
Stahlprofilen HEA 200
4 Stahlblech 2x 20 mm
5 Zugstab Stahlrohr ⍁ 60/60 mm
6 Stahlprofil IPE 80
7 Stahlblech vorpatiniert 8 mm
8 Isolierverglasung Float
6 + SZR 14 + ESG 6 mm
Vertikalstöße
silikonverklebt schwarz
9 Dreh-Schiebewand
Stahlrahmenkonstruktion
Beplankung Eiche
unbehandelt,
genagelt 15 mm
10 Rippenrohrheizung
11 Dielen Eiche unbehandelt,
genagelt 32 mm
Lagerhölzer, Schüttung
12 Stahlprofil HEB 140
13 Stahlprofil HEM 120
14 Stütze Stahlrohr Ø 88,9 mm

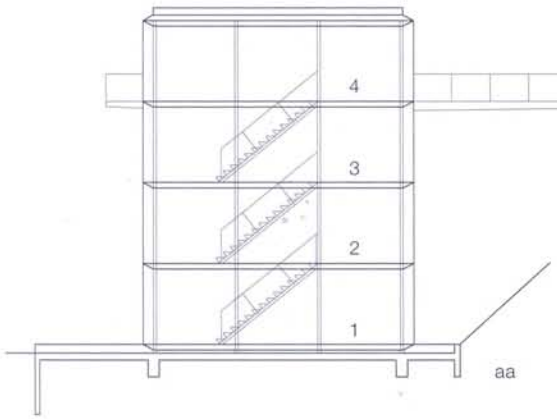
Wohnhaus R 128

Stuttgart, D 2000

Architekt:
Werner Sobek, Stuttgart
Gesamtplanung:
Werner Sobek Ingenieure
Stahlbau/Fassade:
se-stahltechnik, Stammham
Stahlausbauten:
Hardwork, Stuttgart
Energieplanung:
Transsolar Energietechnik, Stuttgart

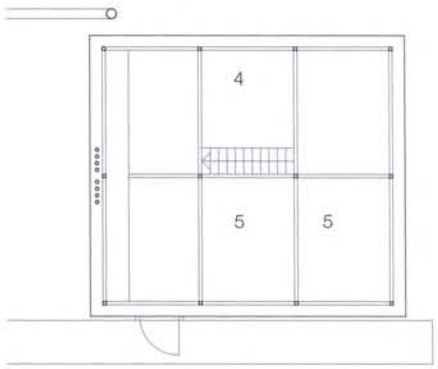


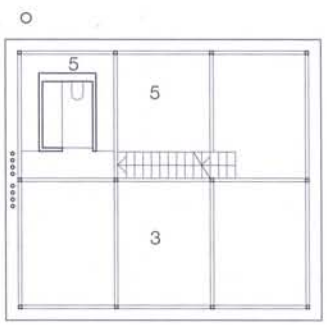
Das Energie autarke, völlig verglaste Gebäude befindet sich auf einem steilen Grundstück am Rande des Stuttgarter Talkessels. Es ist modular aufgebaut und aufgrund des Zusammenbaus durch Steck- und Schraubverbindungen nicht nur leicht auf- und abbaubar, sondern auch vollkommen rezyklierbar. Die Dreifachverglasung besitzt mit 0,45 einen U-Wert der etwa einer 10 cm dicken Hartschaumdämmung entspricht.
Die Innentemperatur wird durch ein speziell entwickeltes Klimakonzept geregelt; photovoltaisch erzeugter Strom bedient Heizung und Regelungstechnik.
Das Tragwerk des Gebäudes besteht aus einem durch Diagonalen ausgesteiften, geschraubten Stahlskelett, die Aussteifung erfolgt in vertikaler Richtung an drei Seiten durch Auskreuzungen mit Zugstäben. Auch die Decken sind durch Zugstäbe ausgekreuzt. Stützen und Träger wurden vor Ort durch vorhandene Gewindebohrungen in den Stützen verschraubt. Das offen liegende Stahltragwerk ist wesentliches Gestaltungs- und Gliederungselement.
Der Verzicht auf innere Trennwände stärkt das Konzept der maximalen Transparenz auch im Inneren des Bauwerks. Alle tragenden und nicht tragenden Elemente sowie die Fassade bauen sich modular auf und werden durch leicht lösbare Verbindungen zusammengehalten. Es gibt keinerlei Putz oder Estrich, d.h. keine schwer entsorgbaren Werkstoffverbünde und keine Unterputzleitungen. Um das Haus als emissionsfreies Nullenergie-Gebäude bauen zu können, wurde ein neuartiges Computer gesteuertes Energiekonzept entwickelt, das bei Bedarf von jedem Ort der Erde per Telefon und Computer kontrolliert werden kann.
Die durch die Fassade in das Gebäude eingestrahlte Sonnenenergie wird über wasserdurchflossene Deckenelemente absorbiert und anschließend einem Wärmespeicher zugeführt, aus dem das Gebäude im Winter durch Umkehrung des Wärmeaustauschprozesses beheizt wird. Die Deckenelemente wirken dann als Wärmestrahler; eine zusätzliche Heizung ist nicht erforderlich.

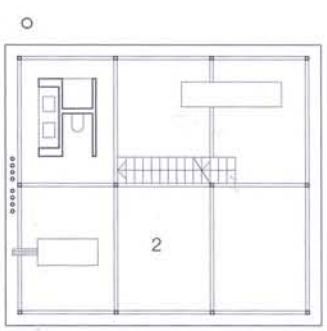


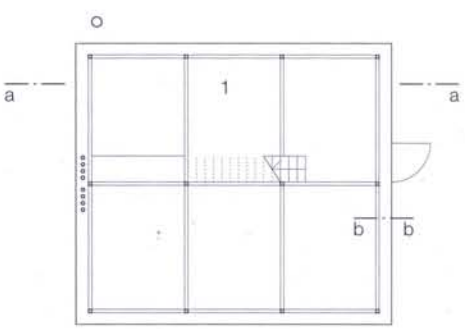
Lageplan Maßstab 1:500
Schnitt • Grundrisse Maßstab 1:250

1 Arbeiten und Hobby
2 Schlafen
3 Wohnen
4 Kochen/Essen
5 Luftraum



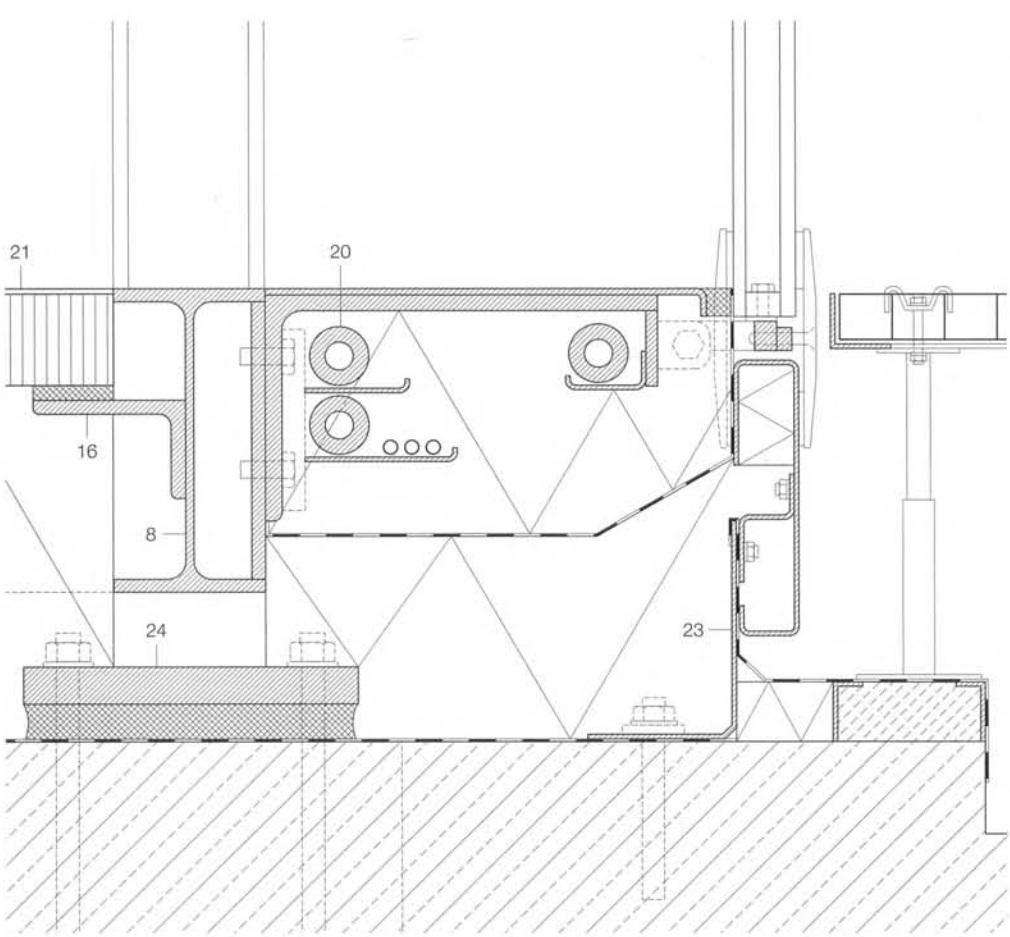


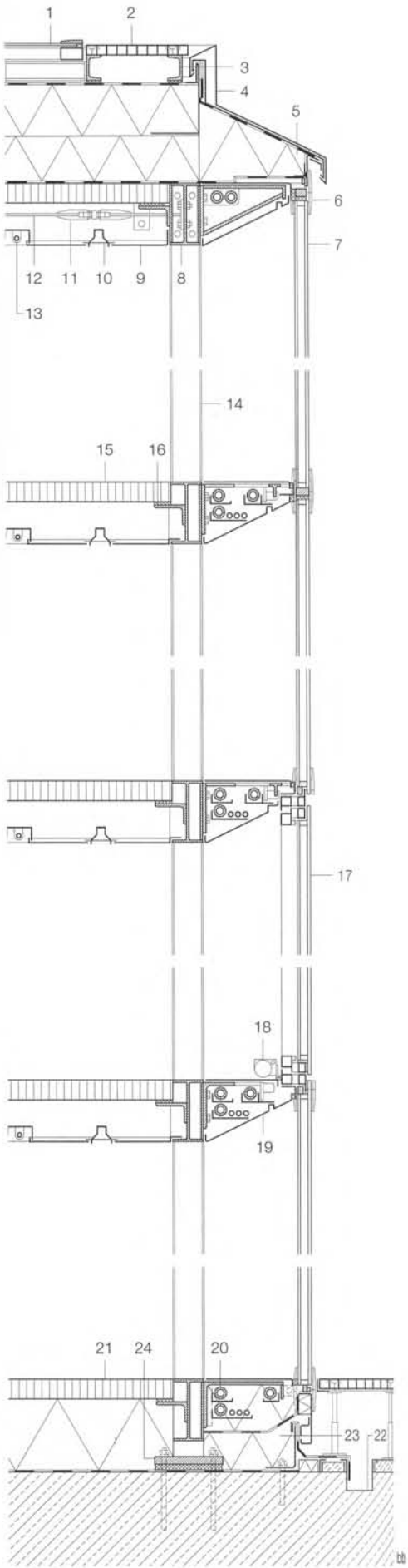




Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitt Fußpunkt
Maßstab 1:5

1 Dachaufbau:
Photovoltaik-Solarmodul
Unterkonstruktion aus Stahlprofil ⊔ 65 mm
Abdichtung Kunststoff einlagig
Dämmung Schaumglas zweilagig 320 mm
Dampfsperre
Dreischichtplatte Fichte 60 mm,
auf Neopren gelagert
2 Gitterrost P-330-30
3 Stahlprofil ⊔ 80 mm, auf EPDM gelagert
4 Blech Edelstahl 2 mm
5 Dämmung Schaumglas
6 Fassadenklemmhalter Stahl-Gussteil
7 Isolierverglasung U= 0,45 W/m²K,
äußere Scheibe 10 mm + Argonfüllung
Heat-Mirror-Klimaschutzfolie + Argonfüllung
+ 8 mm
8 Stahlprofil IPE 200
9 Deckenpaneel Aluminium 2 mm
10 Einbauleuchte
11 Spannschloss
12 Flachstahl ▱ 40/6 mm
13 Kupferrohrschlangen wasserdurchströmt Ø 15 mm
14 Stahlrohr ▯ 100/100/10 mm
15 Bodenaufbau:
Versiegelung Epoxidharz
Dreischichtplatte Fichte 60 mm,
auf EPDM gelagert
16 Stahlprofil L 100/65/8 mm
17 Klappflügel rahmenlos geschosshoch,
unten aufschlagend
18 Elektromotor zum Öffnen der Klappflügel
19 Abdeckblech Aluminium gekantet 1 mm
20 Installationskanal mit Revisionsöffnung,
Hohlraum mit Perlite-Schüttung verfüllt
21 Bodenaufbau:
Versiegelung Epoxidharz
Dreischichtplatte Fichte 60 mm,
auf EPDM gelagert
Dämmung Schaumglas 240 mm
Abdichtung Kunststoff vollflächig verklebt
Bodenplatte Stahlbeton 200 mm
22 Ablaufrinne mit Gefälleestrich
23 Stahlprofil L 100/140/10 mm
24 Stahlplatte mit Stahlankern
Zwischenraum mit Mörtel verfüllt

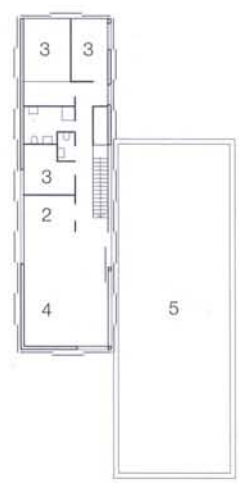




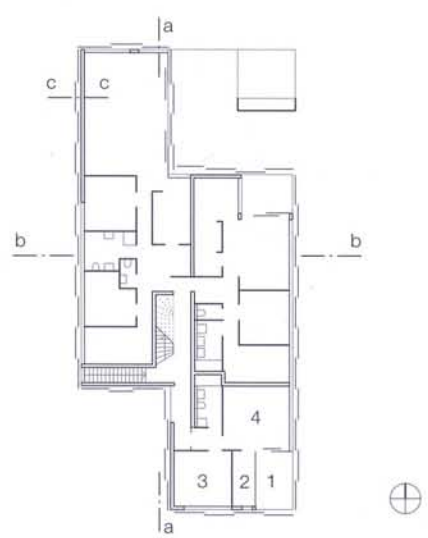
Wohnanlage

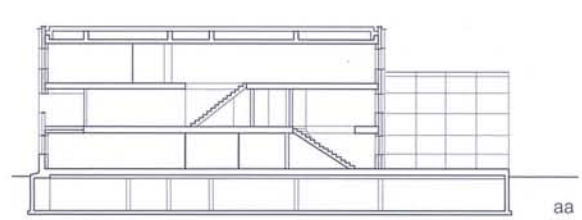
Dornbirn, A 2001
Architekten:
Baumschlager & Eberle, Lochau
Projektleiter:
Harald Nasahl
Mitarbeiter:
Christine Falkner
Tragwerksplanung:
Rüsch Diem Schuler, Dornbirn
Eric Hämmerle, Dornbirn

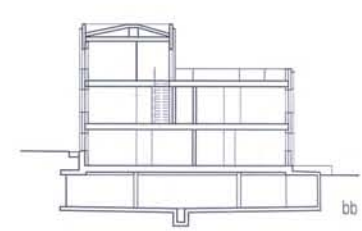
Am dicht besiedelten Stadtrand Dornbirns inmitten von traditionellen Satteldachhäusern hebt sich der Wohnbau durch seine außergewöhnliche Kubatur und Fassadengestaltung hervor. Ein dreigeschossiger und ein zweigeschossiger Riegel sind so zueinander versetzt, dass sich der Baukörper mit neun Wohneinheiten gut in die kleinteilige Nachbarbebauung einordnet und geschützte Freibereiche schafft. Um das Grundstück maximal zu nutzen wurde das Gebäude bis an die Abstandsgrenze gebaut, die Tiefgaragenzufahrt erfolgt über die ehemalige Scheune an der Straße. Nicht nur die Gebäudeform, sondern auch die Fassade reagiert auf die dichte Bebauung. Die Anlage wirkt wie ein weißer Kubus, der seine Umgebung widerspiegelt und damit eine optische Weite erzeugt. Die Fassade wird gegliedert durch Bänder aus weißen Glasscheiben in schwarzen Führungsschienen. Die in drei Ebenen gestaffelten Glaselemente verleihen der glatten Oberfläche eine subtile Tiefenwirkung und eine differenzierte Reflexion des Lichts. Hinter der äußeren Glashülle verbirgt sich eine Holzständerkonstruktion mit kunstharzgebundenen Schichtstoffplatten. In der gläsernen Hülle spiegelt sich die Umgebung auf unterschiedliche Weise: in den Fenstern der dahinter liegenden Lochfassade als klares und in den weißen Glasscheiben als gefiltertes Abbild. Das Erscheinungsbild der Fassade ist zudem abhänig von der Wetterlage und der Tageszeit. Die Bewohner können regulieren, wie weit sie sich auf ihre Umgebung einlassen möchten. Die siebbedruckten Fassadenelemente schützen vor unerwünschten Einblicken der Nachbarn – nicht nur das Innere des Hauses, sondern auch die Loggien – und ermöglichen dennoch den Blick nach draußen. Sind zwei Scheiben übereinander geschoben, ist ein Ausblick nicht mehr möglich. Die Veränderbarkeit ist Teil des Fassadenkonzepts: Die homogene Hülle erreicht erst mit der nutzungsbedingten Verschiebung der einzelnen Elemente ihre volle Wirkung.

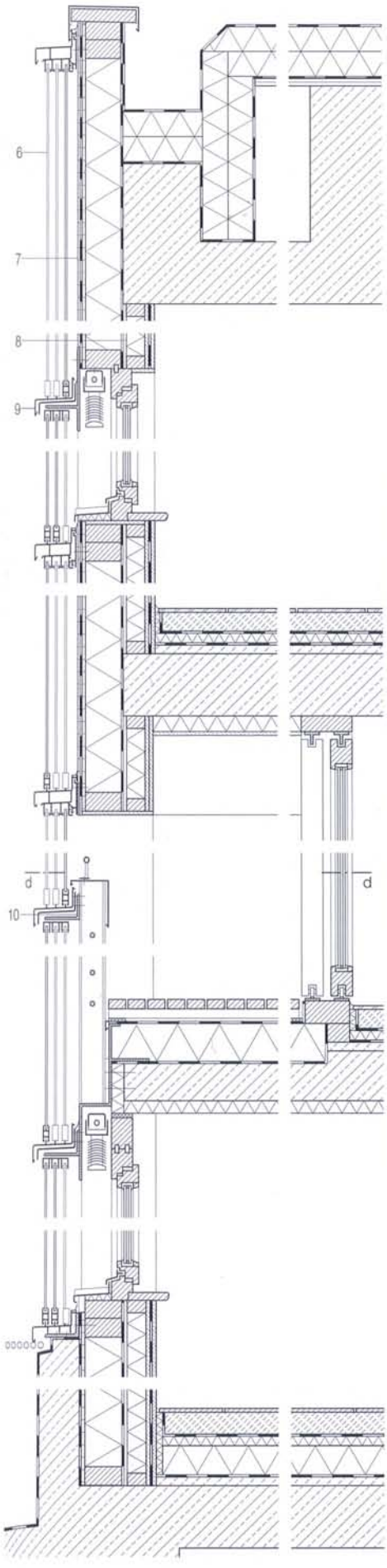


Grundrisse • Schnitte
Maßstab 1:500
Vertikalschnitt •
Horizontalschnitt
Maßstab 1:20



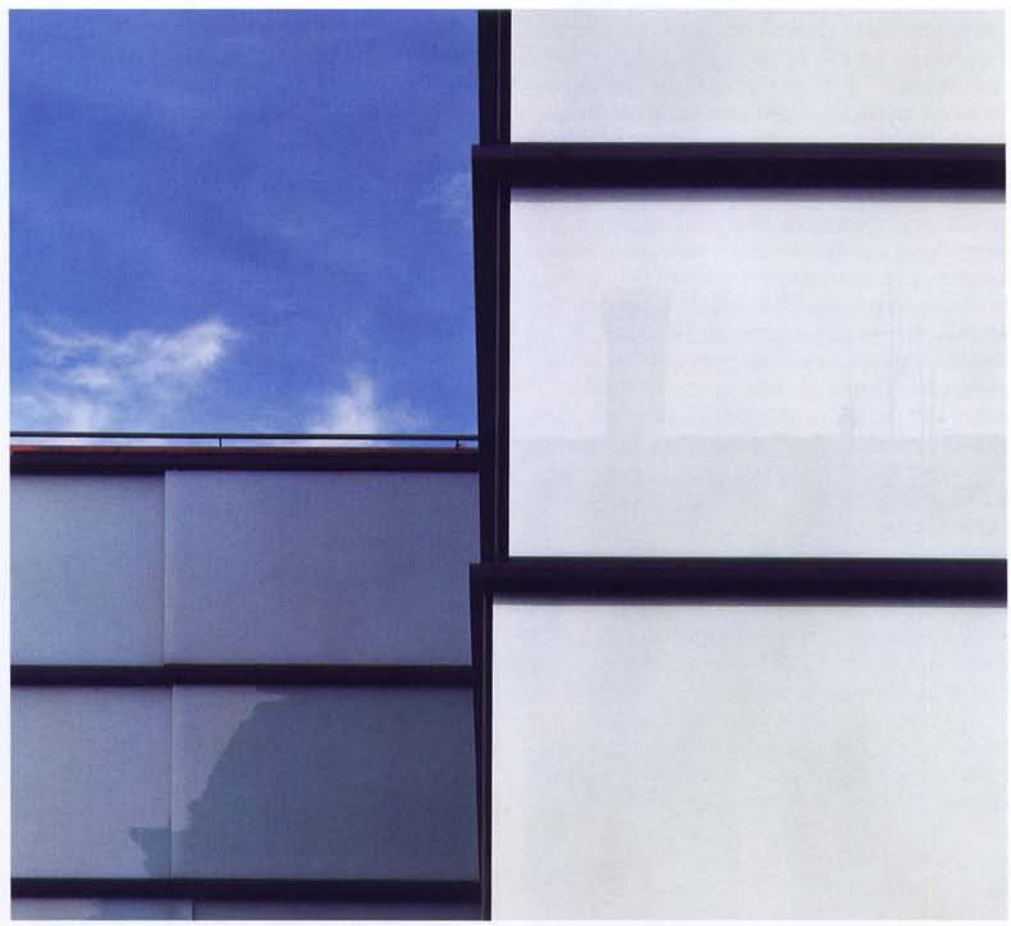


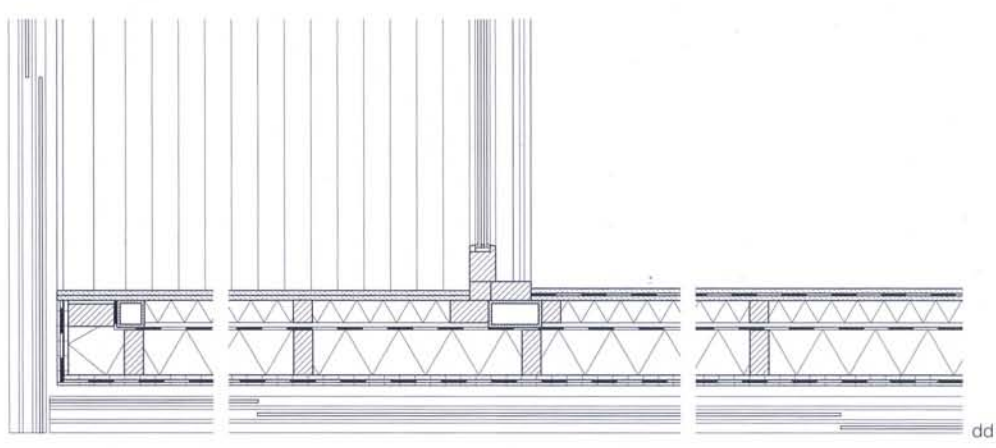




1 Loggia
2 Küche
3 Schlafen
4 Wohnen
5 Dachterrasse

6 ESG 6 mm siebbedruckt
in dreibahniger Laufschiene
Siebdruck einfarbig Punkte Ø 1 mm
7 Holzständerwand:
kunstharzgebundene Schichtholzplatte 5 mm
Windsperre diffusionsoffen
OSB-Platte 12 mm
Kantholz 120/60 mm
dazwischen Wärmedämmung
kaschiert mit Baupapier 120 mm
8 Vorsatzschale innen (Holzständerwand):
Dämmung 60 mm
Gipskarton, 2x 12,5 mm
dazwischen
Dampfsperre PE-Folie
9 Aluminiumblech gekantet
pulverbeschichtet
10 Stahlprofil L 130/90 mm

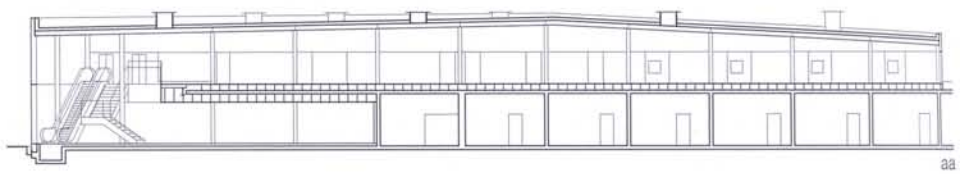




Idea Store

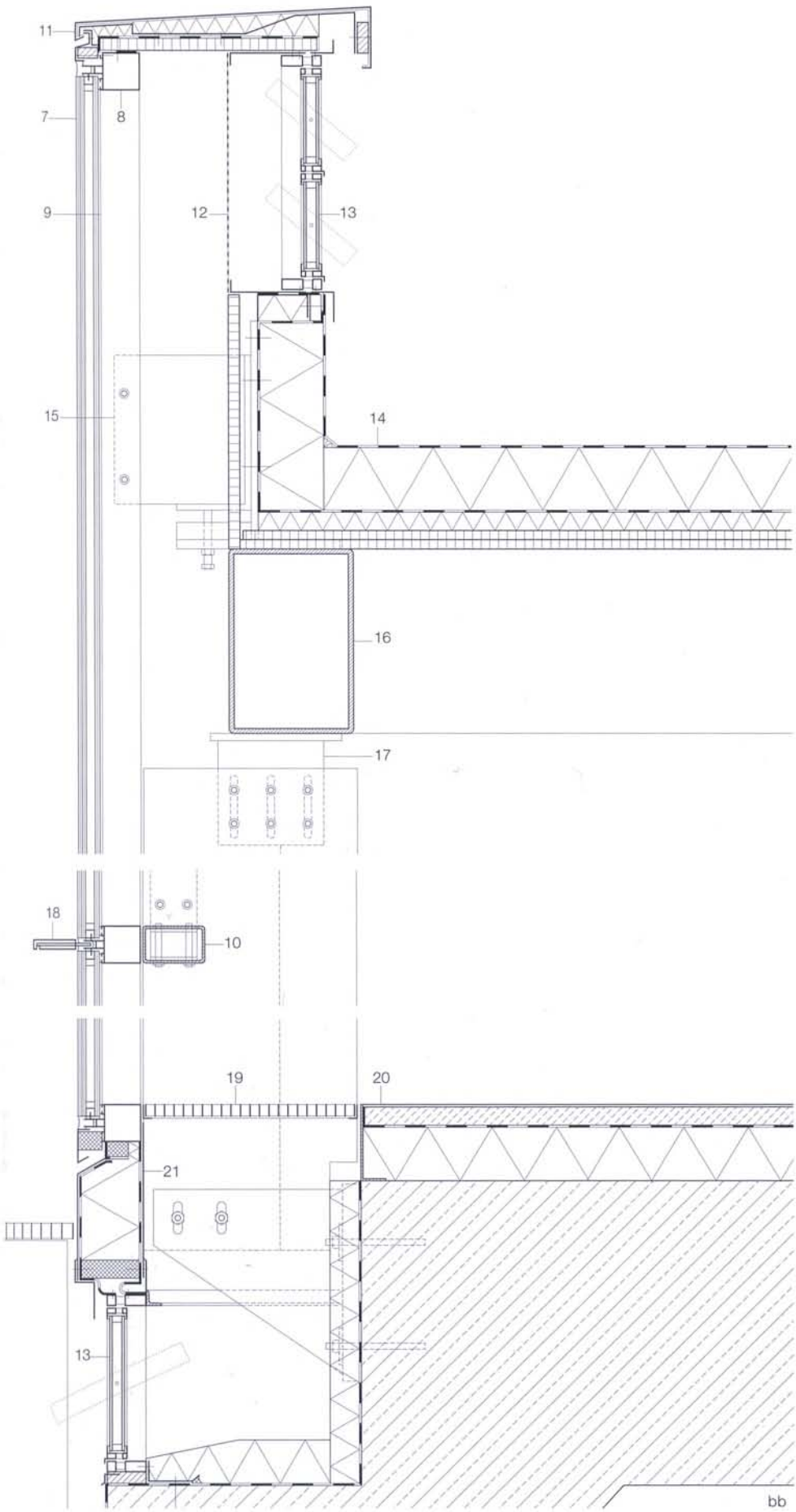
London, GB 2004

Architekten:
Adjaye Associates, London
Mitarbeiter:
David Adjaye, Yohannes Bereket, Josh Carver, Nikolai Delvendahl, Cornelia Fischer, Soyingbe Gandonu, Jessica Grainger, Andrew Heid, Haremi Kudo, Yuko Minamide, John Moran, Ana Rita Silva, Go Tashiro
Tragwerksplanung:
Arup Associates, London



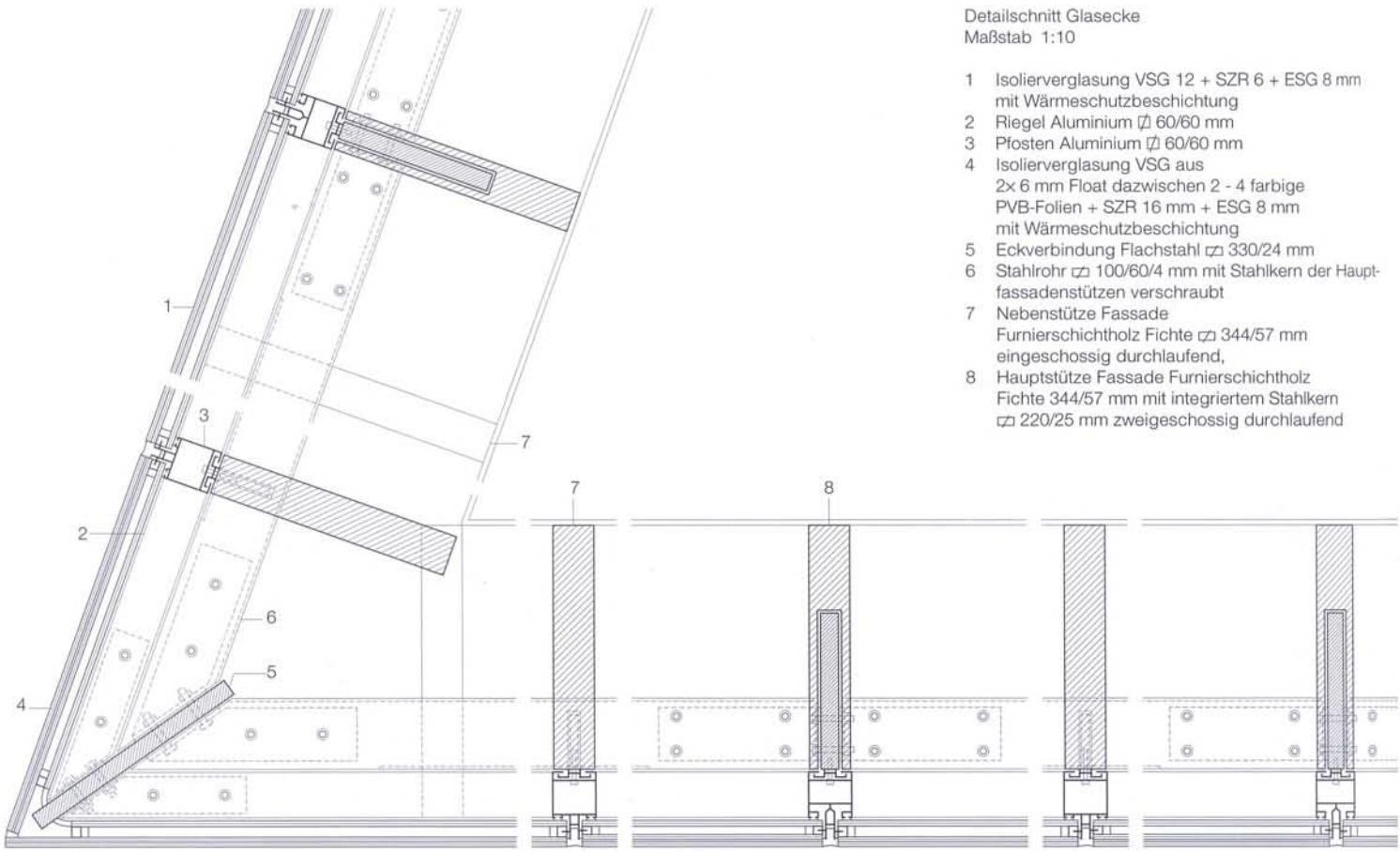
Städtische Bildungseinrichtungen wie Bibliotheken üben auf die in Tower Hamlets, East London lebende Bevölkerung bei hohem Immigrantenanteil, geringer Bildungsrate und steigender Kriminalität normalerweise keine hohe Attraktivität aus. Dieser Tatsache begegnete die Gemeinde mit einem neuen Konzept der Stadtbücherei: dem Idea Store. Dort werden Bildungseinrichtung und Gemeindezentrum miteinander vereint – wie es scheint mit großem Erfolg, denn in dem glasumhüllten Bau drängen sich die Besucher. Die Hauptbereiche der Bibliothek erstrecken sich im Obergeschoss über einer bestehenden Ladenpassage. An der Südseite reicht das Gebäude über zwei Geschosse. Hier lädt ein großer Eingang in das offen gestaltete Atrium ein. Die Konstruktion besteht aus einem tragenden Stahlskelett, dessen Raster aus den Abmessungen des Altbaus im Erdgeschoss resultiert. Fassadenstützen aus Holz, zum Teil mit einem Stahlkern verstärkt, nehmen die Wind- und Horizontalkräfte auf. Aufgrund der extremen Glasabmessungen von 4,50 m Höhe bei nur 60 cm Breite wurde die Aluminium-Pfosten-Riegel-Fassade mit Konsolen von der Stahlkonstruktion abgehängt und bleibt vertikal verschiebbar. Dadurch wirken sich Durchbiegungen der Betondecke statisch nicht auf die Fassade aus. PVB-Folien zwischen der VSG-Verglasung erzeugen die Farbgebung der Gläser. Aus einer Palette von neun Farben können bis zu vier Folien kombiniert werden, was mehr als 7000 verschiedene Farbvarianten ermöglicht.

Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:500
Detailschnitt Fassade
Maßstab 1:10



1 Eingang/Atrium
2 Buchrückgabe
3 Computer mit freiem Internetzugang
4 Information
5 Personalbereich, Nebenräume
6 Läden (Bestand)

7 Isolierverglasung VSG 12 + SZR 6 + ESG 8 mm
mit Wärmeschutzbeschichtung
8 Riegel Aluminium ⍁ 60/60 mm
9 Pfosten Aluminium ⍁ 60/60 mm
10 Stahlrohr ▱ 100/60/4 mm mit Stahlkern der
Hauptfassadenstützen verschraubt
11 Abdeckblech Aluminium 3 mm gedämmt
auf Sperrholz 20 mm
12 Paneel perforiert, pulverbeschichtet grau
Luftdurchlass 50 %
13 Lüftungsflügel Aluminium
14 Abdichtung
Hartschaumdämmung 100 mm
Dampfsperre
Dämmung 30 mm
Sperrholz 2× 15 mm
Balken Furnierschichtholz 300/60 mm
15 Befestigungsflansch Flachstahl zur
Abhängung der Pfosten-Riegel-Fassade
16 Haupttragwerk aus Stahlrohren ▱ 300/200/8 mm
17 Befestigungsflansch Flachstahl für
Verschraubung der Fassadenstützen
18 Leiste Aluminium
19 Abdeckgitter Heizung Aluminium
20 Kautschukplatten grau 600/600/3 mm
Estrich 30 mm auf Trennlage
Hartschaumdämmung 90 mm
Stahlbeton 400 mm
21 Paneel Aluminium 3 mm gedämmt



Detailschnitt Glasecke
Maßstab 1:10

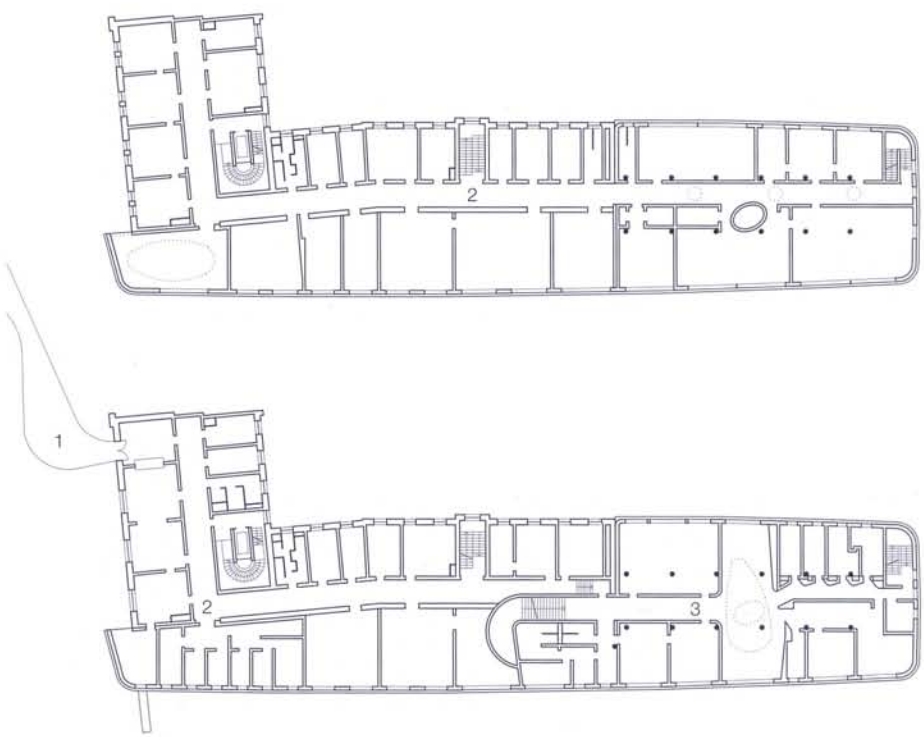
1 Isolierverglasung VSG 12 + SZR 6 + ESG 8 mm mit Wärmeschutzbeschichtung
2 Riegel Aluminium ⍁ 60/60 mm
3 Pfosten Aluminium ⍁ 60/60 mm
4 Isolierverglasung VSG aus 2× 6 mm Float dazwischen 2 - 4 farbige PVB-Folien + SZR 16 mm + ESG 8 mm mit Wärmeschutzbeschichtung
5 Eckverbindung Flachstahl ▱ 330/24 mm
6 Stahlrohr ▱ 100/60/4 mm mit Stahlkern der Hauptfassadenstützen verschraubt
7 Nebenstütze Fassade Furnierschichtholz Fichte ▱ 344/57 mm eingeschossig durchlaufend,
8 Hauptstütze Fassade Furnierschichtholz Fichte 344/57 mm mit integriertem Stahlkern ▱ 220/25 mm zweigeschossig durchlaufend

Feuer- und Polizeiwache

Berlin, D 2004

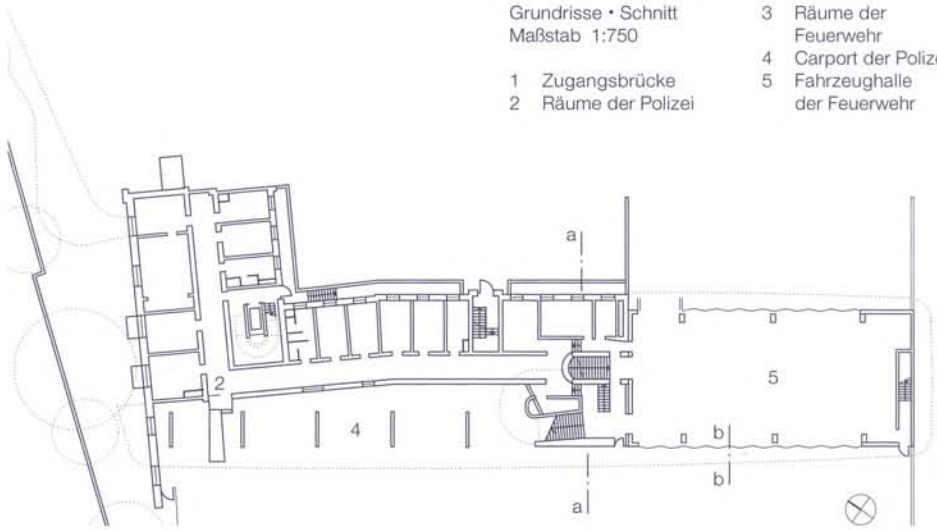
Architekten:
Sauerbruch Hutton, Berlin
Matthias Sauerbruch, Louisa Hutton,
Jens Ludloff, Juan Lucas Young
Mitarbeiter:
Sven Holzgreve, Jürgen Bartenschlag (Projektleitung); Lara Eichwede, Daniela McCarthy, Florian Völker (Bauleitung), Nicole Winge, Matthias Fuchs, Marcus Hsu, Konrad Opitz,
Tragwerksplanung:
Arup, Berlin

Inmitten einer innerstädtischen Brache an der Spree liegt die Polizei- und Feuerwache für das Regierungsviertel. Der Neubau ergänzt ein Gebäude aus dem 19. Jahrhundert, den einzig verbliebenen Bau des ehemaligen Zollhofs auf dem Güterbahnhof Moabit. An die Brandwand des Altbaus angedockt, nutzt der schwebende Riegel dessen einhüftigen Seitenflügel zur Erschließung. Darunter finden die Einsatzfahrzeuge Platz. Die reflektierende Glasoberfläche des unkonventionellen Neubaus bildet einen Kontrast zu den matten Ziegeln des schweren preußischen Amtsgebäudes. Intensive Grün- und Rottöne gehen entlang der Fassade in spannungsreich komponiertem Verlauf ineinander über – von grün im Bereich der Polizei bis rot bei der Feuerwache. Gleichzeitig stellen sie einen farblichen Bezug zum Backstein des Altbaus und den umgebenden Bäumen her. Vor den Fenstern der inneren Schale sind die äußeren Glaslamellen individuell zu öffnen. Sie dienen hier in erster Linie als Sonnenschutz. Der wettergeschützte, rückseitig aufgebrachte Siebdruck sorgt für lichtechte und dauerhafte Farben. Bei geschlossenen Lamellen nehmen die weiß gestrichenen Innenräume etwas von dieser Farbigkeit an, im geöffneten Zustand erscheinen sie annähernd farbneutral.

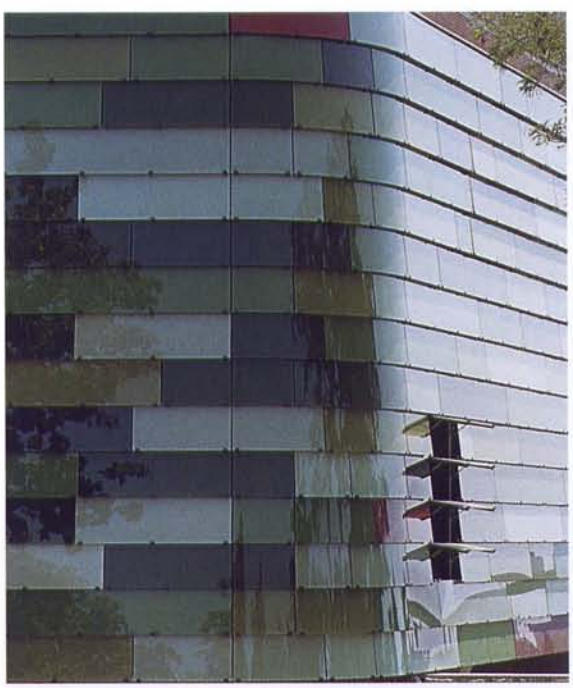


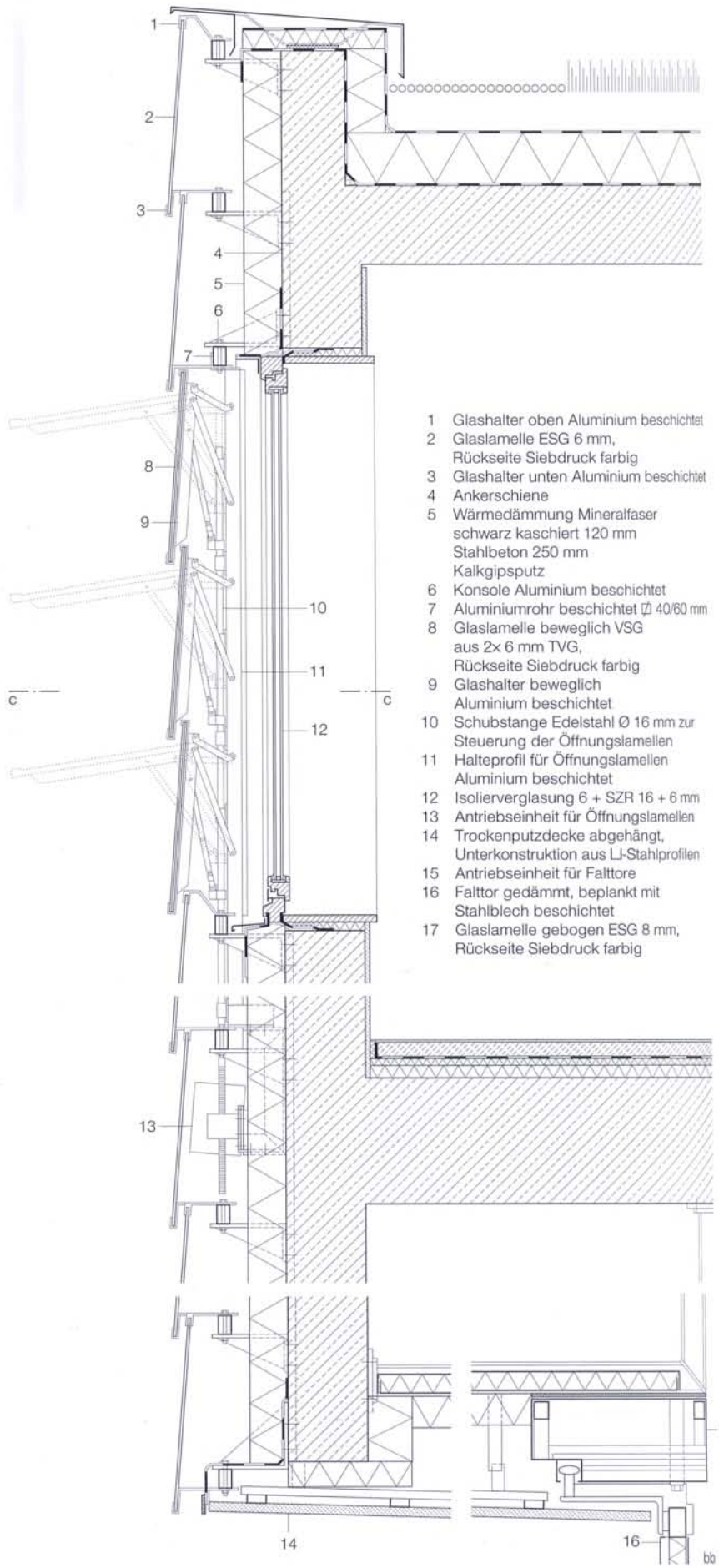
Grundrisse • Schnitt
Maßstab 1:750

1 Zugangsbrücke
2 Räume der Polizei
3 Räume der Feuerwehr
4 Carport der Polizei
5 Fahrzeughalle der Feuerwehr

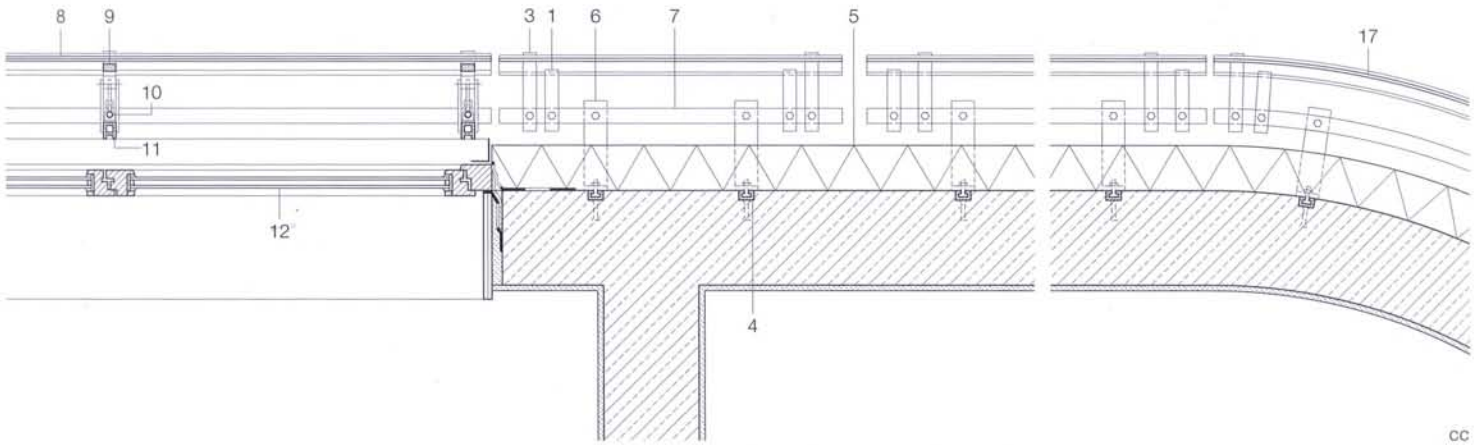


Vertikalschnitt
Horizontalschnitt
Maßstab 1:20

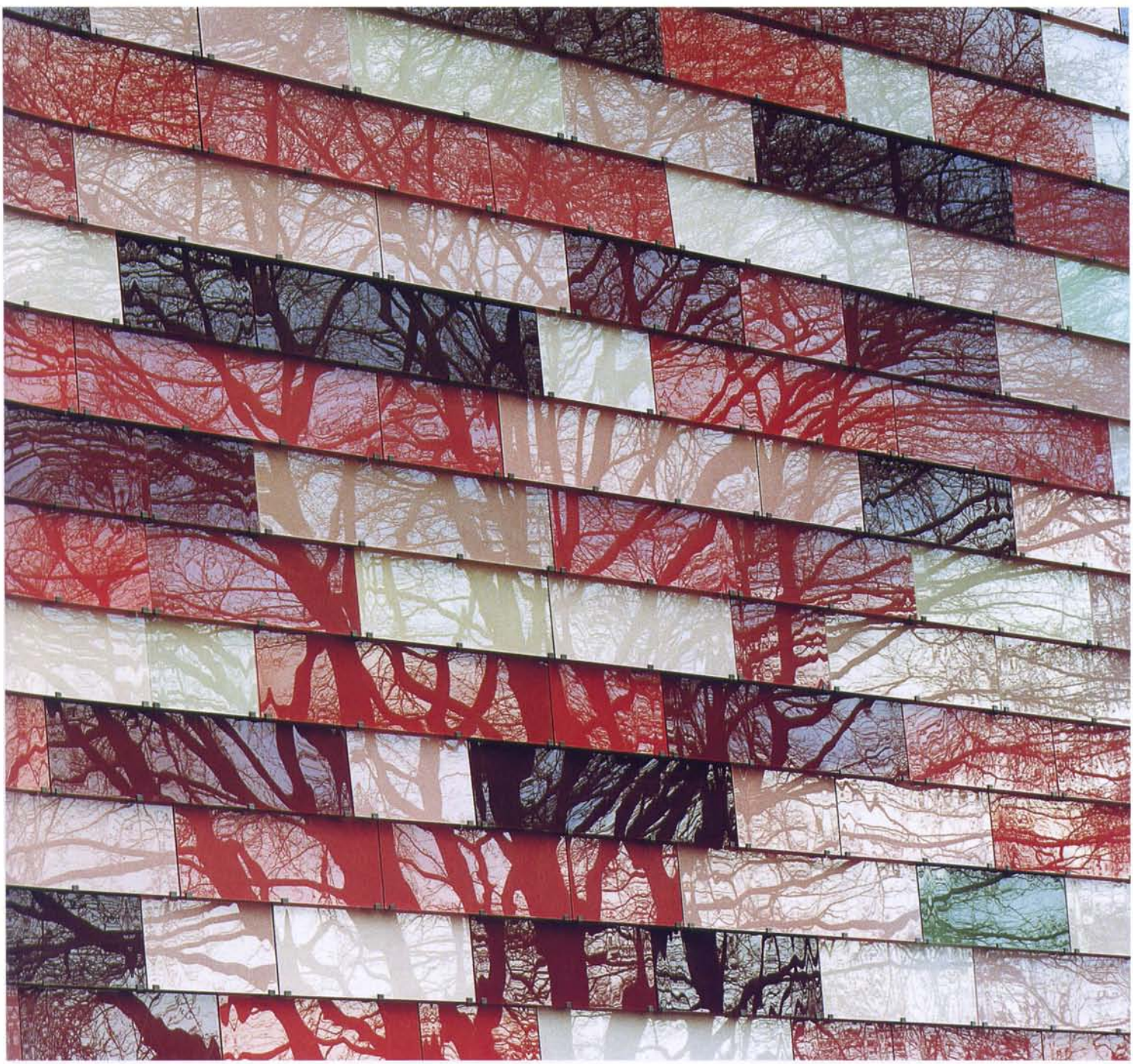




1 Glashalter oben Aluminium beschichtet
2 Glaslamelle ESG 6 mm,
Rückseite Siebdruck farbig
3 Glashalter unten Aluminium beschichtet
4 Ankerschiene
5 Wärmedämmung Mineralfaser
schwarz kaschiert 120 mm
Stahlbeton 250 mm
Kalkgipsputz
6 Konsole Aluminium beschichtet
7 Aluminiumrohr beschichtet ⍁ 40/60 mm
8 Glaslamelle beweglich VSG
aus 2× 6 mm TVG,
Rückseite Siebdruck farbig
9 Glashalter beweglich
Aluminium beschichtet
10 Schubstange Edelstahl Ø 16 mm zur
Steuerung der Öffnungslamellen
11 Halteprofil für Öffnungslamellen
Aluminium beschichtet
12 Isolierverglasung 6 + SZR 16 + 6 mm
13 Antriebseinheit für Öffnungslamellen
14 Trockenputzdecke abgehängt,
Unterkonstruktion aus LJ-Stahlprofilen
15 Antriebseinheit für Falttore
16 Falttor gedämmt, beplankt mit
Stahlblech beschichtet
17 Glaslamelle gebogen ESG 8 mm,
Rückseite Siebdruck farbig



cc

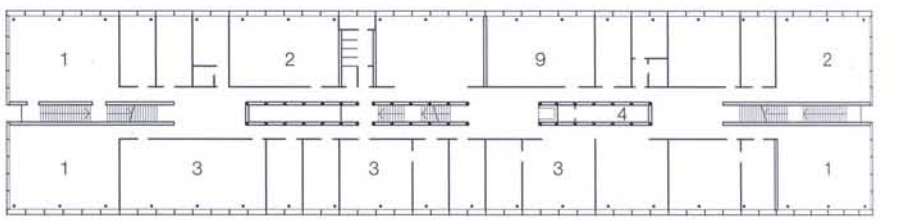


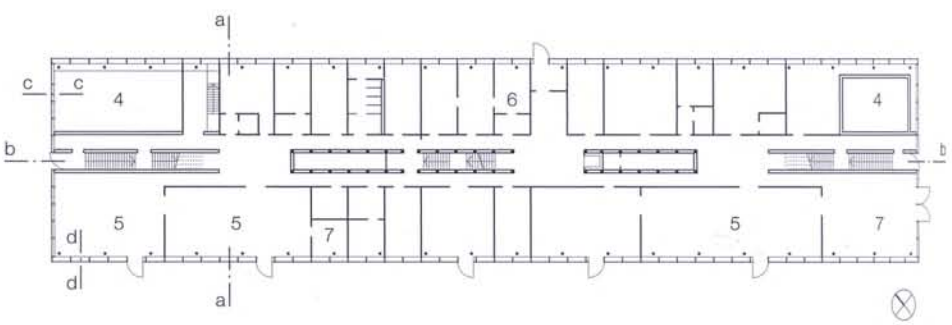
Fachhochschule

Wiesbaden, D 2001

Architekten:
Mahler Günster Fuchs Architekten, Stuttgart
Mitarbeiter:
Florian Technau (Projektleiter), Alexander Carl, Martina Schulde, Karin Schmid-Arnoldt
Tragwerksplanung:
Fischer und Friedrich, Stuttgart

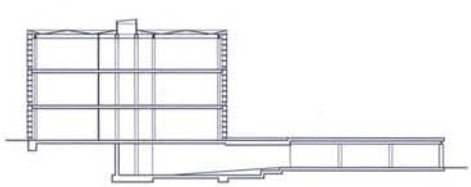
In den gläsernen Fassaden der neuen Fachhochschule für Gestaltung in Wiesbaden spiegelt sich der Eichenhain auf dem ehemaligen Gelände einer Filmproduktionsgesellschaft. Das neue Gebäude fügt sich in die »Medienlandschaft« der benachbarten Fakultäten für Elekto-, Fernsehtechnik und Medienwirtschaft ein und nimmt in vielfacher Hinsicht Bezug auf die Nähe des Baumbestandes. Um die Wurzeln zu schützen, ist es nur zur Hälte unterkellert, die umgebenden befestigten Flächen sind nicht versiegelt. Auch Material und Ausführung der Fassaden aus Glas und Holz nehmen in ihrer filigranen Transparenz Rücksicht auf die Umgebung. Konstruktiv wurde zwischen den Längs- und Querseiten differenziert. Die längeren Süd- und Nordfassaden sind vor die tragenden Verbundstützen gestellt und bestehen aus einer mit 40 cm sehr tiefen Pfosten-Riegel-Konstruktion mit vorgesetzter Isolierverglasung. Dieses System bildet ein konstruktives »Regal«, das als Ausstellungs- oder Ablagefläche genutzt wird und zugleich gemeinsam mit den umstehenden Bäumen als Sonnenschutz dient. Raumhohe Klappflügel ermöglichen eine Querlüftung des Gebäudes. Die Besonderheit der Stirnseiten liegt in der auf Anregung der Architekten eigens entwickelten Verglasung:
In die aus ESG-Scheiben bestehende Verglasung wurde ein feiner Holzrost aus malayischem Meranti-Holz im Scheibenzwischenraum eingefügt. Das Holzraster dient als Blend- und Sonnenschutz, verleiht dem einfallenden Licht einen warmen Ton und ermöglicht gleichzeitig eine gute Durchsicht nach draußen.
Eine Low-E-Beschichtung auf der äußeren Scheibe trägt zusätzlich zur Verminderung des Energieeintrags bei.



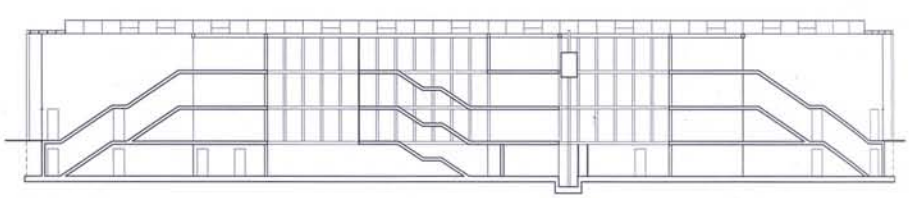


Grundrisse Erdgeschoss · 1. Obergeschoss · Schnitte Maßstab 1:750
Detailschnitte Fassade Maßstab 1:10

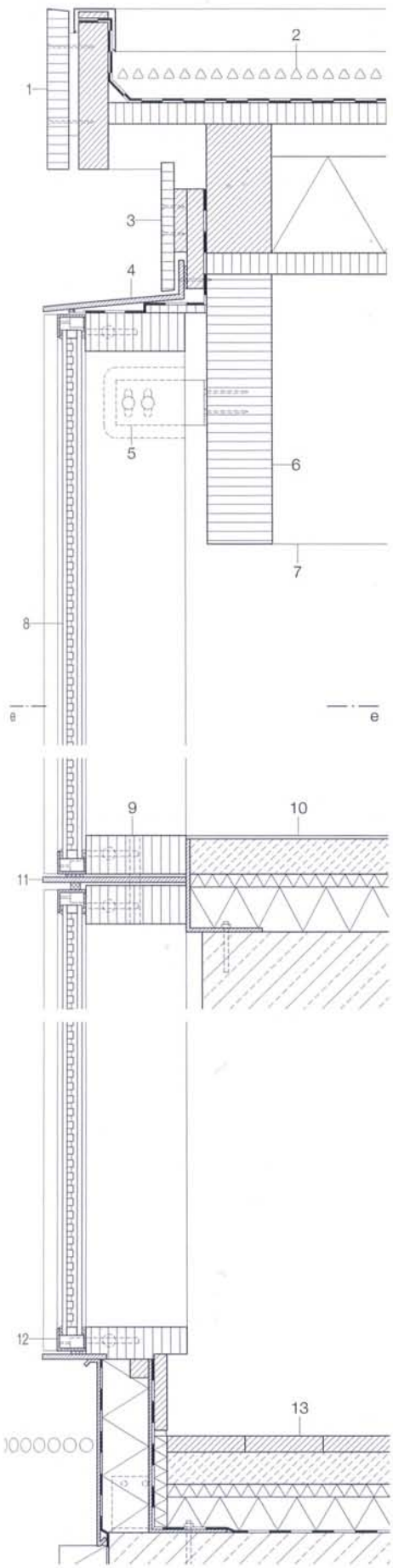
1 Studiensaal
2 Vorlesungssaal
3 Unterrichtsraum
4 Luftraum
5 Werkstatt
6 Sekretariat
7 Lager
8 Technik
9 Labor
10 Foto-/Fernsehstudio



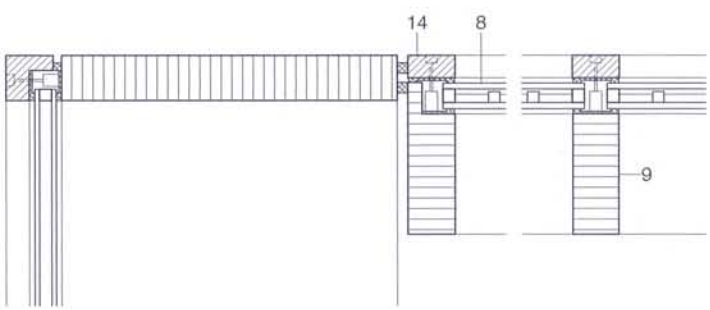
aa



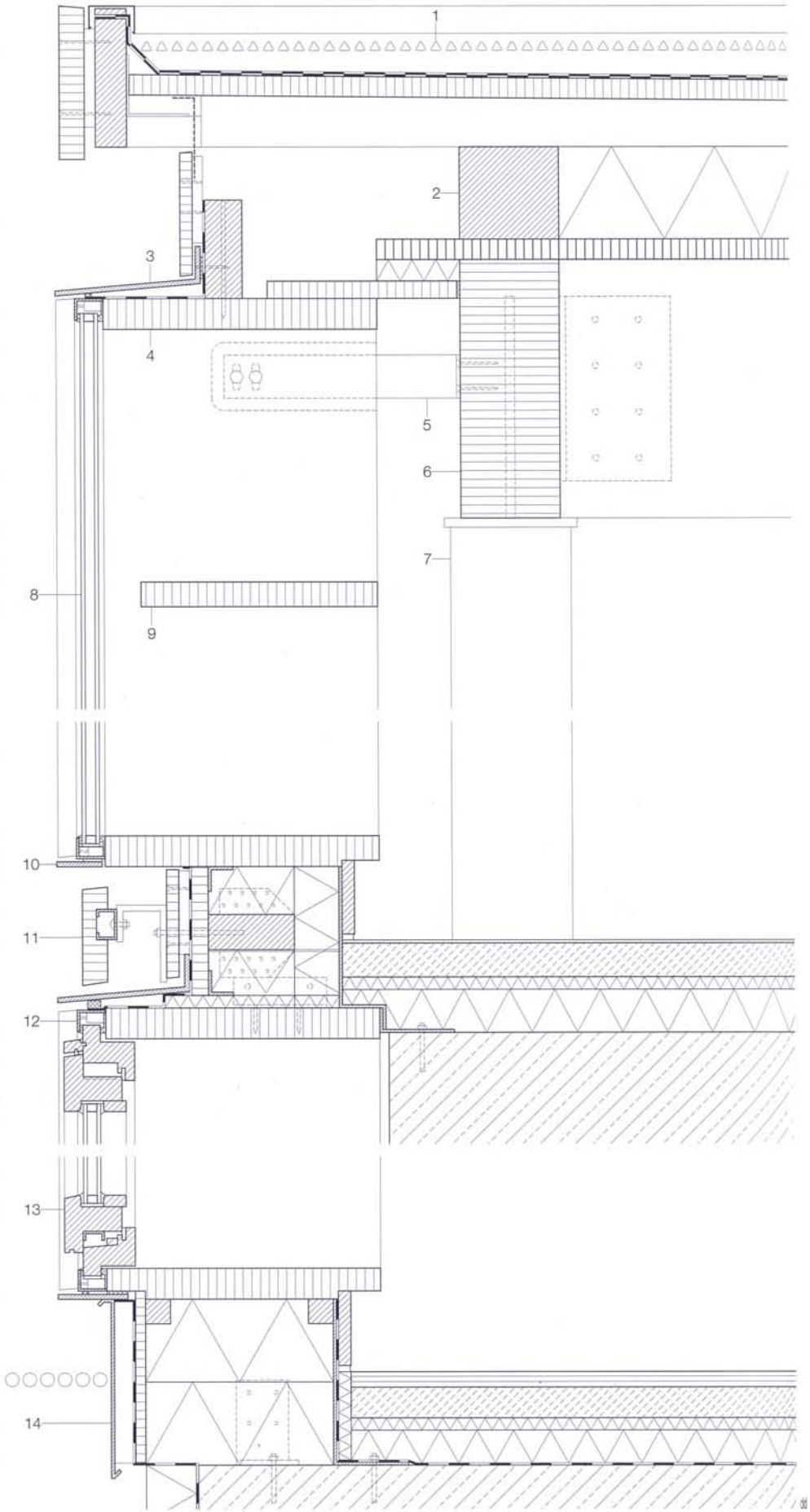
bb



1 Brettschichtholz Douglasie 250/40 mm
2 Schüttung Glasbruch 50 mm
Abdichtung Bitumenbahn zweilagig
Furnierschichtholz 33 mm
Nadelholz mit Gefälle/Hinterlüftung
200–320/100 mm, dazwischen
Wärmedämmung 150 mm
Dreischichtplatte 30 mm
3 Dreischichtplatte 20 mm
4 Aluminiumblech 8 mm
diffusionsoffene Dichtungsbahn
5 Stahlschwert 150/70/6 mm
6 Brettschichtholz Douglasie 420/100 mm
7 Brettschichtholz Douglasie 420/160 mm
8 Isolierverglasung mit Holzgitter
im Scheibenzwischenraum:
ESG 8 + SZR 18 + ESG 8 mm
Holzgitter Dark Red Meranti
horizontale Stäbe 11/11 mm, Abstand 9 mm
vertikale Stäbe 10/10 mm, Abstand 500–600 mm
9 Brettschichtholz Douglasie 60/60 mm
mit Aluminiumverbindern
Ø 24 mm, fixiert mit Stabdübeln
10 Linoleum 5 mm
Estrich 55 mm
Trittschalldämmung 20 mm
Dämmstoffplatte 70 mm
Stahlbeton 320 mm
11 Aluminiumblech 240/8 mm
12 Aluminiumprofil L 45/35/4 mm
13 Parkett 25 mm
Estrich 50 mm
Trittschalldämmung 20 mm
Wärmedämmung 50 mm
Abdichtung Bitumenbahn 5 mm
14 Pressleiste Douglasie 62/30 mm ölharzbeschichtet



ee



Detailschnitt Fassade
Maßstab 1:10

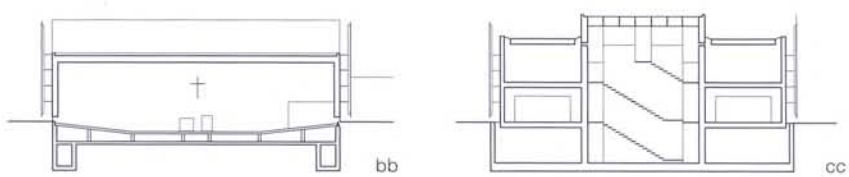
1 Schüttung Glasbruch 50 mm
Abdichtung Bitumenbahn zweilagig
Furnierschichtholz 33 mm
Nadelholz mit Gefälle/Hinterlüftung
200–320/100 mm,
dazwischen Wärmedämmung 150 mm
Dreischichtplatte 30 mm
Tragkonstruktion BSH 420/100 mm
2 Kantholz Nadelholz 160/150 mm
3 Aluminiumblech 8 mm
Abdichtung diffusionsoffen
4 Brettschichtholz Douglasie 440/50 mm
5 Stahlschwert 380/70/6 mm
6 Brettschichtholz Douglasie 420/160 mm
7 Stütze Stahlrohr
Ø 194/10 mm ausbetoniert
8 Isolierverglasung
ESG 6 + SZR 16 + ESG 6 mm
9 Brettschichtholz Douglasie 380/40 mm
mit Ölharzbeschichtung
10 Aluminiumblech 70/8 mm
11 Verblendung Dreischichtplatte
Douglasie 150/40 mm
12 Aluminiumprofil L 45/35/4 mm
13 Klappflügel Oregon Pine 95/95 mm
mit Ölharzbeschichtung
14 Aluminiumblech 2 mm
Lattung 50/34 mm
Abdichtung
Dreischichtplatte 16 mm

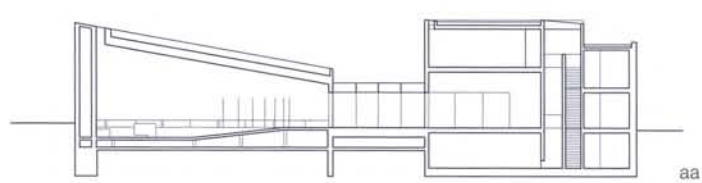
Pfarrzentrum

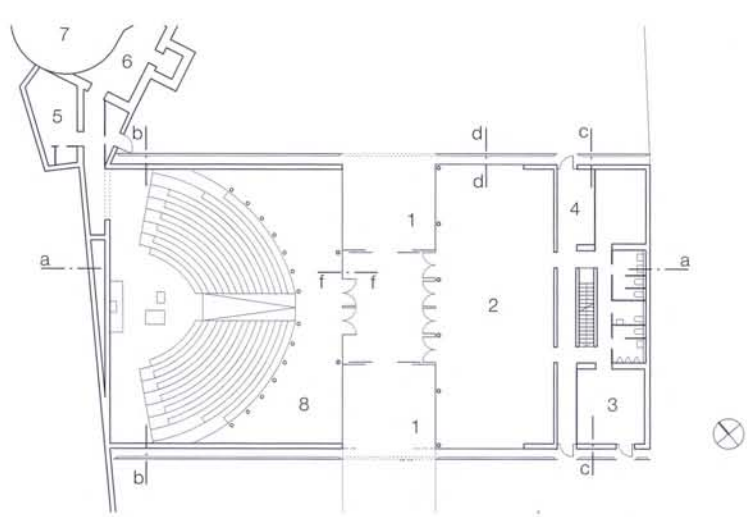
Podersdorf, A 2002

Architekten:
lichtblau.wagner architekten, Wien
Mitarbeiter:
Susanna Wagner, Andreas Lichtblau,
Markus Kierner, Waltraud Derntl,
Denise Riesenberg
Tragwerksplanung:
Josef Gebeshuber, Wien

Die barocke Pfarrkirche bietet zwar ausreichend Platz für die 2000 Einwohner von Podersdorf, nicht aber für die rund 8000 Gäste, die den Ferienort am Neusiedler See während der Sommermonate besuchen. Sonntags hatte man zeitweise vier Messen hintereinander lesen müssen, bevor sich die Gemeinde entschloss, das alte Pfarrheim abzureißen und ein neues Gemeindezentrum mit Messraum und Pfarrsaal zu errichten. Die alte Kirche wird an Werktagen weiterhin für Gottesdienste genutzt. Anders als die ortsübliche Bebauung steht der neue Gebäuderiegel quer auf dem Grundstück. So bilden sich auf beiden Seiten Freiräume unterschiedlicher Qualitäten: ein »Stadtplatz« zur alten Kirche und Dorfstraße sowie eine am Rande der Felder gelegene »Festwiese«. Ein öffentlicher Weg führt durch das Gebäude und macht es von beiden Seiten zugänglich.
Messraum und neues Pfarrheim befinden sich in zwei weiß verputzten Kuben, die ein gläserner Windfang mit dem gemeinsamen Eingangsbereich verbindet. Zwei offene Atrien bilden die Vorzonen zu Platz und Wiese. Zwei 40 m lange Glaswände laufen vor den Baukörpern durch und binden sie so zu einer Einheit zusammen. Veredelt sind die Glasscheiben mit aufgedruckten goldfarbenen Texten, Bibelzitate und von Podersdorfer Kindern verfasste Aussagen zum Thema Familie.
Eine ebenso reduzierte wie elegante Materialsprache bestimmt die Innenräume. Im quer orientierten Messraum reihen sich halbkreisförmig grau gepolsterte Bänke um den steinernen Altar und Ambo. Zum Altarbereich hin senkt sich der Boden aus geschliffenem Terrazzo, während die weiß gespachtelte Decke ansteigt. Streiflicht aus seitlich angeordneten Decken- und Wandschlitzen verstärkt die konzentrierte, kontemplative Stimmung.

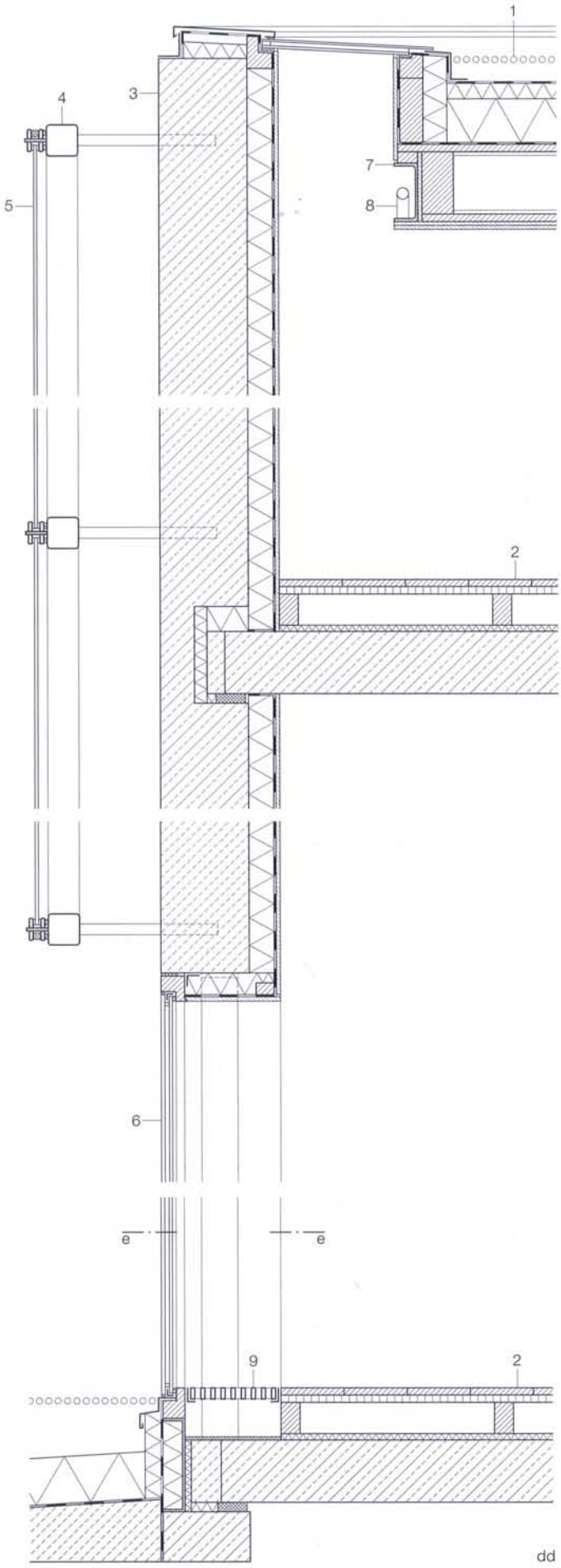






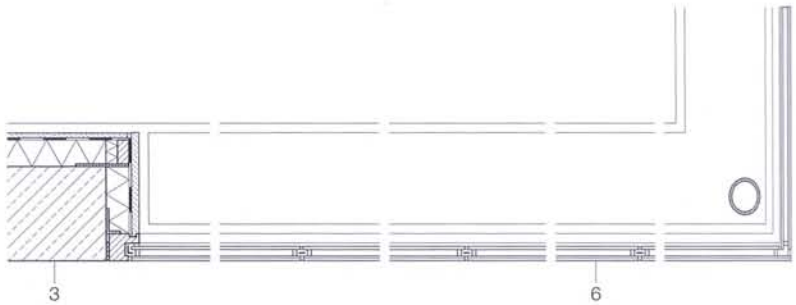
1 Atrium
2 Pfarrsaal
3 Küche
4 Garderobe
5 Beichte/Ministranten
6 Sakristei
7 Barockkirche
8 Messraum

Grundriss • Schnitte
Maßstab 1:500

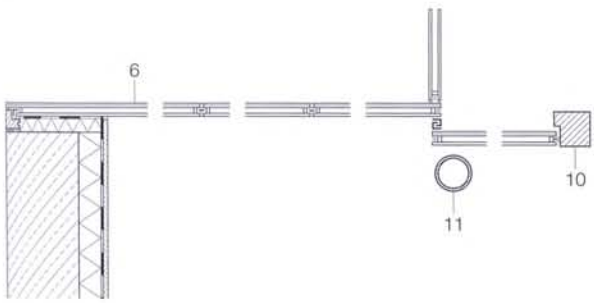


dd

Vertikalschnitte • Horizontalschnitte
Maßstab 1: 20



ee



gg

1 Dachaufbau:
Kies 80 mm
Dachschutzbahn
Gefälledämmung Polystyrol 150–190 mm
Dampfsperre, Schalung rau 24 mm
Stahlprofil HEB 200 dazwischen
Holzbalken 100/200 mm
Schalung 24 mm
Abhangdecke Gipskartonplatten 2x 12,5 mm (F60)
Spachtelung

2 Fußbodenaufbau:
Eiche Stabparkett versiegelt 22 mm
Spanplatten 24 mm
Polsterhözer 60/100 mm
Trittschalldämmung
TDPT 250/200 mm
Spannbetonhohldiele 200 mm
Spachtelung
Wärmedämmung 90 mm

3 Wandaufbau:
Spachtelung
Stahlbeton 280 mm
Wärmedämmung 80 mm dazwischen Holzunterkonstruktion
Dampfsperre
Gipskarton 12,5 mm

4 Formrohr ▯ 100/100 mm

5 Weißglas ESG 12 mm

6 Isolierglas ESG 12 + SZR 15 + ESG 8 mm, Fixelement rahmenlos, umlaufende Randemaillierung schwarz

7 Stahlprofil LJ 280

8 Lichtleiste

9 Holzgitter Eiche (Zuluft)

10 Türblatt Holz, weiß lackiert mit Fluchtwegbeschlag stumpf einschlagend

11 Stütze Stahlrohr Ø 140 mm mit Fliesmörtelkern und Brandschutzanstrich

12 Dachaufbau:
Kies 80 mm
Gefälledämmung Polystyrol extrudiert 120 mm
Kunststoffdachbahn Ethylencopolymerisat-Bitumen ECB
Sperrholz 16 mm
Hohlprofil wärmegedämmt 70 mm
Wärmedämmung Mineralfaser 500 mm
Dampfsperre
Wärmedämmung Mineralfaser 30 mm, Luftraum 250 mm
Gipskartonplatten 2x 12,5 mm

13 Wandaufbau:
Stahlbeton 250 mm
Wärmedämmung Mineralfaser 80 mm, Dampfsperre
Gipskartonplatte 12,5 mm
Spachtelung

14 Fußbodenaufbau:
Terazzo geschliffen 15 mm
Untergrund Aufbeton 60 mm
Betonfertigteile 80 mm
Betonhohlprofile stehend, dazwischen Luftraum
Wärmedämmung XPS 100 mm
Fundamentplatte

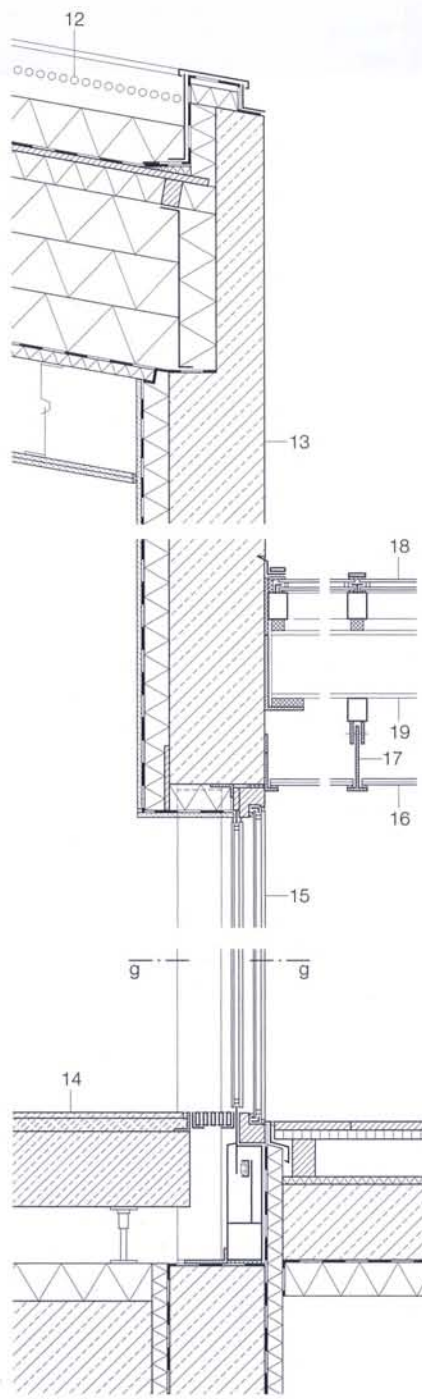
15 Fixelement

16 VSG 16 mm

17 Flachstahl 100/5 mm, mit Langloch höhenverstellbar, EPDM-Auflager
Glasauflager Flachstahl ▱ 100/60/5 mm, 9 Stück pro Glasfeld

18 Isolierverglasung ESG 9 + SZR 15 + ESG 8 mm

19 Stahprofil HEB 180



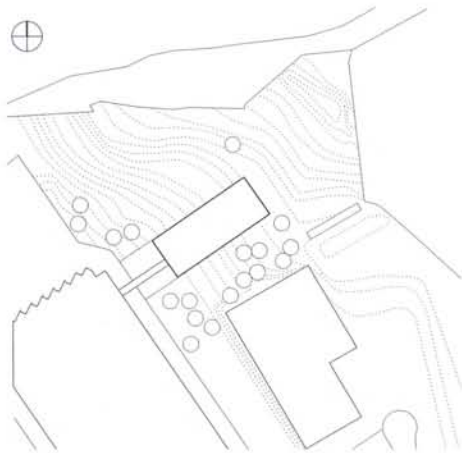
ff

Hochregallager

Lüdenscheid, D 2001

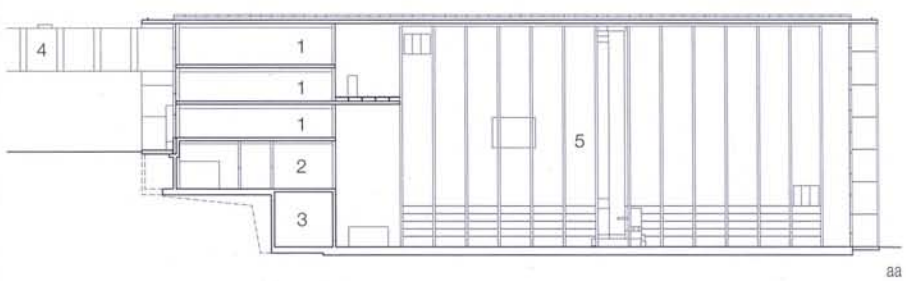
Architekten:
schneider+schumacher, Frankfurt am Main
Mitarbeiter:
Gunilla Klinkhammer, Robert Binder,
Nadja Hellenthal, Alexander Probst,
Till Schneider
Tragwerksplanung:
Posselt Consult, Übersee
Lichtplanung:
Belzner Holmes, Heidelberg
Logistikplanung:
VES, Dortmund

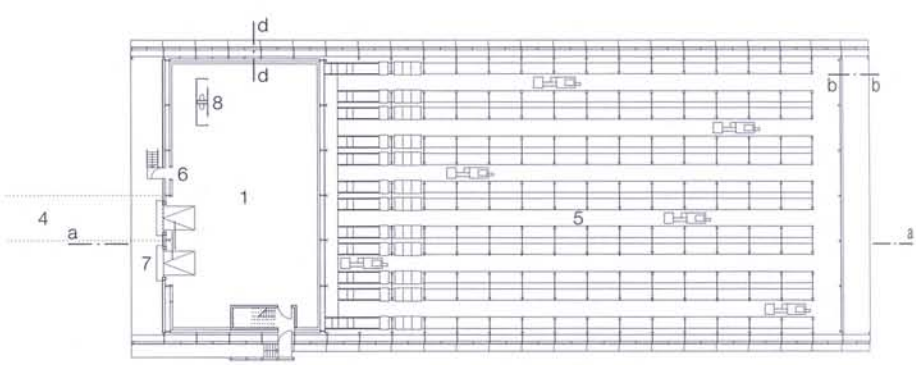
Anspruchsvolle Industriegebäude sind immer noch die Ausnahme. Kostenersparnis und Funktionalität zählen meist mehr als Architektenvisionen oder Firmenimage. Was über Mindeststandards hinausgeht, ist deshalb oft nicht umsetzbar. Auch der Gebäudekubus des Hochregallagers in Lüdenscheid ist denkbar einfach gehalten, doch hebt er sich durch seine Gestaltung von durchschnittlichen Industriebauten ab. Licht spielt nicht nur in der Produktpalette des Bauherren, ein internationaler Leuchtenhersteller, eine grundlegende Rolle, sondern auch beim Fassadenkonzept. Enwurfsfsidee war es, eine Tag- und eine Nachtfassade zu gestalten. Bei Tag reagiert die Gebäudehülle durch die Fassadenverkleidung mit nach außen geöffneten U-Profilbaugläsern auf das unterschiedlich einfallende Tageslicht. Dabei changiert sowohl der Farbton als auch der Grad der Transparenz. Für das nächtliche Erscheinungsbild entwickelte das Team eine Beleuchtung, die Hinweis auf den Inhalt des Gebäudes gibt: Leuchtstoffröhren, in Längsreihen hinter der Fassade angebracht, erinnern an den Strichcode der Produkte. Um die Prozesse im Inneren – stapeln, lagern, ordnen – zu symbolisieren, leuchten die Röhren im Wechsel verstreut oder übereinander in Reihen geordnet. Auch die Regalbediengeräte sind Bestandteil des Entwurfes: Das installierte Lichtsystem macht ihre Bewegung sichtbar. Die Profilverglasung der Längsseiten ist ein speziell für dieses Projekt entwickeltes doppelschaliges System im Prinzip einer Structural-Glazing-Konstruktion. Die Giebelseiten dagegen sind mit Isolierglasscheiben von 2,2 × 4,5 m versehen, die nur horizontal durch Klemmprofile gehalten werden. Vertikale Stöße sind lediglich mit Silikon versiegelt. Sechs durchlaufende Oberlichtbänder ermöglichen es, auch im mittleren Bereich des knapp 30 × 74 m großen Gebäudes mit natürlichem Licht zu arbeiten. Das Lager selbst ist in Silobauweise ausgeführt, d.h. die Regale bilden gleichzeitig die Stahlskelettkonstruktion der Halle. Nur Treppenhaus und Technikbereiche sind in Massivbauweise erstellt. Diese verschwinden im Gelände – das transparente Erscheinungsbild des Gebäudes wird nicht gestört.

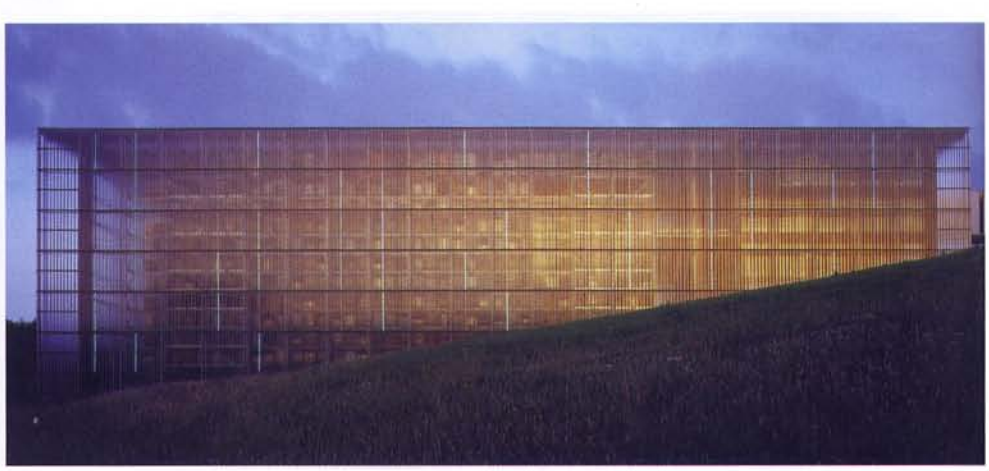


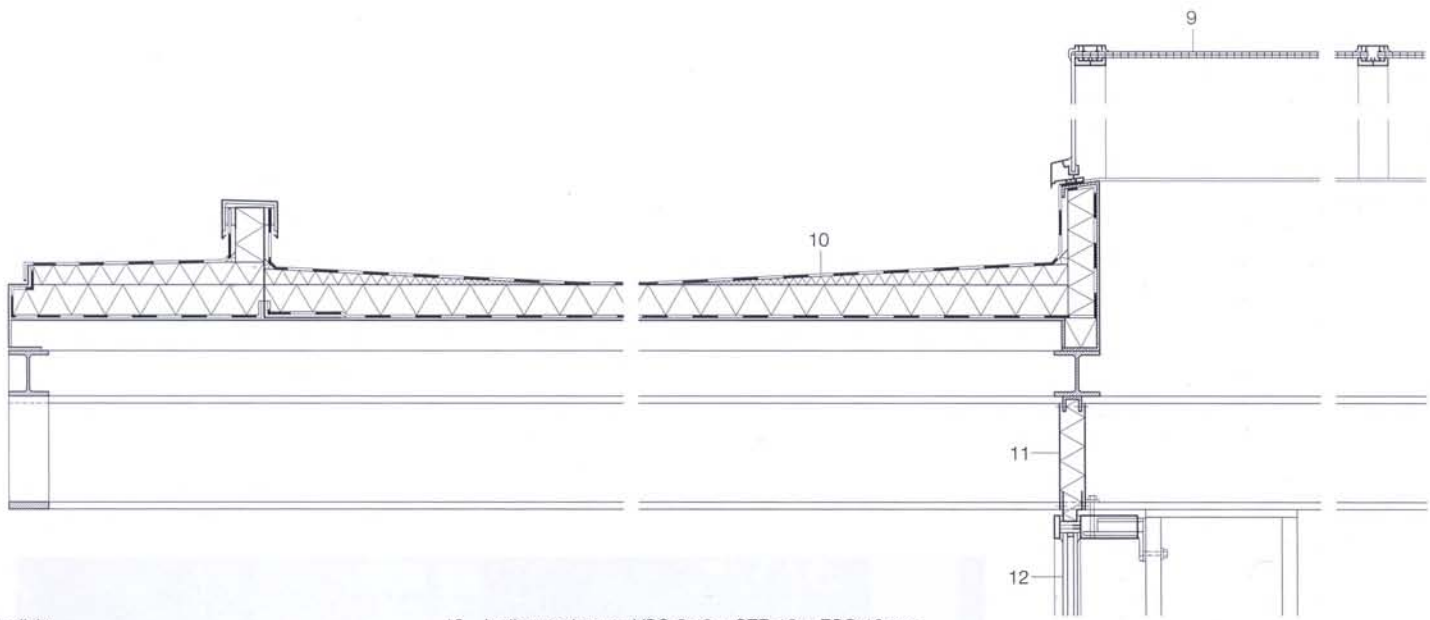
Lageplan
Maßstab 1:5000
Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:750
Horizontalschnitt • Vertikalschnitt
Maßstab 1:20

1 Kommissionierung
2 Technik
3 Sprinklerzentrale
4 Brücke zum Versandgebäude
5 Hochregallager
6 Eingang
7 Anlieferung
8 WC

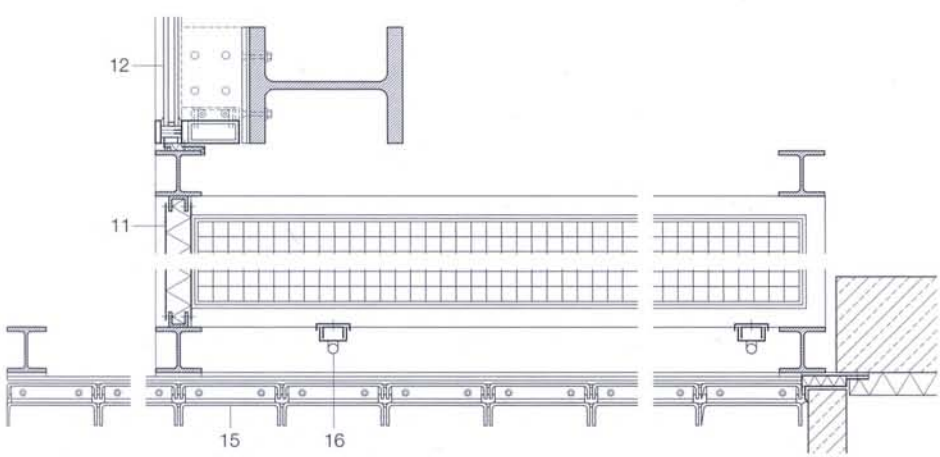




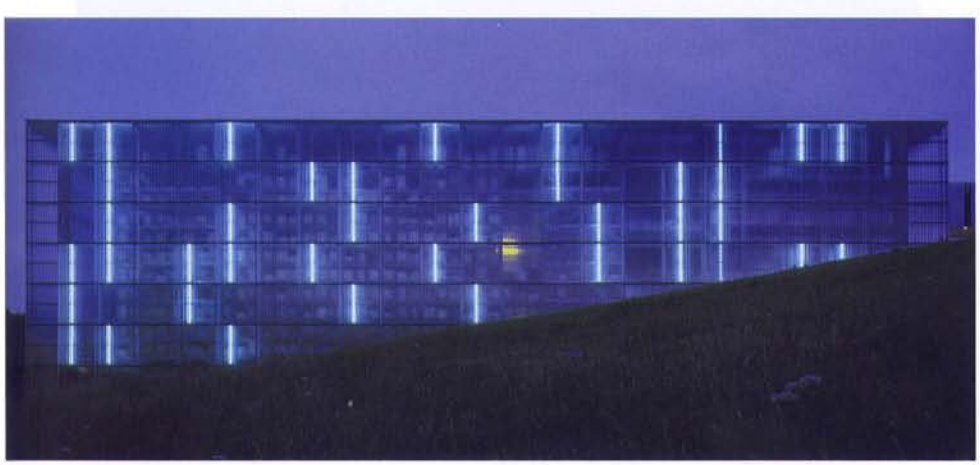


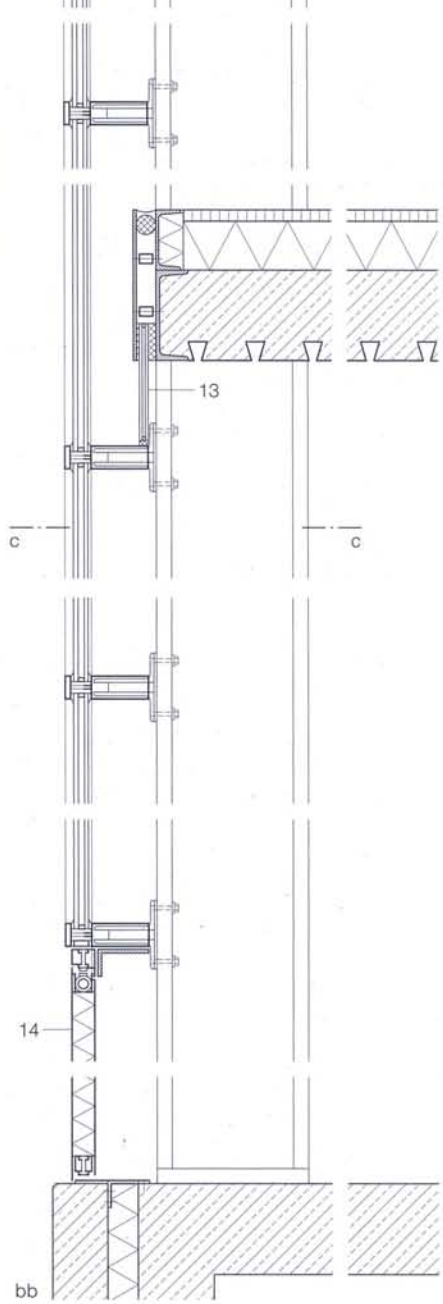


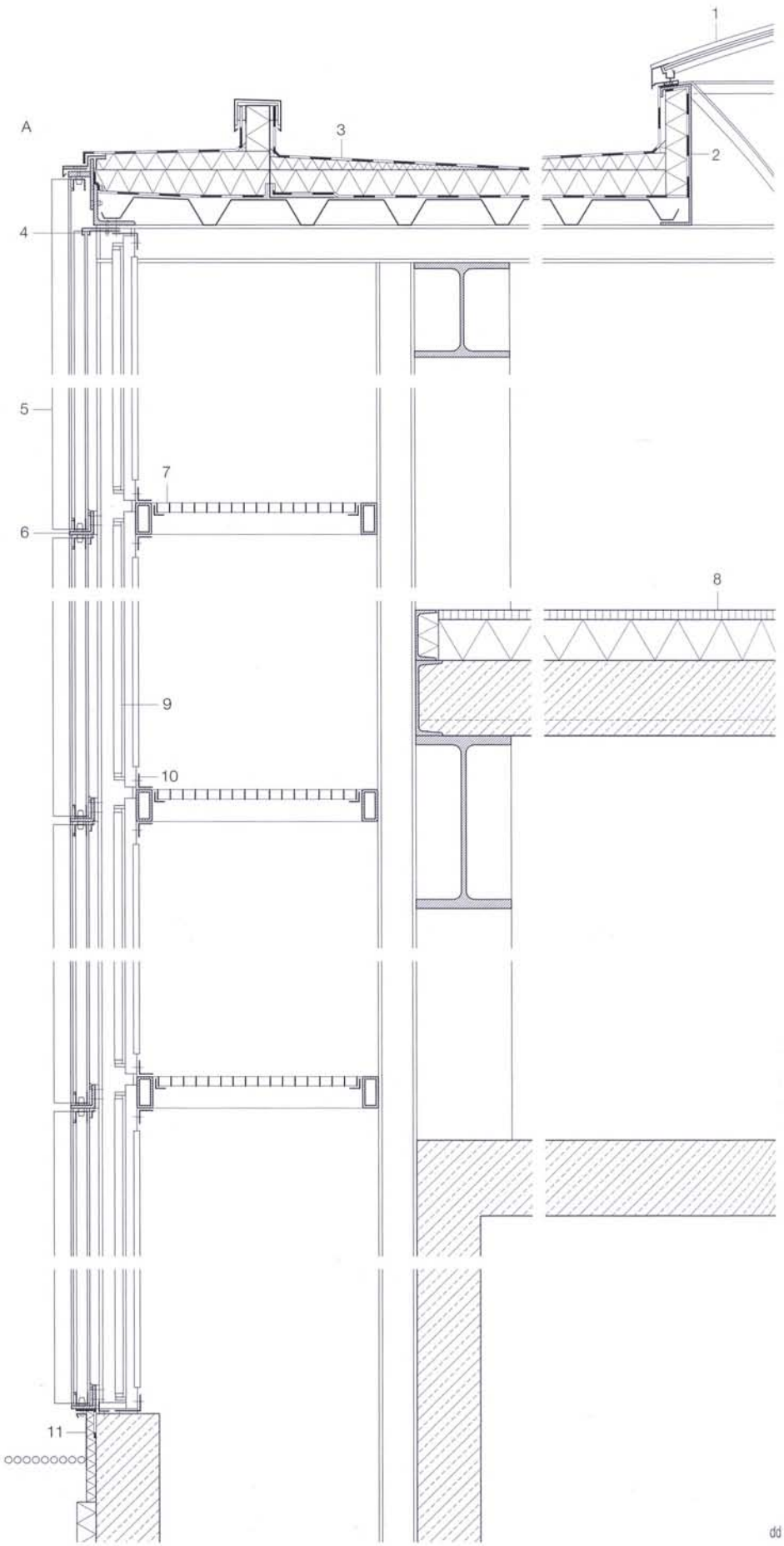
9 Oberlicht:
Polycarbonat Doppelstegplatte 16 mm
10 Dachaufbau:
Dichtungsbahn Polyolefin 2 mm
Wärmedämmung Mineralwolle 80–120 mm,
2 % Gefälle
Dampfsperre
Trapezblech 80/307 mm
Stahlprofil HEA 120
Stahlprofil HEA 300
11 Stahlblech 2 mm
Wärmedämmung 38 mm
12 Isolierverglasung VSG 2× 6 + SZR 16 + ESG 10 mm,
Vertikalfugen silikonversiegelt, Horizontalfugen
mit Deckleisten Aluminium 60/20 mm
Pfosten-Riegel-Fassade Aluminium ▱ 150/60 mm
Stütze Stahlprofil HEM 400
13 Rauchschutzverglasung
14 Tür:
Stahlblech 3 mm
Wärmedämmung 54 mm
15 Profilbauglas 262/60/7 mm
Profilbauglas 262/41/6 mm
Stahlprofil mit Schutzanstrich HEB 120
16 Leuchtstoffröhre Ø 25 mm



cc

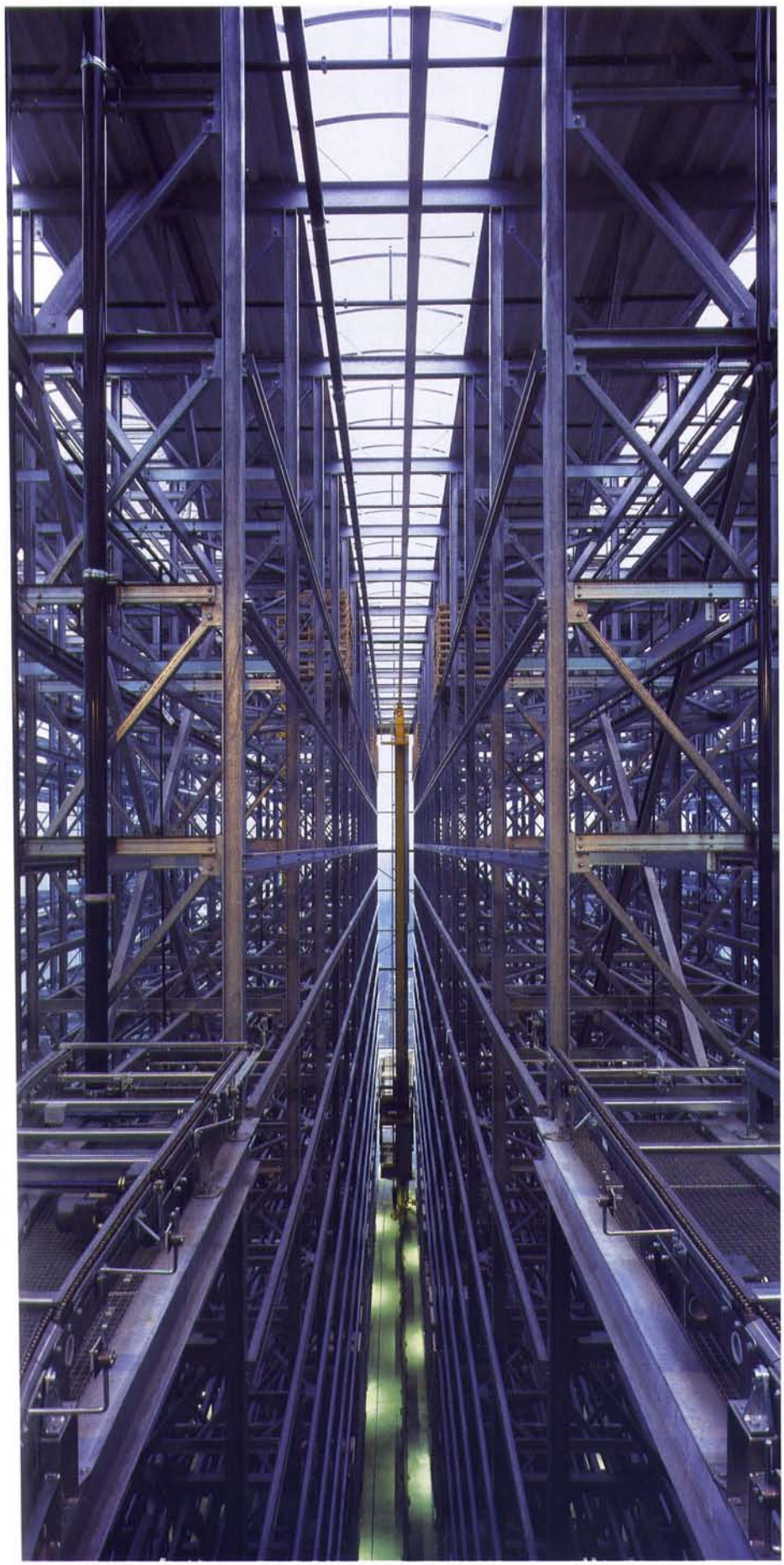


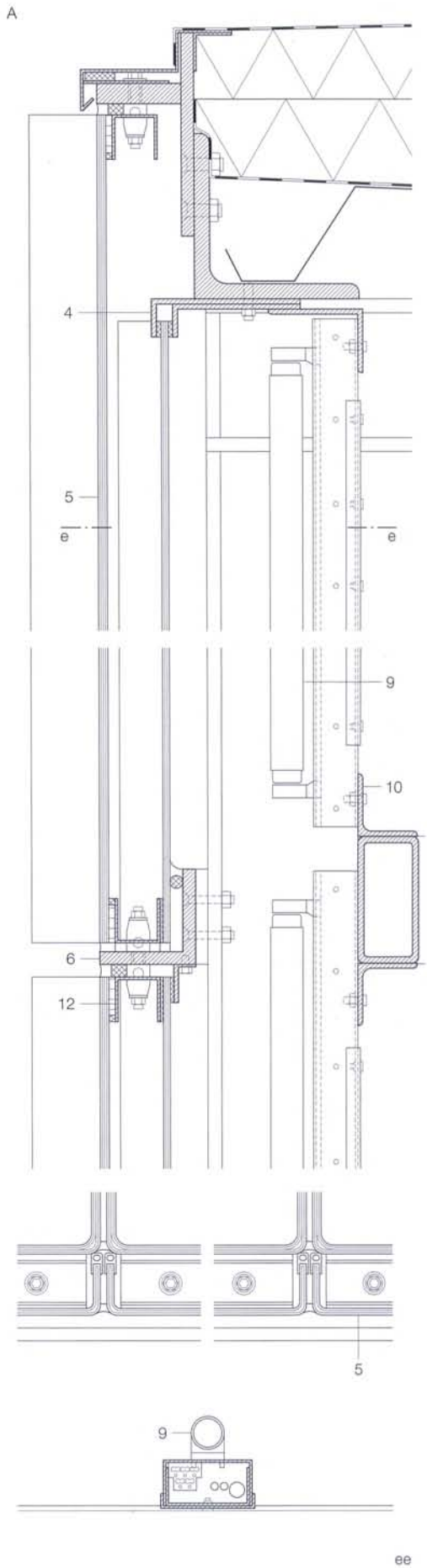




Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitte Fassade
Maßstab 1:5

1 Oberlicht:
Polycarbonat Doppelstegplatte 16 mm
2 Flachstahl gekantet 4 mm
3 Dachaufbau:
Dichtungsbahn Polyolefin einlagig 2 mm
Wärmedämmung Mineralwolle 80–120 mm,
5 % Gefälle
Dampfsperre
Trapezblech 80/307 mm
Stahlprofil HEB 120
4 Aluminiumblech gekantet
5 Profilbauglas 262/60/7 mm
Profilbauglas 262/41/6 mm
Stahlprofil verzinkt HEB 120
6 Stahlprofil L 75/75 mm, Drehteil mit
Entlüftungsbohrung Aluminium Ø 8 mm
7 Wartungssteg:
Rahmen Stahlrohr ▱ 100/50 mm,
Gitterrost 30 mm
8 Bodenaufbau:
Schutzanstrich
Trägerplatte 30 mm
Wärmedämmung 120 mm
Stahlbeton 250 mm
Blech verzinkt 50 mm
9 Leuchtstoffröhre Ø 25 mm
10 Leuchtenhalterung Stahlprofil L 50/50 mm
11 Aluminiumblech gekantet 3 mm
Wärmedämmung wasserfest 30 mm




A
4
5
e
e
9
10
6
12
5
9
ee

Service-Center

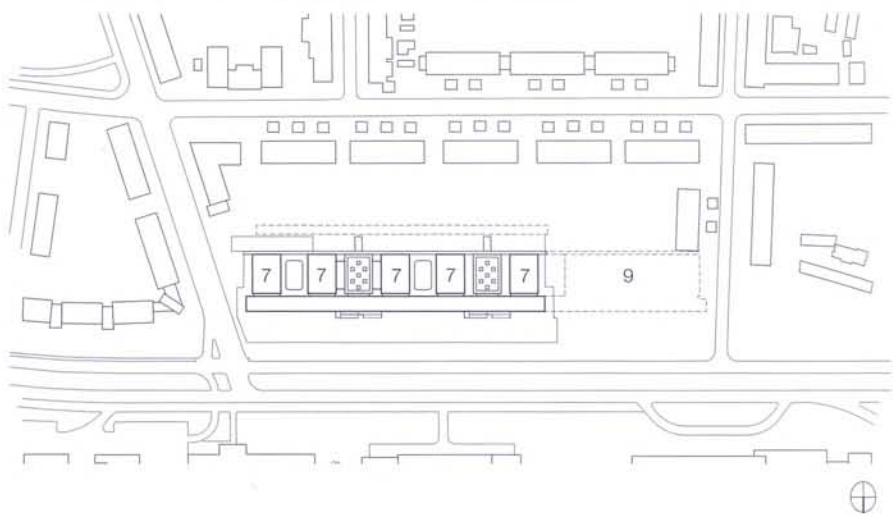
Ludwigshafen, D 2003

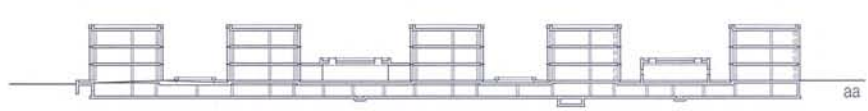
Architekten:
Allmann Sattler Wappner Architekten, München
Markus Allmann, Amandus Sattler, Ludwig Wappner
Mitarbeiter:
Marion Kalmer (Projektleitung), Melanie Becker, Christof Killius, Thomas Meusburger, Ulf Rössler
Tragwerksplanung:
Werner Sobek Ingenieure, Stuttgart

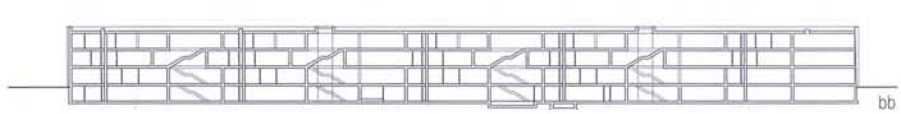
Die Neugestaltung des Brunckviertels, einer Arbeitersiedlung der BASF aus den 1930er-Jahren, ist eines der großen, zukunftsweisenden Projekte des firmeneigenen Wohnungsunternehmens. Sie bezogen zusammen mit der Betriebskrankenkasse hier ihr neues Dienstleistungs- und Service-Center.
Von der stark befahrenen Brunckstraße nimmt man ein lang gestrecktes, schimmerndes Gebäude wahr, das im Kontrast zur übrigen kleinteiligen Bebauung steht. Nicht erkennbar ist dagegen die differenzierte Struktur, die sich hinter der dreigeschossigen Fassade verbirgt. Der nördliche Gebäudeteil beherbergt die Nebenräume und fungiert als Lärmbarriere für die dahinter liegenden sensibleren Bereiche. Fünf Büromodule in Ost-West-Orientierung schließen an die Querspange an, dazwischen liegen begrünte Atrien und eingeschossige Hallen, die als Kundenbereich dienen.
Besondere Sorgfalt verwendeten die Architekten auf die Fassadengestaltung, bei der sie mit Massivität, Transparenz und Reflexion spielen. Den überwiegenden Teil der langen Nordfassade und der Stirnseiten bedeckt eine weiße, reflektierende Schicht, in der sich die Alleebäume spiegeln. Bei genauerer Betrachtung löst sich die Fläche in zahllose kleine Glasfliesen auf. Die rückseitig emaillierten, zweistufig gebrannten Fliesen kamen als 30 × 30 cm große Verbände auf Netzen vorfixiert an die Baustelle. Dort erfolgte die Verklebung auf armierte Trägerplatten aus Blähglasgranulat, die ein ähnliches Ausdehnungsverhalten aufweisen. Um das homogene Gesamtbild nicht zu stören, wurden die in Abständen von 1,50 m integrierten 2 mm schmalen Dehnfugen farblich angeglichen und besandet, so dass sie sich im Verschmutzungsverhalten an die normalen Fugen annähern.
Während die gefliesten Bereiche monolithisch erscheinen, wirken die verglasten Fassadenflächen transparent. Sie lassen filigrane Treppenläufe im Innern erkennen, des Nachts in Gelbgrün getauchte Räume und gewähren sogar einen Durchblick in den rückseitigen Park.

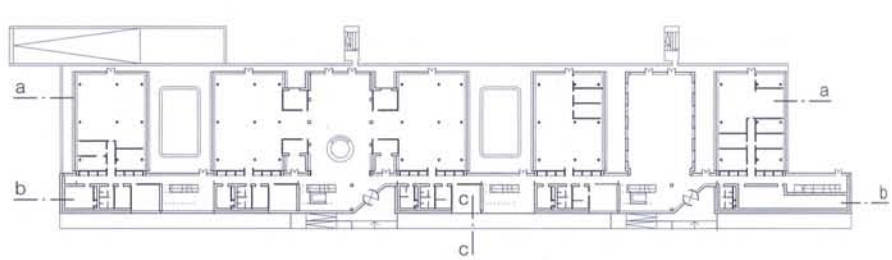
Lageplan
Maßstab 1:4000
Grundriss • Schnitte
Maßstab 1:1500
Horizontalschnitt
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20

1 Archiv
2 Besprechungsraum
3 Kundenhalle
4 Teeküche
5 Sozialraum
6 Lager
7 Büromodul
8 Atrium
9 2. Bauphase

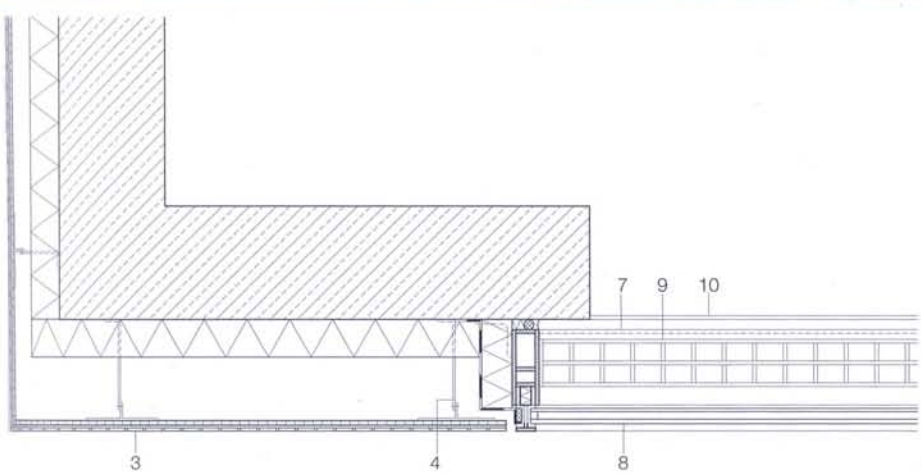




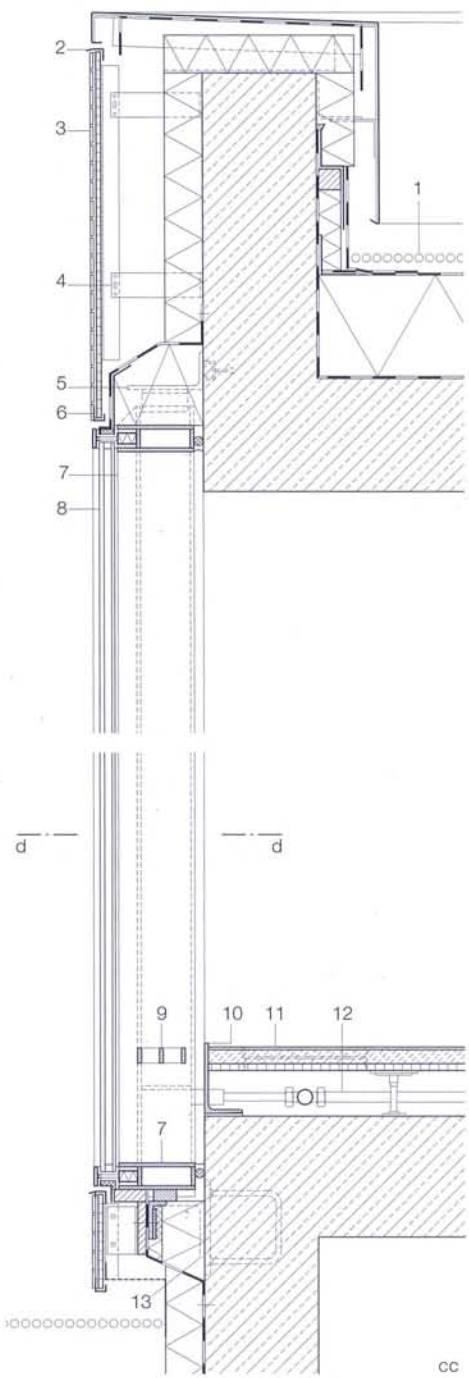




1 Dachaufbau:
Kiesschüttung 50 mm
Dachdichtungsbahn 3 mm
Wärmedämmung
Hartschaum im Gefälle mind. 70 mm
Dampfsperre
bituminöser Anstrich
Stahlbetondecke 320 mm
2 Regenabweisprofil Edelstahl
3 Wandaufbau:
Glasfliesen rückseitig emailliert,
2-stufig gebrannt 48/48/8 mm,
Fugenmaterial weiß
Armierungsputz auf
Glasfasergewebe 2 mm
Fassadenplatte Blähglasgranulat 12 mm
Tragprofil Aluminium T 200/40/3 mm
Hinterlüftung 165 mm
Wärmedämmung 100 mm
Stahlbeton 300 mm
4 Wandhalter Aluminium L 160/45/3 mm
5 Stahlprofil L 200/100/10 mm
6 Kantenschutzprofil Edelstahl
7 Pfosten-Riegel-Konstruktion
aus Stahlprofilen
wasserdurchströmt zur
integrierten Heizung/Kühlung
□ 2× 200/10 mm und 2× 50/10 mm
8 Isolierverglasung in Stahlrahmen
9 Gitterrost Stahl 40 mm
10 Stahlprofil L 200/100/10 mm,
auf 185 mm geschnitten
11 Bodenaufbau:
Teppichboden 5 mm
Holzwerkstoffplatte 40 mm
Holzwerkstoffplatte
gipsgebunden mit
Gewebeeinlage 18 mm
Bodenplatte Stahlbeton 320 mm
12 Vor-/Rücklauf
Fassadenheizung/-kühlung
13 Stahlprofil L 150/150/12 mm



dd



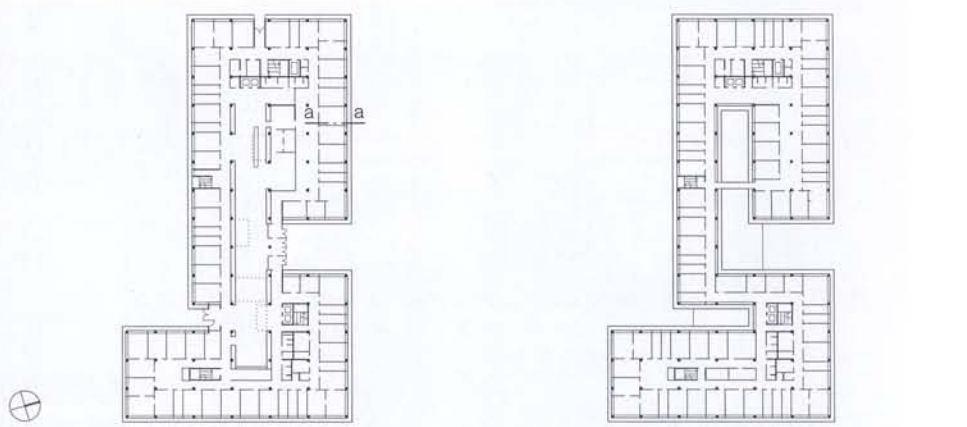
cc

Versicherungsgebäude

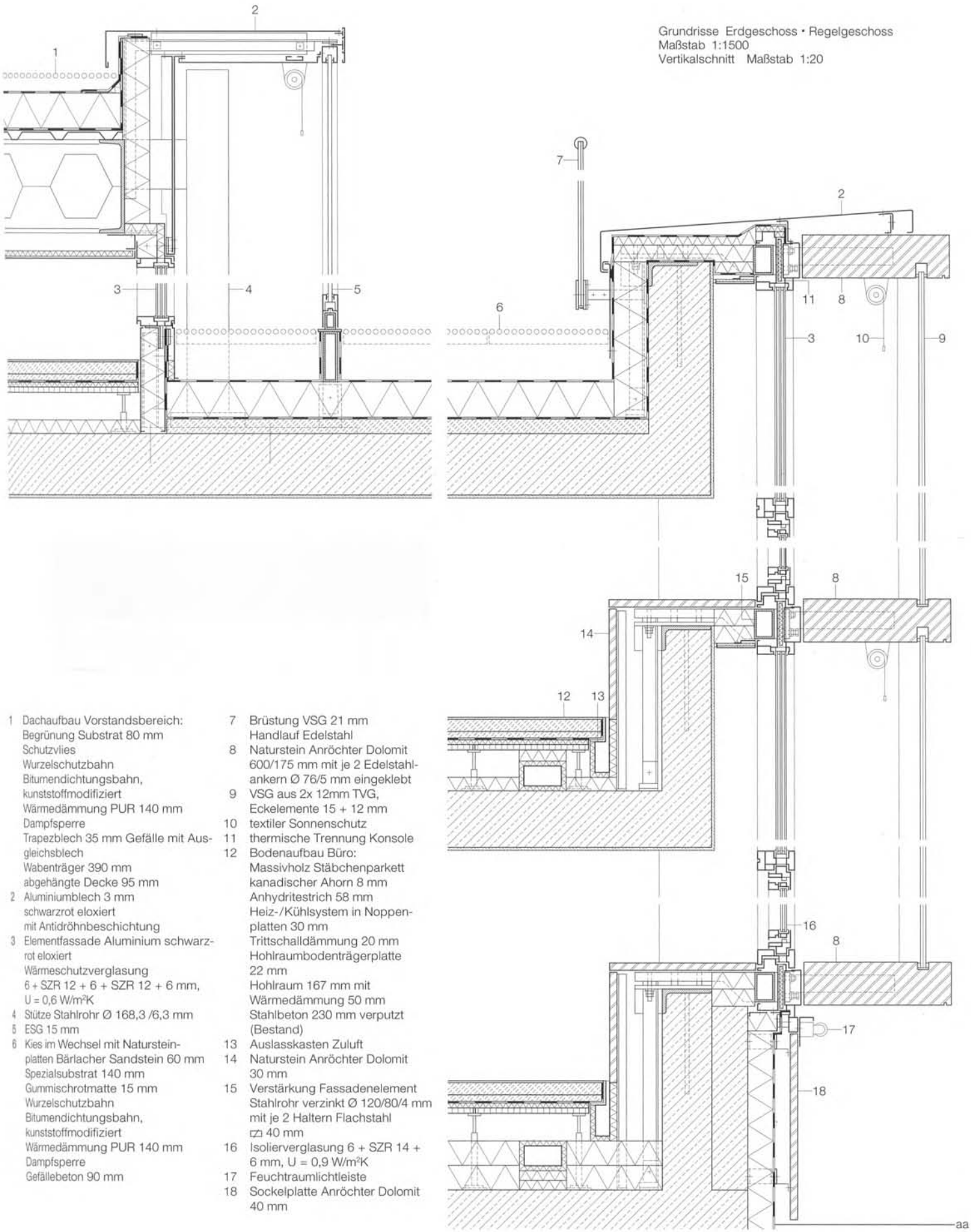
München, D 2002

Architekten:
Baumschlager & Eberle, Vaduz
Projektleiter:
Eckehart Loidolt, Christian Tabernigg
Mitarbeiter:
Marlies Sofia, Elmar Hasler, Alexia Monauni, Marc Fisler, Bernhard Demmel
Tragwerksplanung:
FSIT Friedrich Straß, München

In der Gedonstraße, die zu einem attraktiven Münchener Wohn- und Geschäftsviertel gehört, spiegeln sich seit kurzem die gründerzeitlichen Stuckfassaden in einer geschuppten Glaswand, die ihre Umgebung je nach Blickwinkel und Lichteinfall verfremdet und dadurch als Baumasse unterschiedlich präsent erscheint.
Durch die vorgestellte Fassade wirkt das Gebäude wie ein Neubau, doch die übergeordnete Idee der Umbaumaßnahmen war, den Solitär eines bestehenden Stahlbetongebäudes aus den siebziger Jahren (kleines Bild oben, Architekten: Maurer, Denk, Mauder) aufzubrechen und über Wege- und Blickbeziehungen in die typische Schwabinger Staffelbebauung mit ihren zur Straße geöffneten Hinterhöfen einzufügen. Die Erweiterung des Gebäudes nach Süden betont die Ecksituation an der Königinstraße. Das oberste Geschoss wurde rückgebaut, die Brüstungen auf die statisch nötige Höhe abgetragen und verstärkt. Decken wurden herausgesägt und die dunkle Mittelzone des dreibündigen Stahlbetonriegels in einen offenen abgewinkelten Innenhof verwandelt, der den Baukörper zur Straße hin gliedert und den zurückgesetzten Haupteingang betont.
Die hoch gedämmte Fassade ist Bestandteil des Niedrigenergiekonzeptes dieser Gebäudesanierung und Voraussetzung für die Effizienz der kontrollierten Büroraumlüftung und -kühlung. Die Konsolen bestehen aus massivem Naturstein, der die äußere Glashaut trägt. Deren Statik musste in Prüfreihen experimentell nachgewiesen werden, da aufgrund von Einschlüssen keine verbindlichen Festigkeitswerte für den Stein volagen. Sollte dennoch ein Stein brechen, verhindert die elementübergreifende Anordnung der Gläser ein Abstürzen der Scheibe. Die Eckscheiben sollten zunächst über Punkthalterungen gegeneinander gesichert werden, schließlich reichte jedoch eine Erhöhung der Glasstärken aus.
Die Dreischeiben-Aluminiumfassade wurde als schnell zu versetzende Elementfassade entwickelt, in Abschnitten von 1,87^{5} m Breite auf die Baustelle geliefert und dort mit den Steinkonsolen versehen bevor das Element versetzt wurde. Die äußeren VSG-Scheiben wurden in die tiefere obere Steinnut geschoben und in der passgenauen unteren Nut abgestellt.



Grundrisse Erdgeschoss · Regelgeschoss
Maßstab 1:1500
Vertikalschnitt Maßstab 1:20



1 Dachaufbau Vorstandsbereich:
Begrünung Substrat 80 mm
Schutzvlies
Wurzelschutzbahn
Bitumendichtungsbahn, kunststoffmodifiziert
Wärmedämmung PUR 140 mm
Dampfsperre
Trapezblech 35 mm Gefälle mit Ausgleichsblech
Wabenträger 390 mm
abgehängte Decke 95 mm

2 Aluminiumblech 3 mm schwarzrot eloxiert mit Antidröhnbeschichtung

3 Elementfassade Aluminium schwarzrot eloxiert
Wärmeschutzverglasung 6 + SZR 12 + 6 + SZR 12 + 6 mm, U = 0,6 W/m²K

4 Stütze Stahlrohr Ø 168,3 /6,3 mm

5 ESG 15 mm

6 Kies im Wechsel mit Natursteinplatten Bärlacher Sandstein 60 mm
Spezialsubstrat 140 mm
Gummischrotmatte 15 mm
Wurzelschutzbahn
Bitumendichtungsbahn, kunststoffmodifiziert
Wärmedämmung PUR 140 mm
Dampfsperre
Gefällebeton 90 mm

7 Brüstung VSG 21 mm
Handlauf Edelstahl

8 Naturstein Anröchter Dolomit 600/175 mm mit je 2 Edelstahlankern Ø 76/5 mm eingeklebt

9 VSG aus 2x 12mm TVG, Eckelemente 15 + 12 mm

10 textiler Sonnenschutz

11 thermische Trennung Konsole

12 Bodenaufbau Büro:
Massivholz Stäbchenparkett kanadischer Ahorn 8 mm
Anhydritestrich 58 mm
Heiz-/Kühlsystem in Noppenplatten 30 mm
Trittschalldämmung 20 mm
Hohlraumbodenträgerplatte 22 mm
Hohlraum 167 mm mit Wärmedämmung 50 mm
Stahlbeton 230 mm verputzt (Bestand)

13 Auslasskasten Zuluft

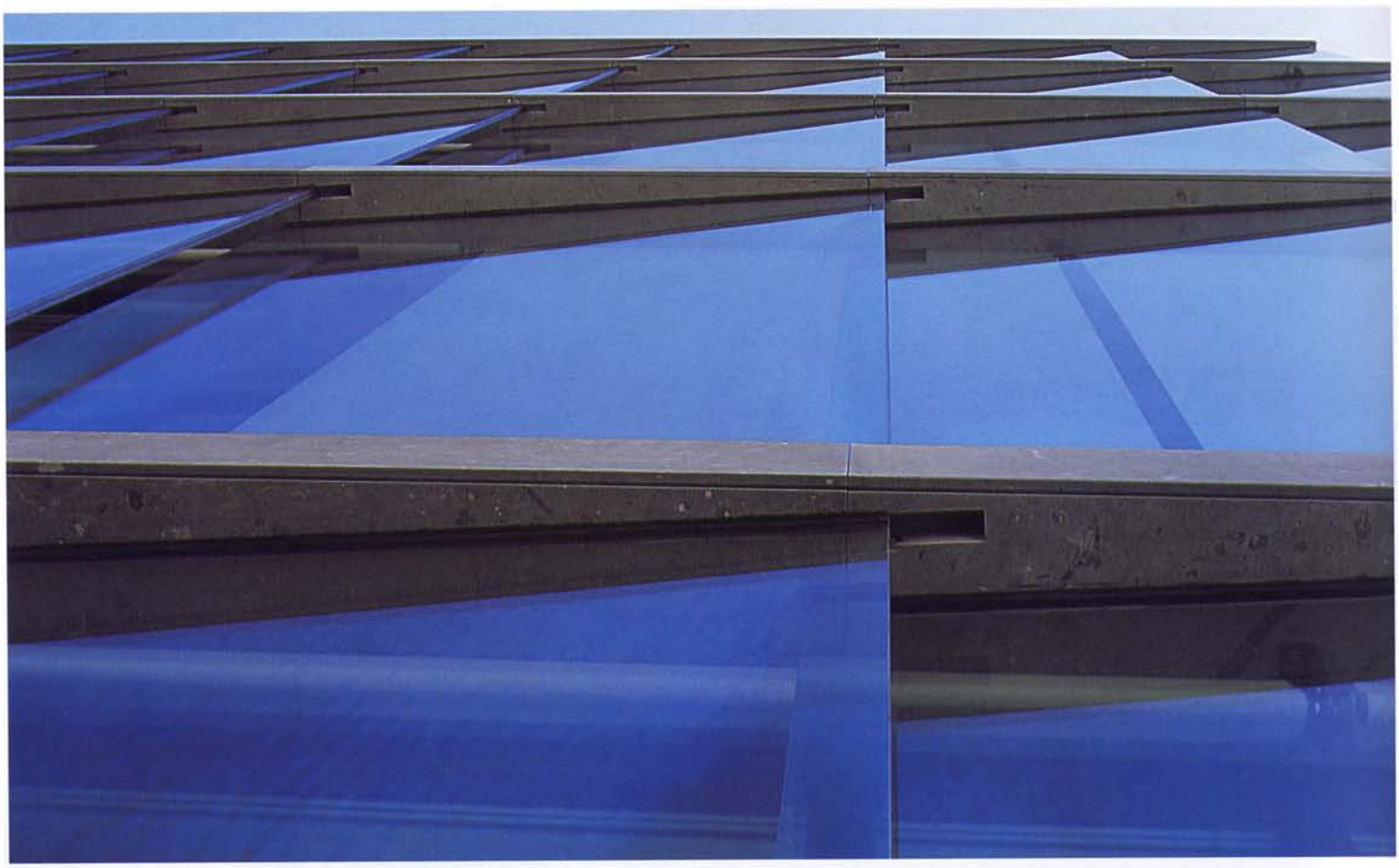
14 Naturstein Anröchter Dolomit 30 mm

15 Verstärkung Fassadenelement Stahlrohr verzinkt Ø 120/80/4 mm mit je 2 Haltern Flachstahl ▱ 40 mm

16 Isolierverglasung 6 + SZR 14 + 6 mm, U = 0,9 W/m²K

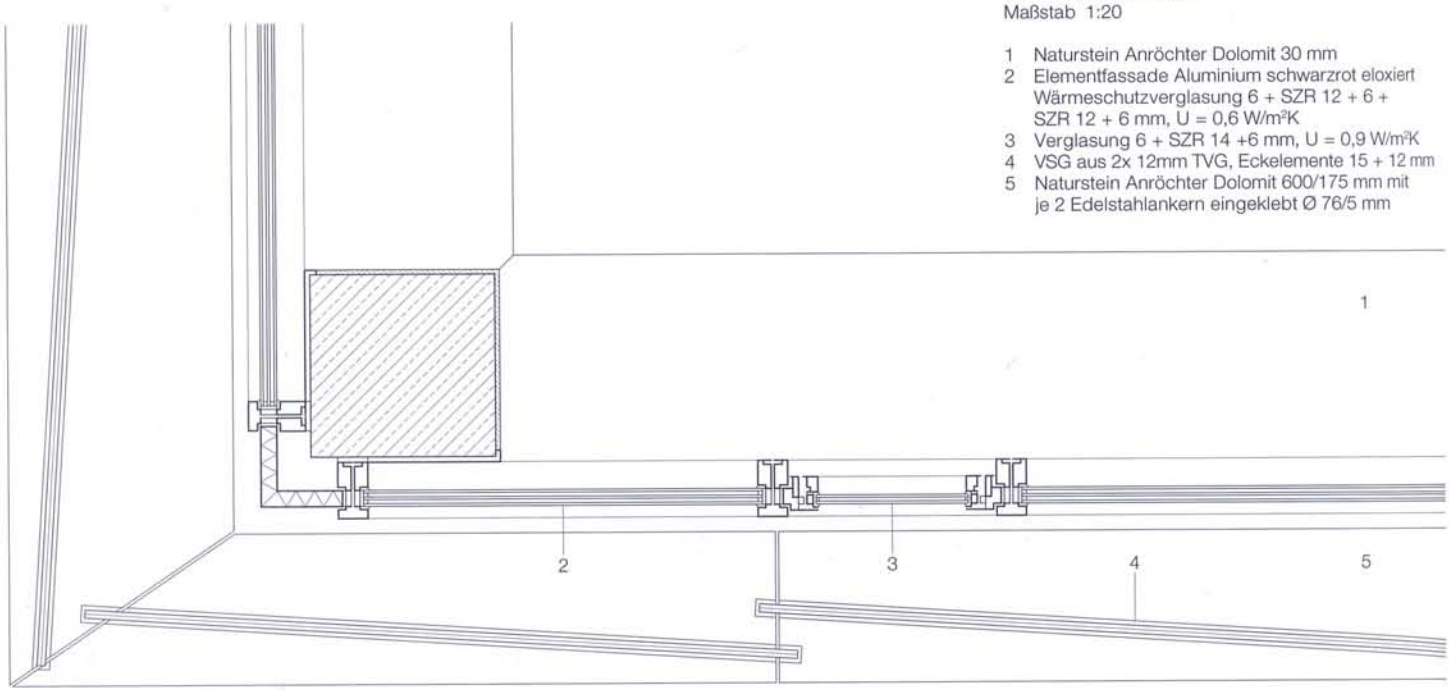
17 Feuchtraumlichtleiste

18 Sockelplatte Anröchter Dolomit 40 mm



Horizontalschnitt Ecke
Maßstab 1:20

1 Naturstein Anröchter Dolomit 30 mm
2 Elementfassade Aluminium schwarzrot eloxiert
Wärmeschutzverglasung 6 + SZR 12 + 6 +
SZR 12 + 6 mm, U = 0,6 W/m²K
3 Verglasung 6 + SZR 14 +6 mm, U = 0,9 W/m²K
4 VSG aus 2x 12mm TVG, Eckelemente 15 + 12 mm
5 Naturstein Anröchter Dolomit 600/175 mm mit
je 2 Edelstahlankern eingeklebt Ø 76/5 mm

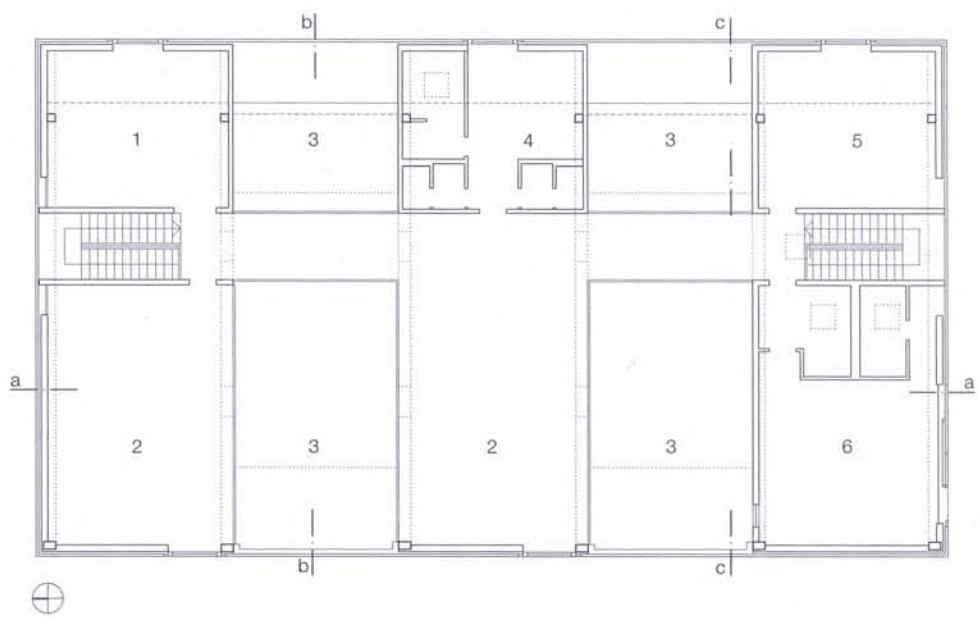


Druckereigebäude

München, D 2000

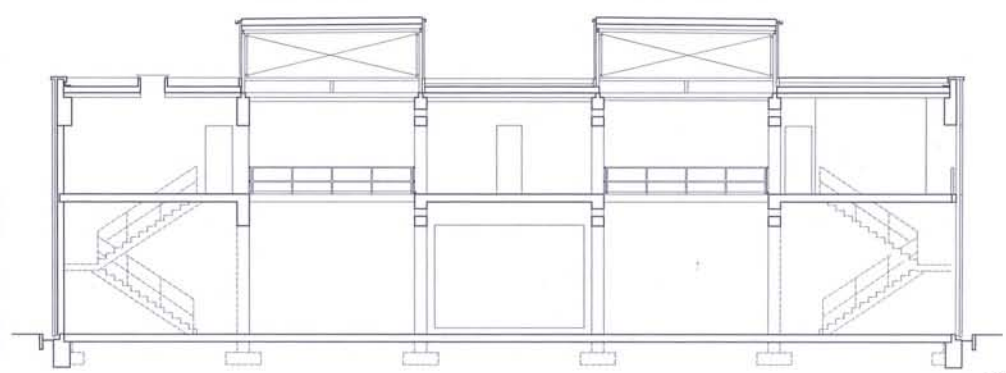
Architekten:
Amann & Gittel Architekten, München
Ingrid Amann und Rainer Gittel
Mitarbeiter:
Christian Hartranft
Tragwerksplanung:
Ingenieur Werner Seibt, Kaufbeuren

Gewerbebau als architektonische Aufgabe ernst zu nehmen, war die Zielsetzung bei diesem Gebäude in der Neuen Messestadt Riem. Der klare Baukörper springt auf einer Längsseite des Erdgeschosses zurück, so dass sich ein gedeckter Außenbereich für Eingang und Anlieferung ergibt. Das äußere Erscheinungsbild der Fassaden ist geprägt von der einheitlichen, glatten Oberfläche aus Profilbauglas mit flächenbündig eingesetzten großformatigen Fensterelementen. Für die innere Schale kam grün schimmerndes, für die äußere Schale bläuliches Glas zur Anwendung. Diese irisierend wirkende, transluzente Hülle überlagert die strenge Geometrie der Stahlbetonkonstruktion. Dadurch wird die räumliche Konzeption der zweischiffigen Anordnung mit Galerieebene und wechselseitig offenen und geschlossenen Wandflächen erst im Inneren deutlich. Bis zu den Oberlichtern offene Hallen wechseln mit ein- oder zweigeschossigen Bereichen ab. Helles, blendungsfreies Licht, wie es für die Produktion von hochwertigen Druckerzeugnissen notwendig ist, dringt über die Oberlichtkränze bis in die Tiefe des Raumes. Die naturbelassenen Betonfertigteile wurden im Werk mit unterschiedlichen Texturen versehen und reagieren je nach Oberflächenbehandlung – flügelgeglättet, handgeglättet oder schalungsrau – jeweils unterschiedlich auf den gezielt geplanten Lichteinfall. Durch die Reduktion auf wenige, einfach gefügte Materialien und die Verwendung vorgefertigter Bauteile konnten die kurze Bauzeit von zweieinhalb Monaten und der knapp gesteckte Kostenrahmen eingehalten werden.



Grundriss Galeriegeschoss • Schnitt
Maßstab 1:250

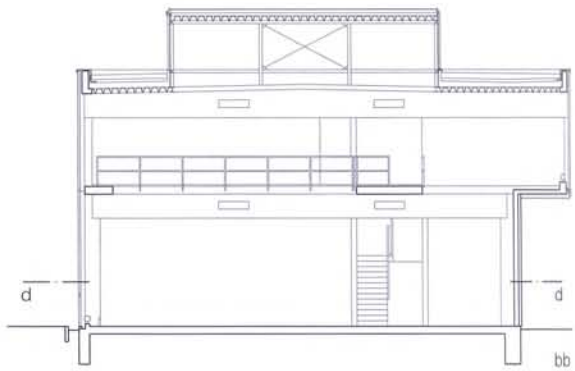
1 Montageraum
2 Galerie Druckerhalle
3 Luftraum Druckerhalle
4 Personalraum
5 Verwaltung
6 Büro Geschäftsführung

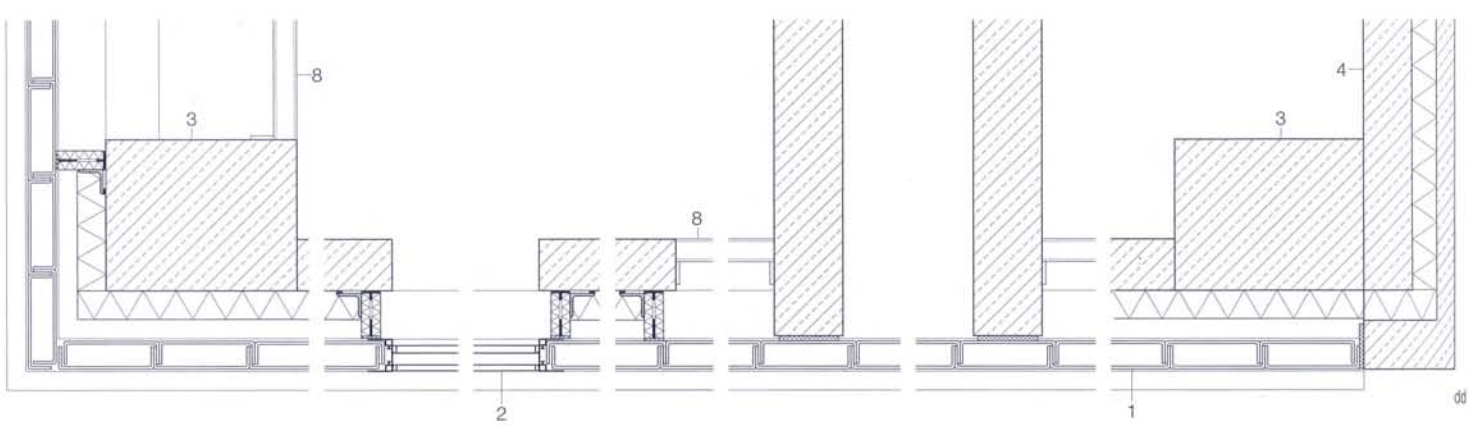


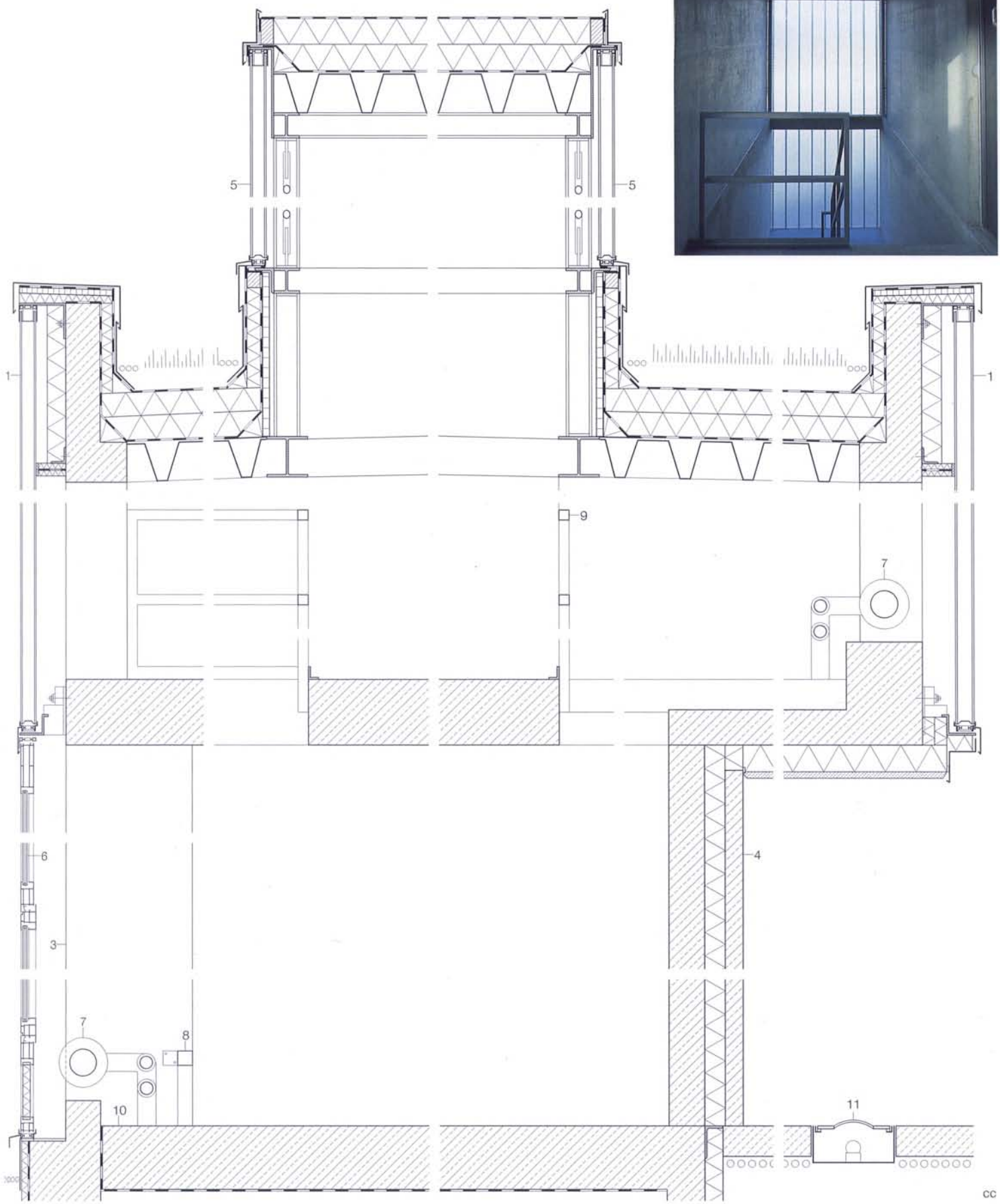
aa

Schnitt
Maßstab 1:250
Horizontalschnitt •
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20

1 Profilbauglas doppelschalig 83 mm
außen Blauglas 7 mm
innen Wärmeschutzglas grün 7 mm
Hinterlüftung 50 mm
Wärmedämmung Holzwolle-
Leichtbauplatte 75 mm, grau
Stahlbetonfertigteil 140 mm
2 Lüftungslamellen Aluminium
3 Stahlbetonstütze 400/500 mm
4 Stahlbeton-Sandwichelement
5 Profilglas doppelschalig 60 mm
6 Aluminiumfenster mit
Sonnenschutzlamellen
im Scheibenzwischenraum
7 Stahlrippenheizung
8 Rammschutz Stahlrohr ⍁ 60/60 mm
9 Geländer Stahlrohr ⍁ 40/40 mm
10 Ortbetondecke 250 mm
mit Hartkorneinstreuung
11 Bodeneinbauleuchte Ø 300 mm





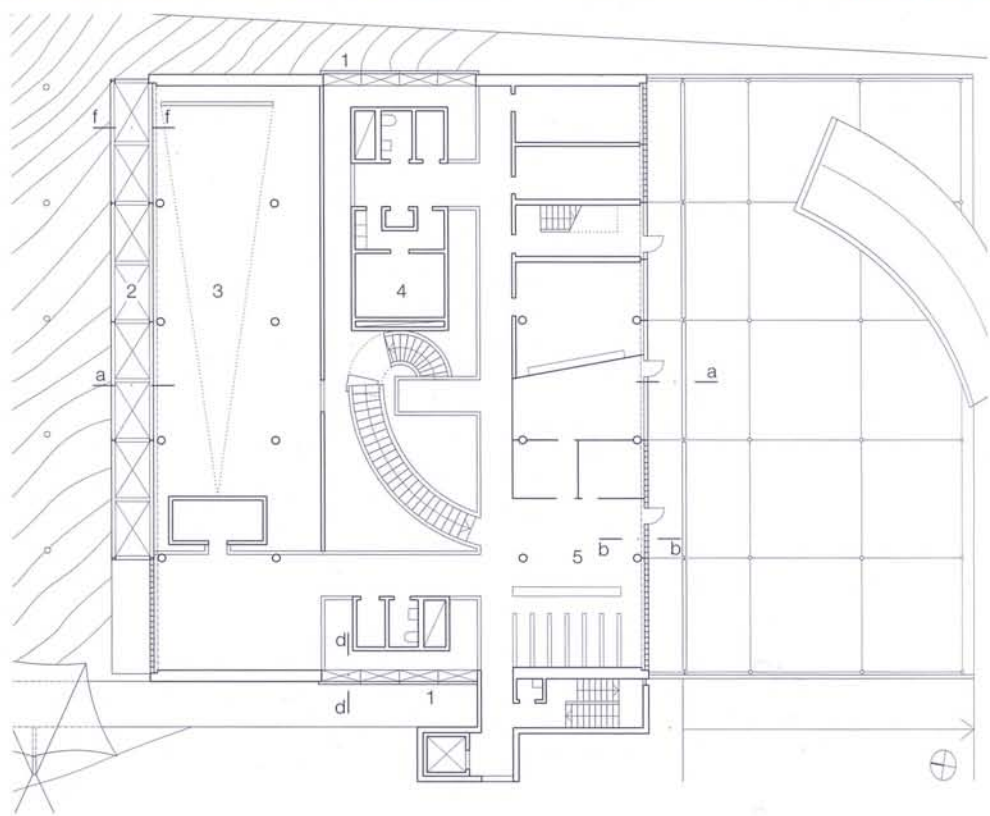

5
5
1
1
9
7
6
4
3
7
8
10
11
cc

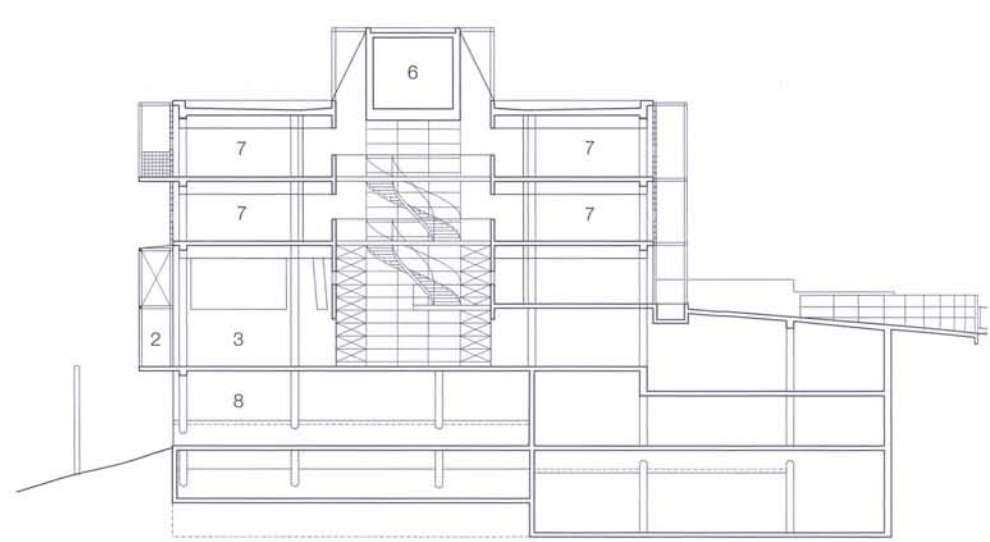
Finnische Botschaft

Washington, USA 1994

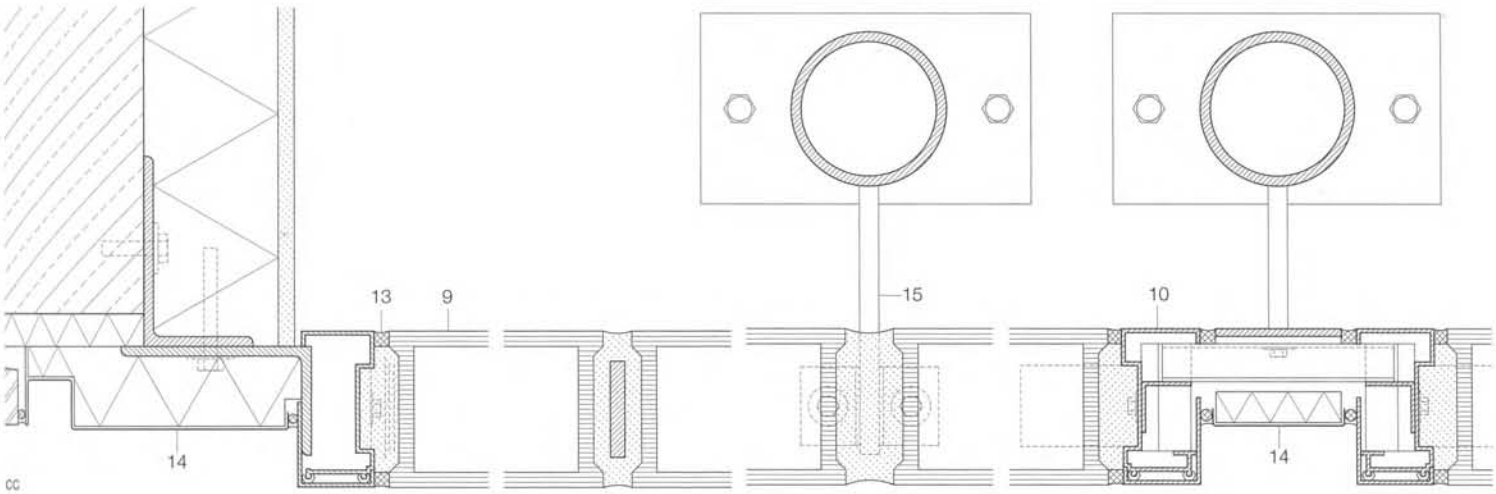
Architekten:
Mikko Heikkinen, Markku Komonen, Helsinki
Projektleiterin:
Sarlotta Narjus
Partnerbüro:
Angelos Demetriou & Associates, Washington
Projektleiter:
Eric Morrison
Tragwerksplanung:
Smislova, Kehnemui & Associates, Washington
Matti Ollila, Finnland

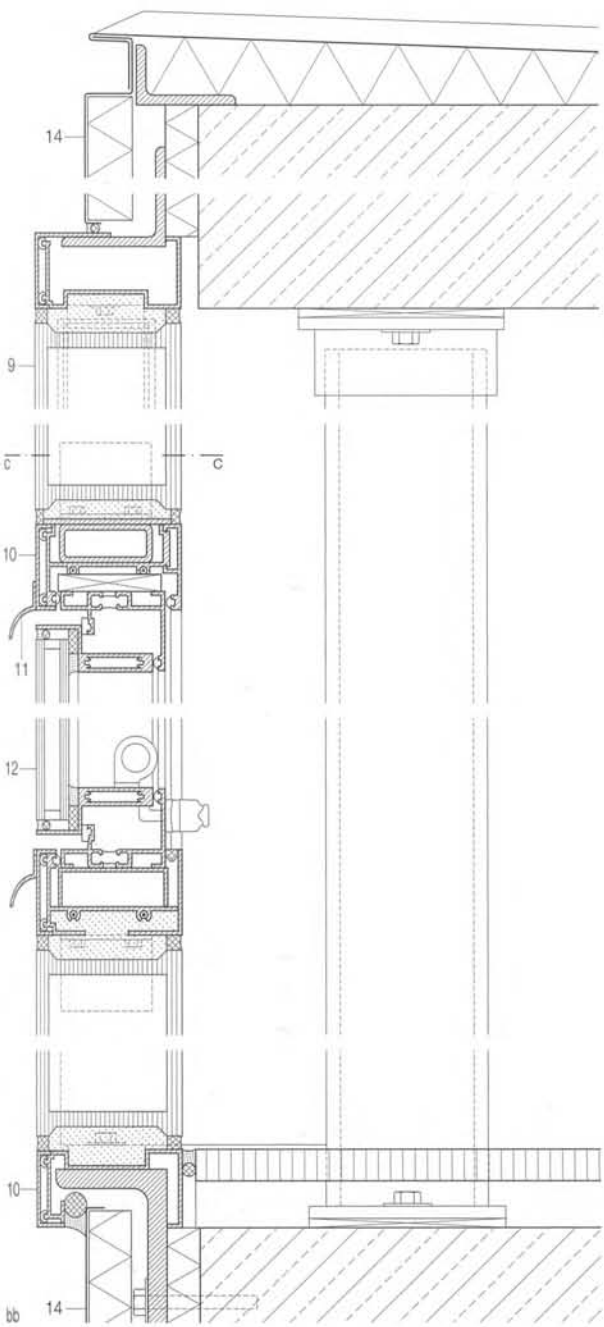
Die diplomatische Vertretung Finnlands befindet sich im Herzen des Washingtoner Botschaftsbezirks in unmittelbarer Nachbarschaft zur Residenz des US-Vizepräsidenten. Das knapp 5000 m² große Hanggrundstück am Rande eines Parks weist einen beachtenswerten Baumbestand mit über 20 unterschiedlichen Arten auf. Mit Rücksicht auf die umgebende Natur ist das Gebäude in seiner Grundform bewusst schlicht und mit geringem Flächenverbrauch konzipiert. Es beherbergt Büro- und Konferenzräume für etwa 50 Mitarbeiter, eine kleine Bibliothek und einen sich über zwei Geschosse erstreckenden Festsaal. Eine zentrale Erschließungszone, gegliedert durch Treppen, Rampen und Stege, durchzieht den Baukörper in Längsrichtung. Über Oberlichter werden die Halle und Flure mit Tageslicht versorgt.
Die Schmalseiten des Gebäudes sind mit moosgrünem, poliertem Granit verkleidet. Sie korrespondieren farblich mit dem Grün der Bäume, aber auch mit den angrenzenden transparenten Fassaden aus grün getöntem Glas. Die streng gerasterten Außenwände des Bürotrakts aus transluzenten Glassteinen und schmalen Fensterbändern erzeugen eine reizvolle Atmosphäre im Inneren und ermöglichen, trotz dichter Begrünung, eine ausreichende Belichtung. Der unter dem Bürotrakt liegende, ausgesprochen filigran ausgebildete Wintergarten vor dem Festsaal ist einfachverglast, die Scheiben sind mit Edelstahl-Punkthaltern fixiert. Die bei einem Botschaftsgebäude erforderliche durchschusshemmende Fassade konnte hier nach innen als Raumabschluss des Saales gelegt werden. Bei den hinterspannten Fassaden der Glaserker an den Stirnseiten hingegen gibt es diese innere Ebene nicht. Aus diesem Grund sind die schweren, 36,5 mm dicken Isolierglastafeln hier in stabile Rahmen aus Bronzewinkeln geklebt. Die Südseite des Gebäudes wird von dem Motiv der Fassadenschichtung geprägt. Ein vorgestelltes Gitter aus patinierter Bronze dient als Rankgerüst für Laub abwerfende Kletterpflanzen und bildet einen einfachen natürlichen Sonnenschutz, der sich im Wechsel der Jahreszeiten verändert.





aa

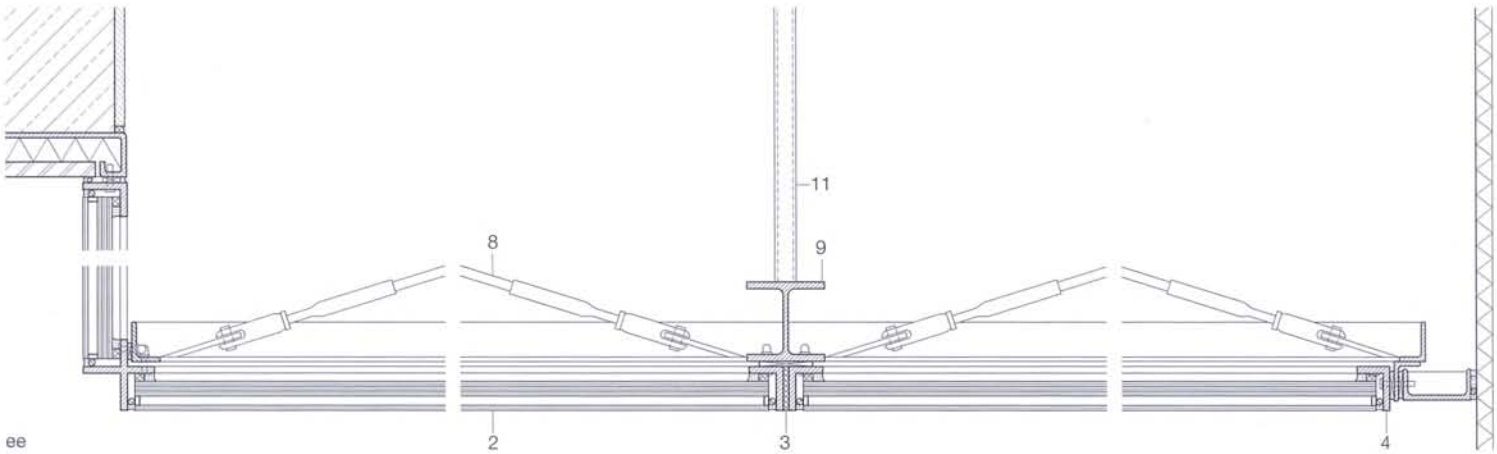




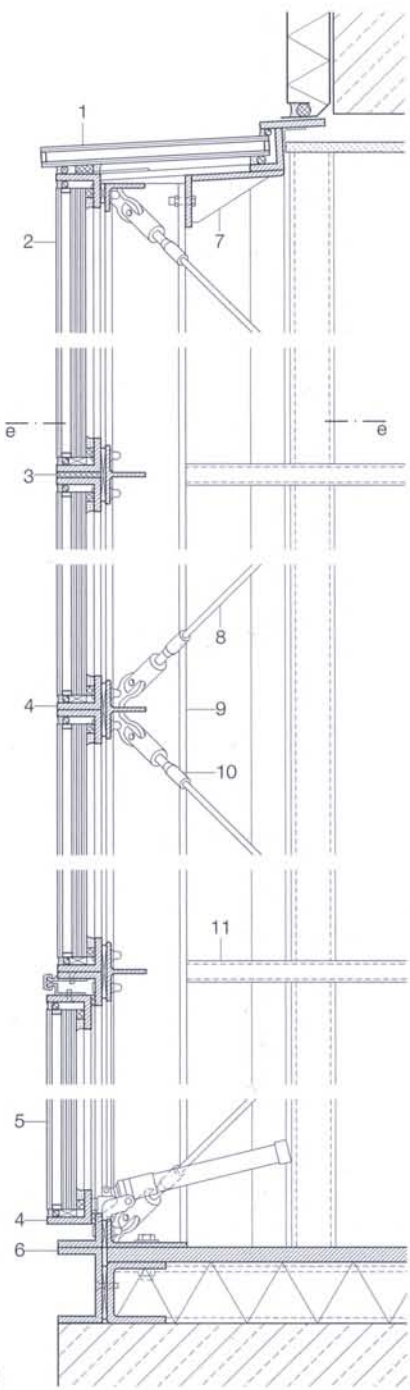
Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:400
Detailschnitte
Glassteinfassade
Maßstab 1:5

1 Glaserker
2 Wintergarten
3 Finnland-Saal
4 Besprechungsraum
5 Foyer
6 Technik
7 Büro
8 Parkgarage

9 Glasbaustein
10 Abdeckprofil Bronze aufgeclipst
11 Tropfnase Bronze
12 Öffnungsflügel Isolierverglasung geklebt
13 dauerelastische Verfugung
14 Kupferpaneel
15 Stahlanker



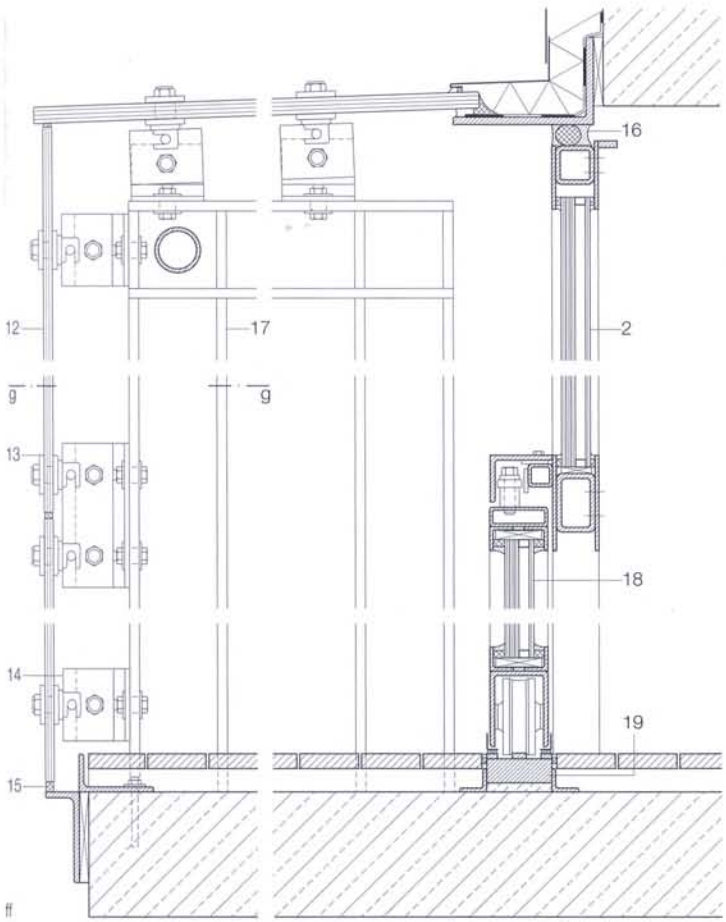
ee

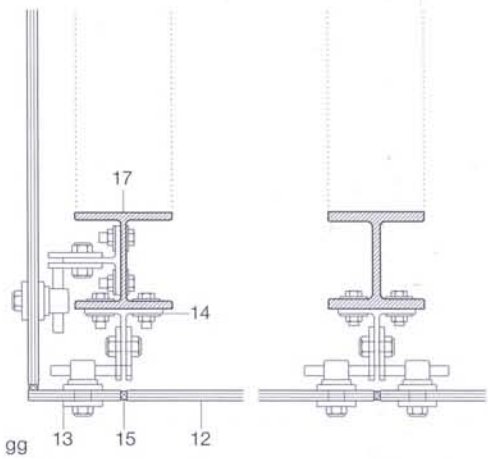


dd

Detailschnitte
Glaserker • Wintergarten
Maßstab 1:10

1 Isolierverglasung 26 mm mit 3% Neigung
2 Isolierverglasung 36,5 mm durchschuss-hemmend
3 dauerelastische Dehnungsfuge
4 Bronzeprofil L
5 Öffnungsflügel Isolierverglasung 36,5 mm
6 Bronzeprofil U
7 Stahlkonsole
8 Stahlstab gestrichen Ø 95 mm
9 Stahlprofil
10 Spannschloss
11 Stahlrohr Ø 27 mm
12 VSG 12,7 mm
13 Punkthalter
14 Stahlprofil T
15 Silikonverfugung
16 dauerelastische Verfugung auf Fugenprofil
17 Stahlprofil HEA 140
18 Glasschiebetür mit Isolierverglasung 36,5 mm durchschuss-hemmend
19 Stahlplatte


16
12
17
2
g
g
13
18
14
19
15
ff

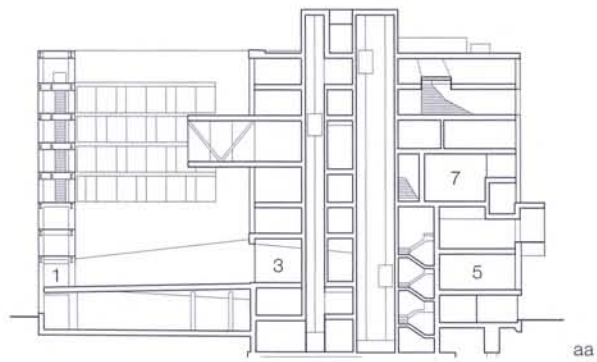

17
14
gg
13
15
12

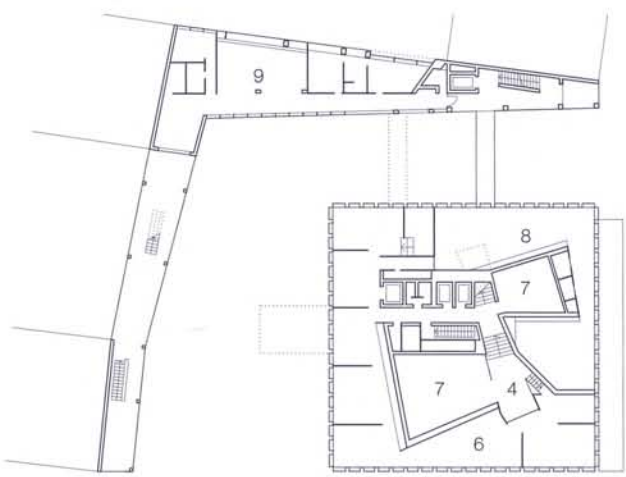
Niederländische Botschaft

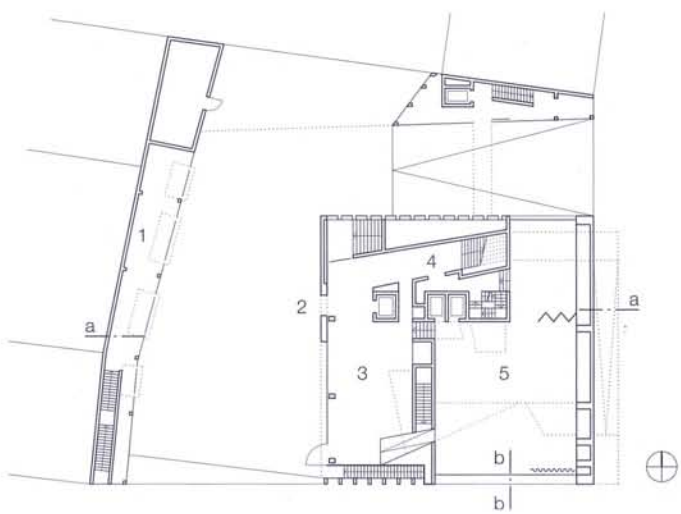
Berlin, D 2003

Architekten:
OMA, Office for Metropolitan Architecture,
Rem Koolhaas, Rotterdam
Projektpartner:
Ellen van Loon, Erik Schotte
Projektleiter:
Michelle Howard, Gro Bonesmo
Tragwerksplaner:
Royal Haskoning, Rotterdam
Arup, Berlin

Die Vertretung der Niederlande strahlt Offenheit aus – als Zeichen für die guten Beziehungen zum Nachbarland und als Reminiszenz an die calvinistische Tradition unverhüllter Fenster. Die Niederländer haben ein Umfeld an der Spree mit Blick auf Lastkähne und Uferpromenaden gewählt, das ihnen von den Grachten her vertraut ist. Zur Stadt hin schließt die neue Bebauung den Berliner Block mit einem L-förmigen Gebäude, in dem Gästeappartements und Teile der Erschließung liegen. Mit diesem »dienenden« Gebäudeteil ist das eigentliche Botschaftsgebäude über Brücken und Rampen verbunden. Beschusshemmendes Glas wurde nur im Erdgeschoss verwendet. Die Büros der Obergeschosse sind mit einer elementierten Kastenfassade versehen, die die Abluft über die gesamte Gebäudehöhe nach oben führt. Um die Elemente der Gebäudeecken besser auszusteifen, wurden dort die Gläser als statisch wirksame Scheibe in die Rahmen geklebt. Die innen liegende VSG-Verglasung kann zur Reinigung geöffnet werden, schmale opake Öffnungsflügel zur Entrauchung befinden sich zwischen jedem zweiten Feld und können zur natürlichen Lüftung genutzt werden. Bei den Büros der Südfassade sind als Sonnen-, Blend- und Sichtschutz Streckmetallbleche in die äußere VSG-Scheibe eingelegt, die der Verglasung metallischen Glanz verleihen.
Die Plastizität der Fassaden ist ein Abbild der inneren räumlichen Komplexität. Statt eines Treppenhauses ist ein Gang labyrinthartig in das Volumen geschnitten, der mal als Rampe mal als Treppe mit wechselnden Blicken ins Gebäude und nach außen hinauf zur Kantine führt. Er dient zudem auch als Zuluftkanal für das gesamte Gebäude. Zu Beginn stülpt sich die Fassade dort, wo dieses so genannte Trajekt an der Außenwand verläuft, zu einer Glasrampe nach außen: Das Laub der Bäume und die Spree spiegeln sich im grünen Glasboden, der ein Gefühl der Ausgesetztheit vermittelt. Auf Höhe des transparenten Fitnessraumes bildet sich der Weg als 40 cm tiefer Rücksprung in der Gebäudehülle ab. Die Isolierverglasung verlagert sich auf die innere Ebene der umgebenden Doppelfassade, anstelle der seitlichen Paneele übernehmen Glasschwerter die Aussteifung.

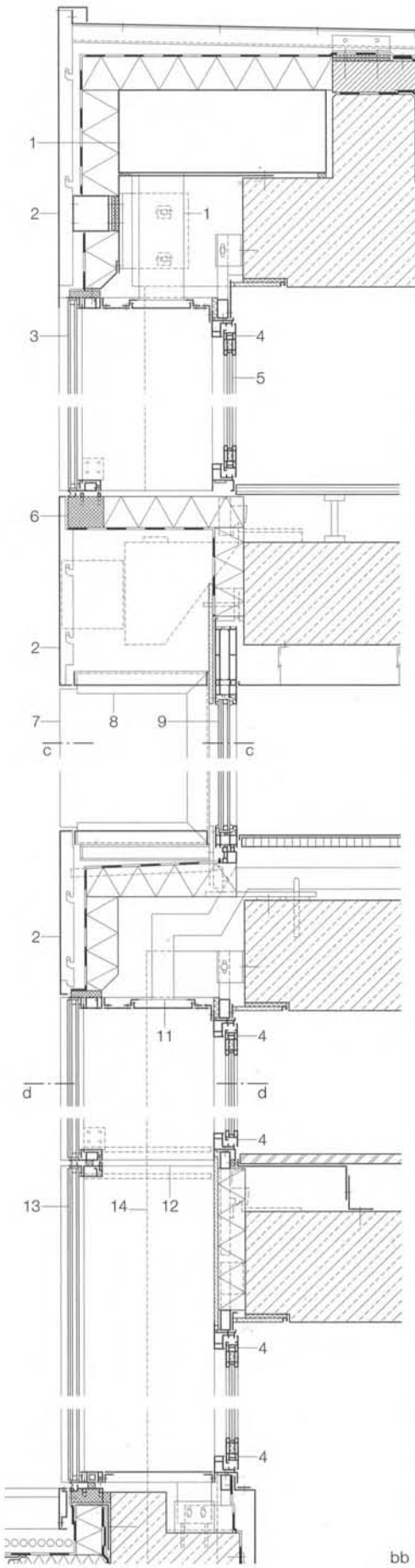




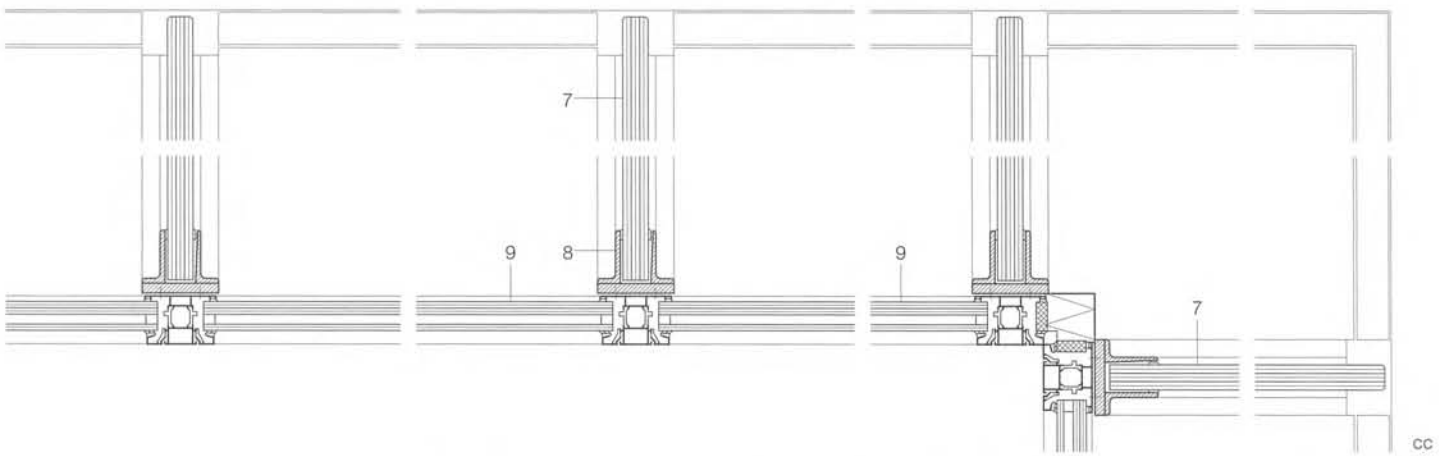


Grundrisse 1. und 4. Obergeschoss • Schnitt
Maßstab 1:500

1 Garage
2 Haupteingang
3 Foyer
4 »Trajekt«
5 Veranstaltungssaal
6 Büro
7 Besprechungsräume
8 Luftraum
9 Dienstwohnung

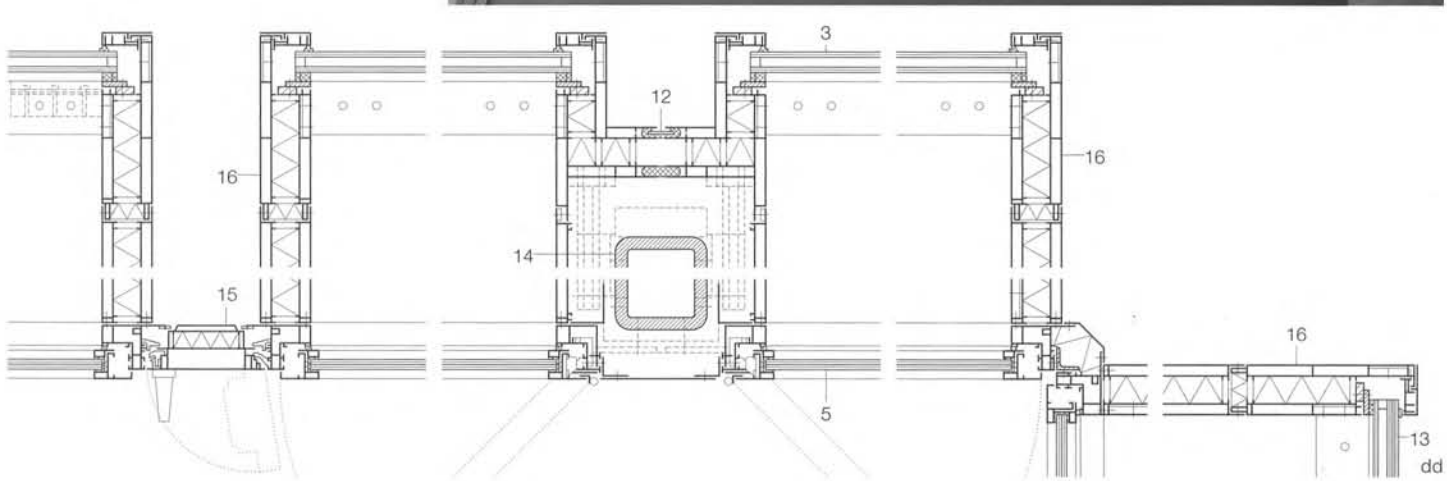


bb



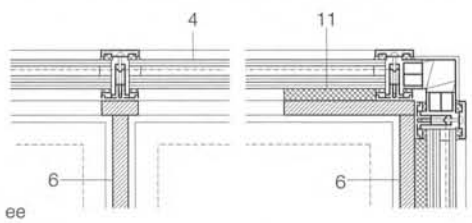
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitte Fassade
Maßstab 1:10

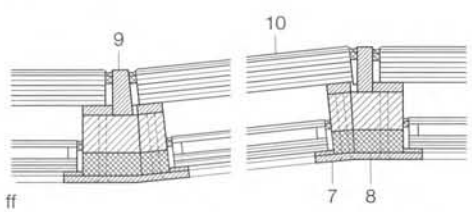
1 Abluftkanal
2 Aluminium geschliffen eloxiert
3 äußere Scheibe Kastenelement: ESG 6 + SZR 12 Kryptonfüllung + ESG 6 mm, U= 1,1 W/m²K, g= 0,28
4 Fassadenschlitz Abluft aus Büros
5 innere Scheibe Putzflügel: Absturzsicherung VSG 12 mm mit Rahmen umlaufend verklebt
6 thermische Trennung Hart-PVC
7 Glasschwert: VSG aus 3x 10 mm Float, PVB-Folie 1,52 mm
8 Edelstahlprofil L 30/70 mm
9 Verglasung im Bereich »Trajekt«: VSG 12 + SZR 16 Kryptonfüllung + ESG 8 mm, U= 1,1 W/m²K
10 Verglasung Fitnessraum ESG 12 mm
11 unter Fassadenrücksprung »Trajekt« Umlenkung der Abluftführung
12 Elementstoß Kastenfassade
13 äußere Scheibe Büro Südfassade: ESG 6mm + SZR 2 mm Streckmetalleinlage Edelstahl + ESG 6 + SZR 12 Kryptonfüllung + ESG 6 mm
14 Pfosten Stahlrohr ⊏ 220/120 mm
15 RWA-Flügel Aluminiumpaneel stranggepresst 60 mm
16 Aluminiumpaneel 70 mm

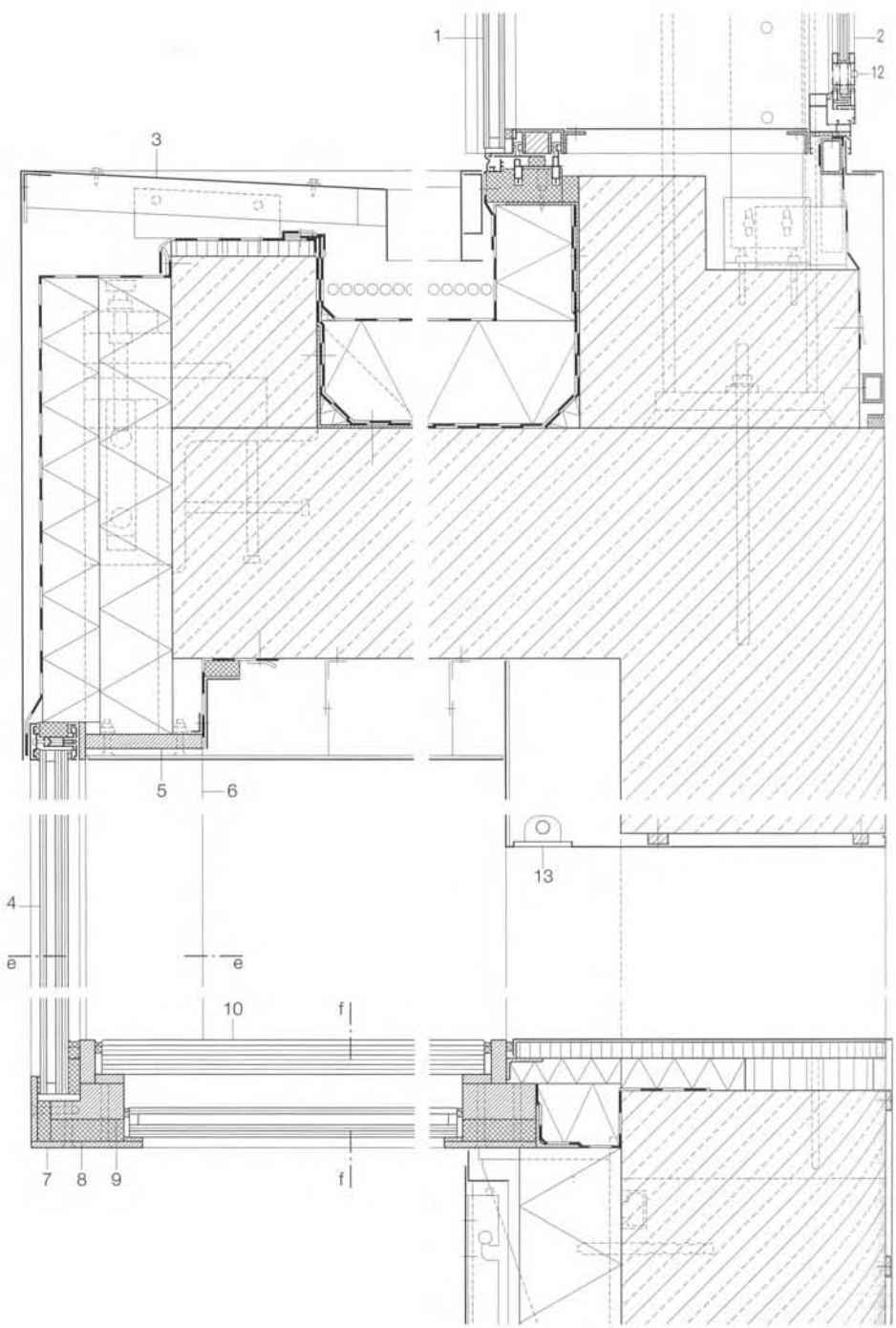


Detailschnitte Glasrampe Maßstab 1:10

1 äußere Scheibe Kastenelement:
ESG 6 + SZR 12 Kryptonfüllung + ESG 6 mm,
U= 1,1 W/m²K, g= 0,28
2 innere Scheibe Kastenelement:
Absturzsicherung VSG 12 mm
mit Rahmen umlaufend verklebt,
öffenbar zur Reinigung der Scheiben
3 Aluminiumblech geschliffen, silber eloxiert
4 absturzsichernde Verglasung Rampe:
Float 8 + SZR 16 + VSG 16 mm aus 2× ESG,
U= 1,1 W/m²K
5 Obergurt abgehängte Fassade
Flachstahl ▱ 160/20 mm
6 Fassadenpfosten Flachstahl 20 mm
7 Deckleiste Edelstahl 10 mm
8 Wärmedämmung Hart-PVC 30 mm
9 Untergurt Stahlfassade Stahl verzinkt
10 Glasfußboden:
Verschleißschicht ESG 8 mm
gegen Rutschen
bedruckt mit Punktraster
Durchbruchhemmung VSG 38 mm
Luftraum 40 mm
grüne Folie auf Isolierglas geklebt
Float 8 + SZR 16 + VSG 16 mm
11 Silikon schwarz
12 Fassadenschlitz Abluft aus Büro
13 Einbauleuchte



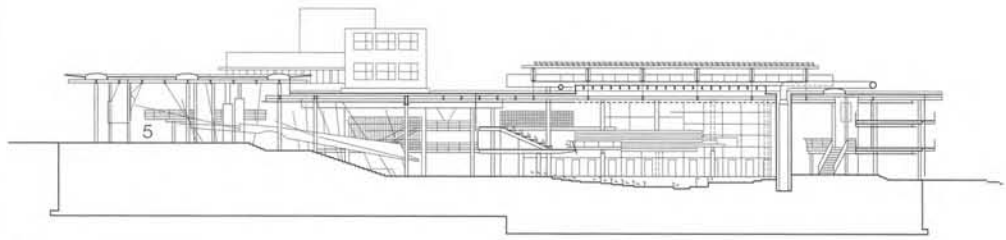




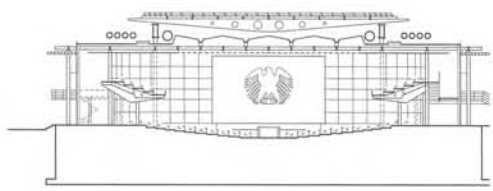
Internationales Kongresszentrum

Bonn, D 1992

Architekten:
Behnisch & Partner, Stuttgart
Projektpartner und Projektarchitekt:
Gerald Staib
Projektarchitekten:
Matthias Burkhart, Hubert Eilers, Eberhard Pritzer, Alexander von Salmuth, Ernst-Ullrich Tillmanns u.v.a. Mitarbeiter
Unter Mitwirkung von Christian Kandzia
Tragwerksplanung:
Schlaich, Bergermann und Partner, Stuttgart
Fassadenberatung:
Berthold Mack, Rosengarten / Klecken
Lichtplanung:
Lichtdesign GmbH, Köln
Christian Bartenbach, Aldrans / Österreich



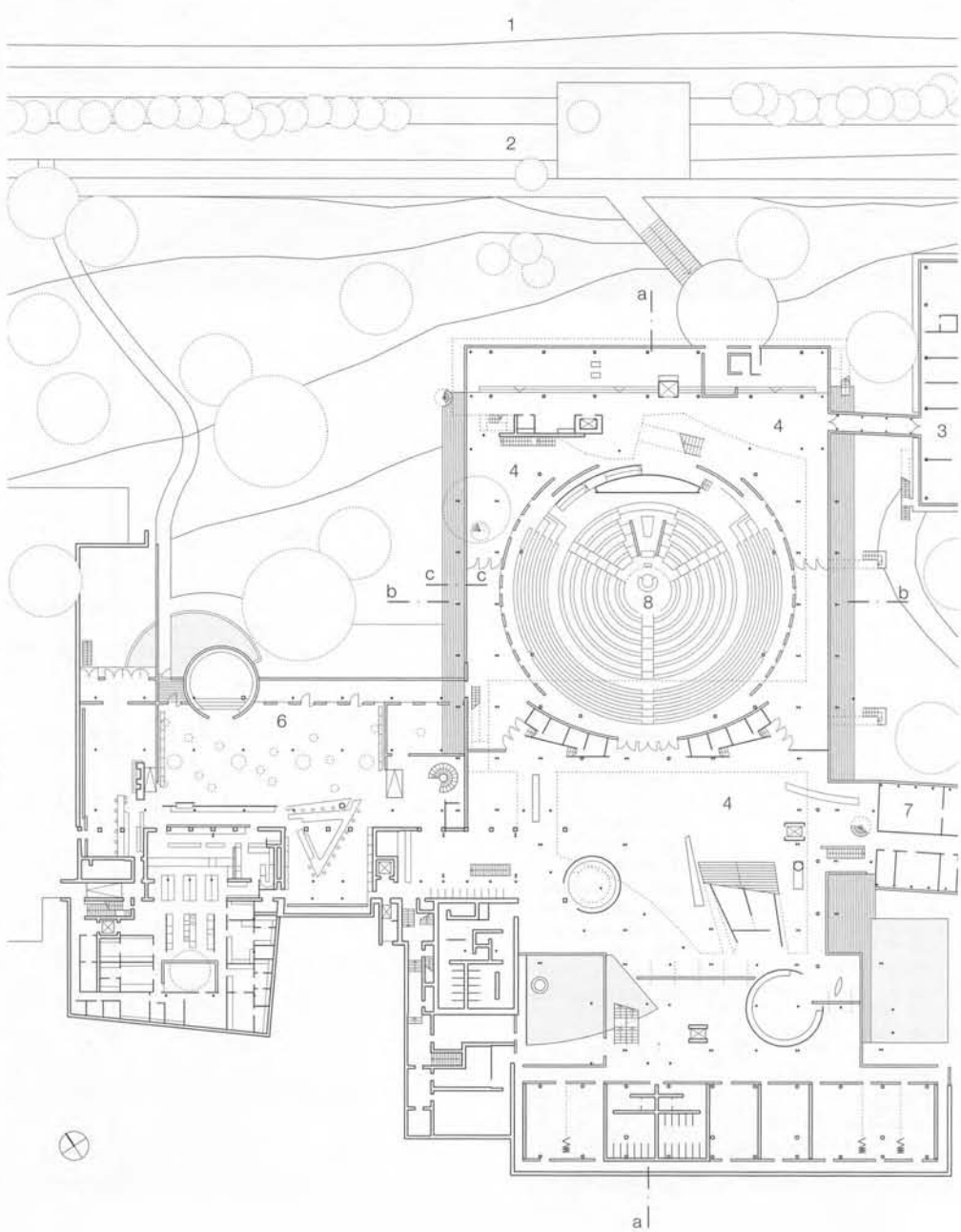
aa



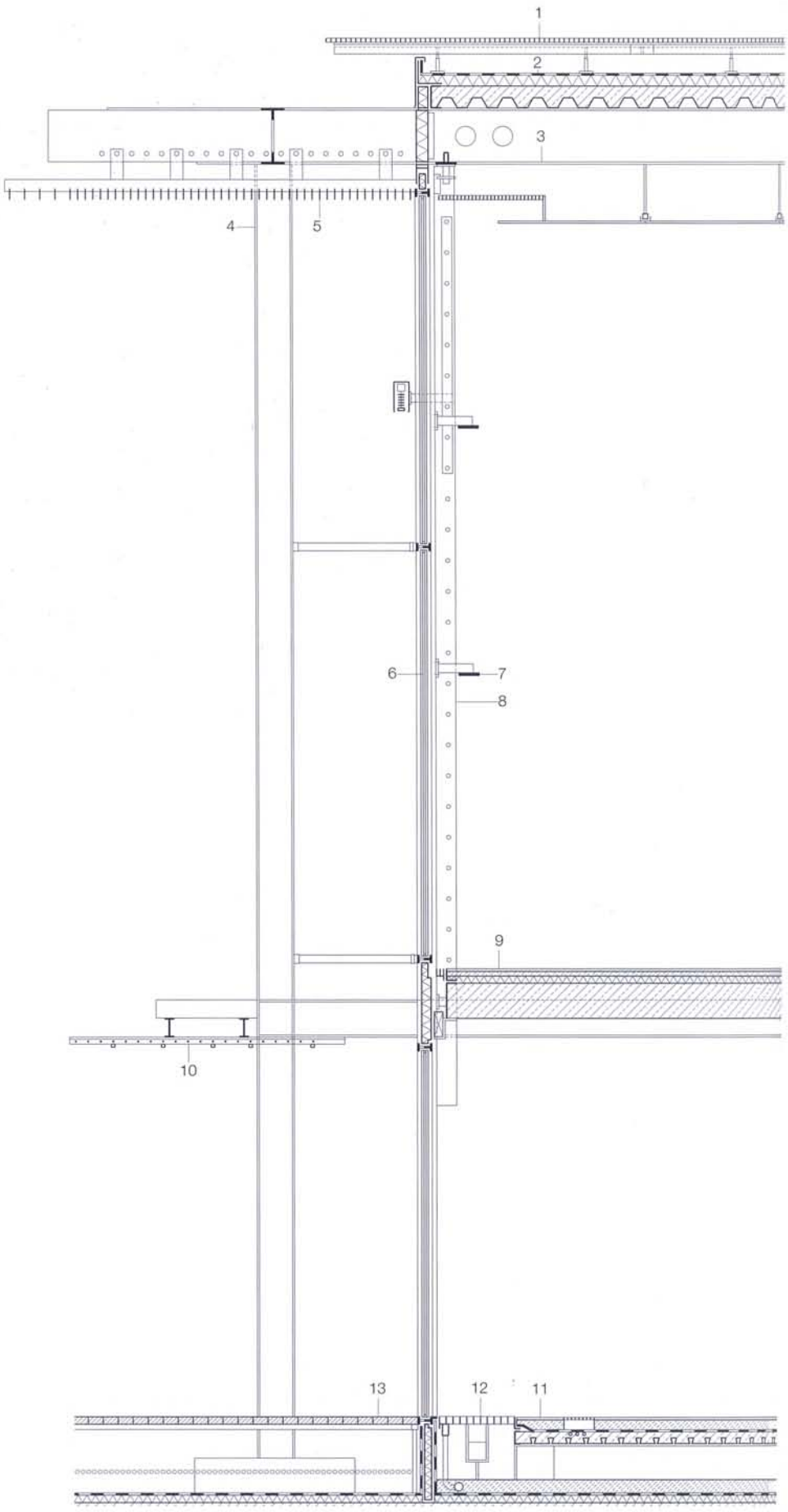
bb

Grundriss Saalebene • Schnitte Maßstab 1:1000

1 Rhein
2 Stresemann-Ufer
3 Präsidialanbau
4 Lobby
5 Eingangshalle
6 Restaurant
7 Südflügel
8 Plenarsaal

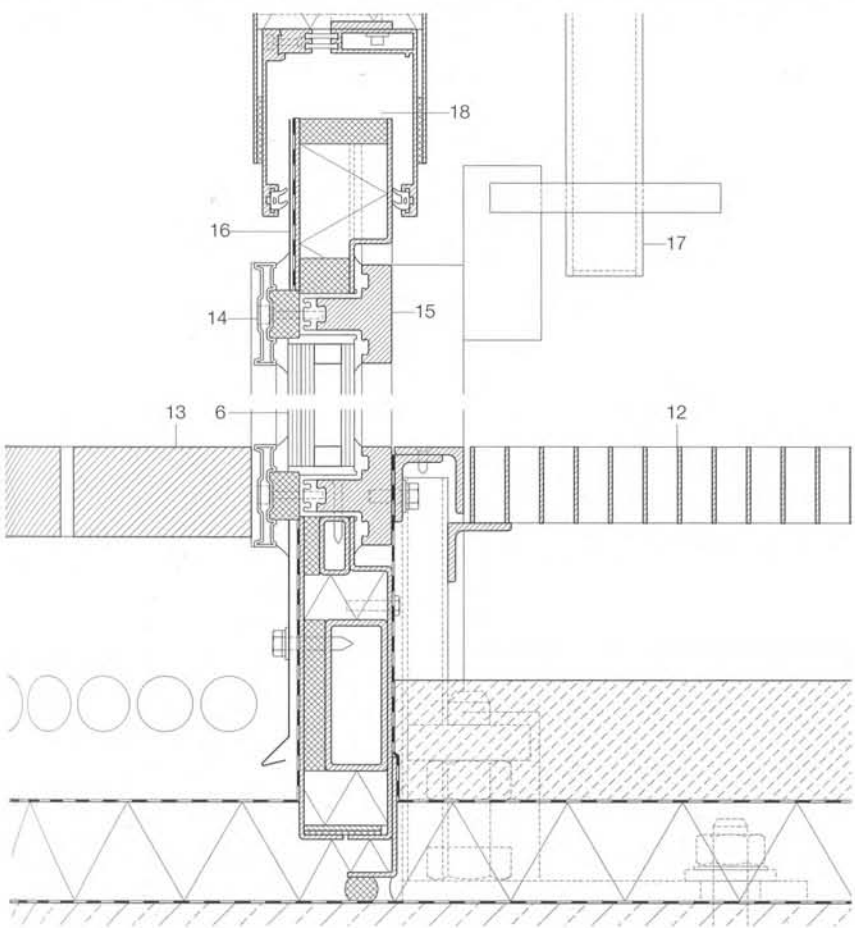


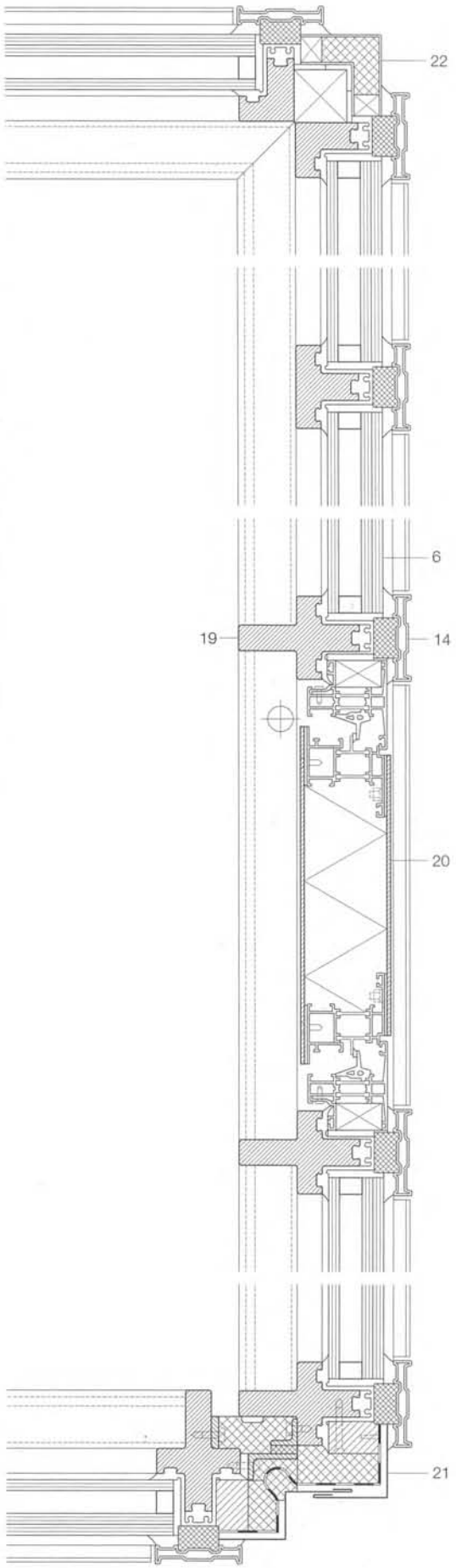
Das Konzept für den ehemaligen Plenarbereich des Deutschen Bundestages bestand darin, die Charakteristika und Qualitäten der Landschaft am Rhein–Uferterrassen, Siebengebirge, Parks mit Bundeskanzler- und Bundespräsidialbereich – mit dem Charakter und den Anforderungen der gestellten Bauaufgabe zu verknüpfen. Die Umsetzung dieses Konzepts bedingte eine großzügige Tragkonstruktion, ein Stahlskelett. Der Nachweis einer geringen Brandlast, die relativ kurzen Fluchtwege und der Einbau einer Sprinkleranlage ermöglichten eine Reduktion der Brandschutzanforderungen von F 90 auf F 30 mit dem Ergebnis, dass der Stahl unverkleidet bleiben durfte. Der Außenhaut kam eine besondere Bedeutung zu. Der Wunsch, die Trennung zwischen innen und außen aufzuheben und einen offenen fließenden Raum zu erzeugen, gelang durch die Auflösung der Fassadenkonstruktion in Schichten. Grundelemente sind die stranggepressten, mehrfach gezogenen Pfosten- und Riegelprofile in Stahl, dimensioniert für eine geschosshohe (3,50 m) Beanspruchung. Um damit bis zu 10 m hohe Fassadenflächen zu bewältigen, wird die Primärkonstruktion aus Pfosten und Riegeln von zusätzlichen konstruktiven Elementen (Lastverteiler und -sammler) unterstützt. Die Beanspruchung aus den Glasflächen wird über diese Zwischenelemente in die Tragkonstruktion des Gebäudes und weiter in die Fundamente geleitet. Die Außenhaut präsentiert sich als eine tiefe räumliche Zone bestehend aus einer Vielzahl von Elementen, aber auch als Fassade, die auf eine bauphysikalische und sicherheitstechnische Aufgaben übernehmende, dünne Glasebene reduziert ist. In den Arbeitsbereichen wurde eine Innenfassade entwickelt, die es den Benutzern ermöglicht, den Ein- und Ausblick, aber auch die Lichtmenge mit horizontalen transluzenten Schiebeflügeln aus Holzrahmen mit lichtdurchlässigen Kunststofffüllungen und horizontalen Raffstores zu regulieren. Über große Schiebetüren beziehungsweise Drehflügel im Präsidialanbau und schmale hohe Paneelklappen können die Räume natürlich belüftet werden.

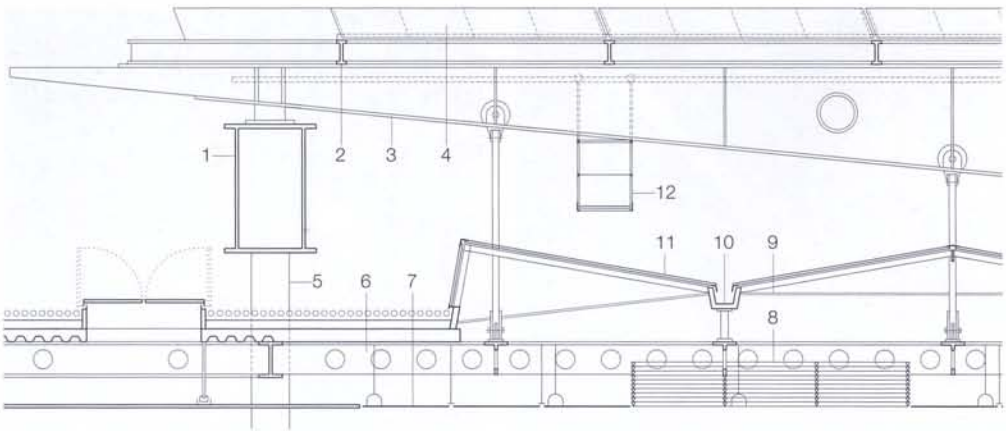


Vertikalschnitt Maßstab 1:50
Detailschnitt Fassade • Fußpunkt
Maßstab 1:5

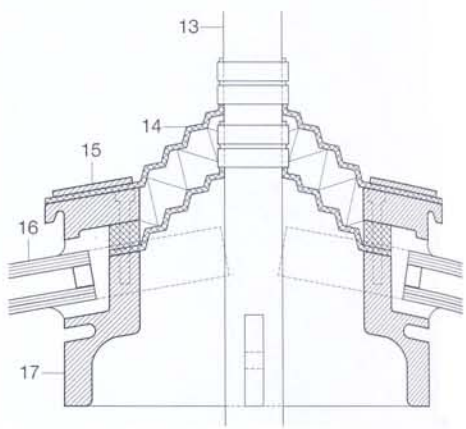
1 Stahlrost
2 Dachaufbau:
Abdichtung
Trennlage
Wärmedämmung
100 mm
Aufbeton
Trapezblech
3 Trägerrost aus
Walzprofilen HEB 450
4 Doppelstegstütze
300/350 mm
mit Betonfüllung
5 Sonnenschutzlamellen
Aluminium
6 Wärmeschutz-
Isolierverglasung
VSG 2× 13 mm +
SZR 18 mm +
VSG einbruch-
hemmend
A3 10 mm
7 horizontaler
Lastverteiler Flachstahl
□ 160/25 mm
8 vertikaler Lastsammler
Flachstahl
9 Bodenaufbau Steg:
Parkett 22 mm
Gussasphalt 30 mm
Ausgleichsschicht
48 mm
Stahlbeton 300 mm
10 horizontales
Rankgerüst/Holzrost
11 Fußbodenaufbau:
Kunststein 20 mm
Estrich 80 mm
2× PE-Folie
Beton auf Trapezblech
Lüftungskanal
12 Gitterrost 6 mm
13 Holzrost
14 Deckleiste Aluminium
15 Stahl-Strangpress-
profil 60 × 45 mm
16 Stahlprofil mit
Aluminiumabdeckung
17 Stahlrohr Ø 50 mm zur
Dehnungsaufnahme
18 Dehnungsfuge
19 Stahl-Strangpress-
profil 85 × 60 mm
20 Lüftungspaneel
Stahlblech
21 bewegliche Ecke
22 unbewegliche Ecke


18
16
17
14
15
13
6
12


22
6
19
14
20
21

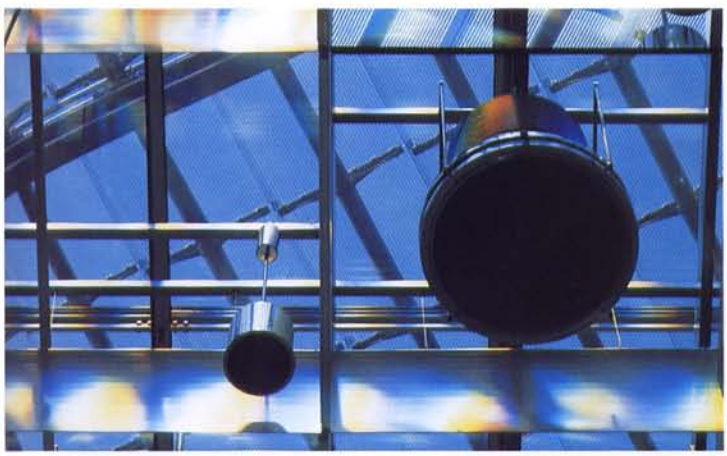


1 Hauptträger 1200/1700 mm, geschweißter Kastenträger
2 Prismenträger 110/300 mm, geschweißter Blechträger, diagonal verlegt
3 Fischbauchträger konisch 550 mm
4 bewegliche Sonnenschutzlamellen aus Licht streuenden Acrylglaselementen
5 Hauptstütze Lichtdach Stahlrohr Ø 508/40 mm
6 Trägerrost aus Stahlprofilen HEB 450
7 Aluminiumpaneel
8 Lichtrasterdecke aus reflektierendem Metall und prismatisch geformtem Gussglas
9 Zugstäbe 16 mm
10 Rinne Stahlblech 4 mm
11 Lichtdach auf Dachbinder IPE 80
12 Befahranlage
13 Hänger zum Fischbauchträger 39 mm
14 Silikondichtungsmanschette mit Mineralwolle
15 Aluminium-Dichtungsring
16 Verglasung 33 mm
17 Aluminium-Sandgussring zweiteilig

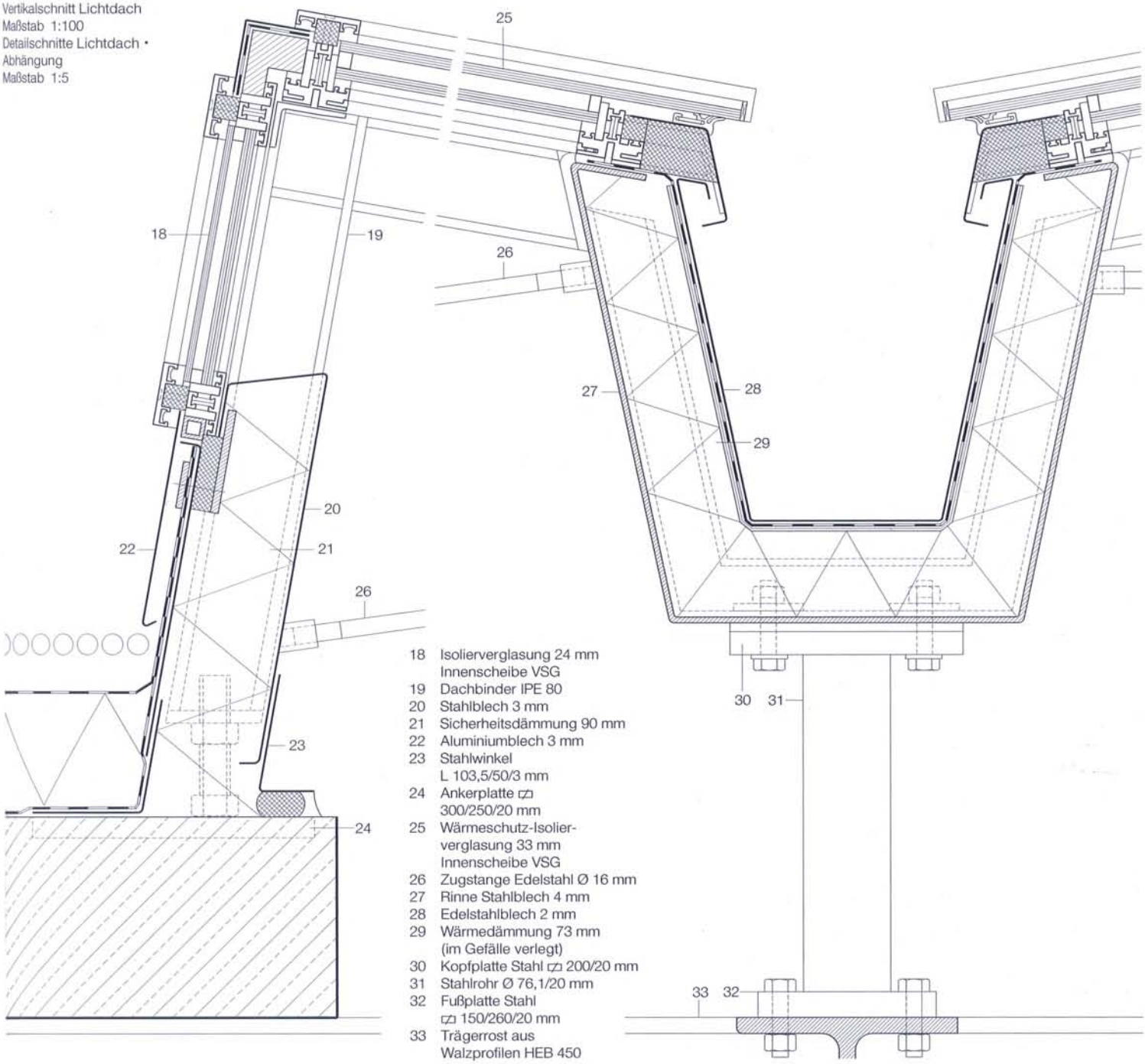


Lichtdach

Der Wunsch der Baukommission bestand darin, einen von oben mit Tageslicht durchfluteten Plenarsaal zu schaffen. Aus der ursprünglichen Idee der Architekten, die große kreisrunde Öffnung im Dach mit einer horizontalen Glasscheibe abzudecken, wurde aus administrativen Gründen ein satteldachförmig gefaltetes Lichtdach, das auf verspiegelten Stahlblech-Rinnenträgern aufliegt. Den Sonnenschutz leisten außen liegende, über den großen Fischbauchträgern angeordnete Licht streuende Acrylglasprismen. Sie sind in Ost-Westrichtung angeordnet und werden computergesteuert dem Stand der Sonne nachgeführt. Dies bewirkt, dass direkt auf die Prismen auftreffendes Sonnenlicht reflektiert wird, jedoch das indirekte Licht durch die Dachöffnung ins Innere gelangen kann. Unter dem Lichtdach werden die Installationen der verschiedenen Medien (ELA, Sprinkler, Licht, Brandmeldung etc.) geführt. Eine Lichtrasterdecke aus Metall und Gussglas, profiliert nach dem Fresnel'schen Prinzip, schließt die vielschichtige Lichtdachzone zum Innenraum hin ab. Diese Flächen erzeugen lichttechnisch einen gewissen »Lichtdruck« nach unten,
verhindern eine Blendung der Abgeordneten und der Besucher und erreichen nicht zuletzt, dass für den Betrachter das Dach zu einem Spiel von Materialien und Licht, Wirklichem und Scheinbarem wird.



Vertikalschnitt Lichtdach
Maßstab 1:100
Detailschnitte Lichtdach • Abhängung
Maßstab 1:5

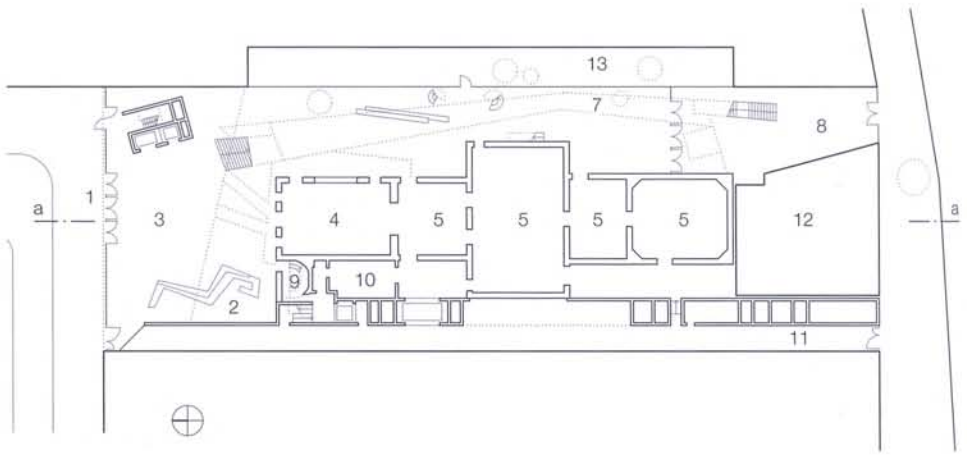


18 Isolierverglasung 24 mm Innenscheibe VSG
19 Dachbinder IPE 80
20 Stahlblech 3 mm
21 Sicherheitsdämmung 90 mm
22 Aluminiumblech 3 mm
23 Stahlwinkel L 103,5/50/3 mm
24 Ankerplatte ▱ 300/250/20 mm
25 Wärmeschutz-Isolierverglasung 33 mm Innenscheibe VSG
26 Zugstange Edelstahl Ø 16 mm
27 Rinne Stahlblech 4 mm
28 Edelstahlblech 2 mm
29 Wärmedämmung 73 mm (im Gefälle verlegt)
30 Kopfplatte Stahl ▱ 200/20 mm
31 Stahlrohr Ø 76,1/20 mm
32 Fußplatte Stahl ▱ 150/260/20 mm
33 Trägerrost aus Walzprofilen HEB 450

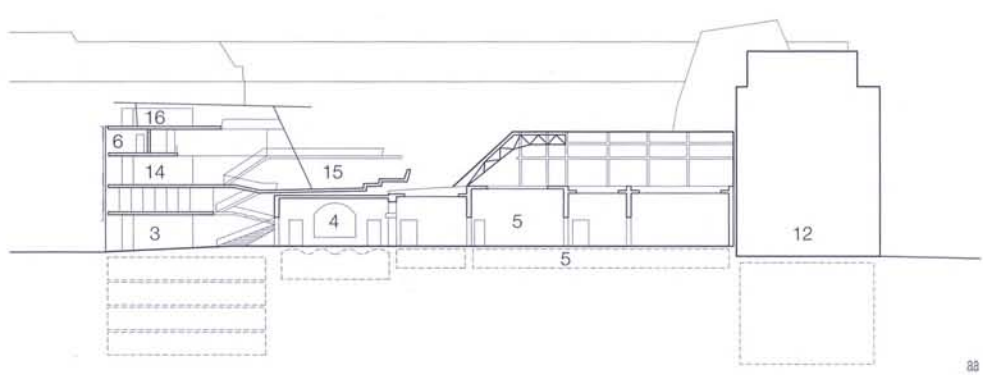
Akademie der Künste

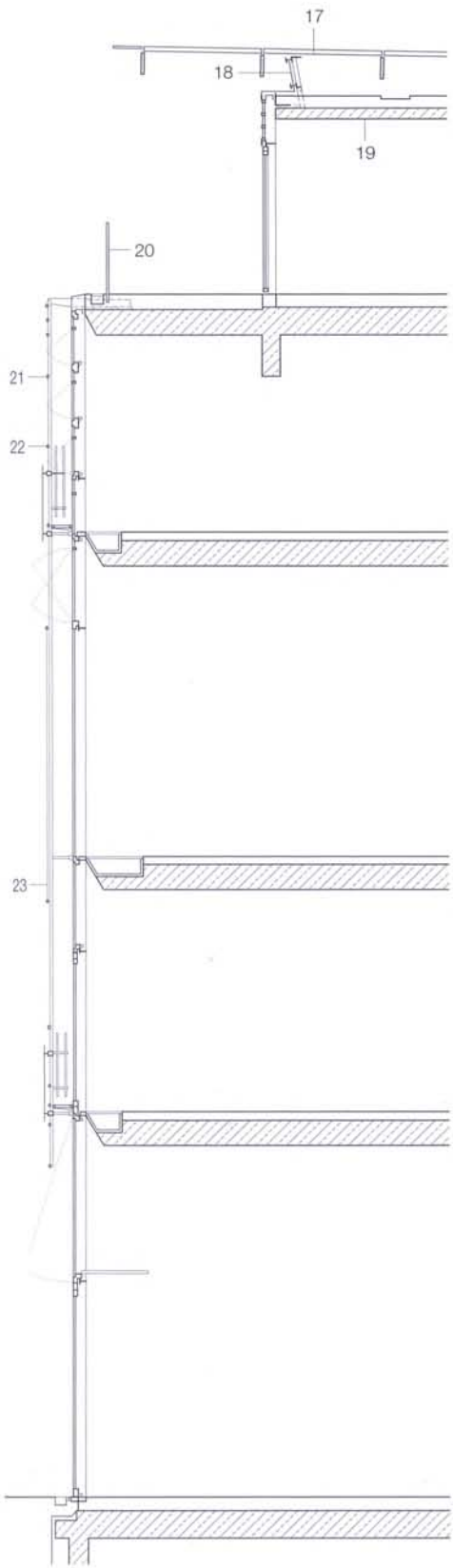
Berlin, D 2005

Architekten:
Behnisch & Partner mit Werner Durth, Stuttgart
Projektpartner und -architekt: Franz Harder
Mitarbeiter: Matias Stumpfl (Projektarchitekt), Berthold Jungblut, Michael Beckert, Sonja Stange, Angelika Wiegand, Andreas Mädche, Jochen Schmid, Yvonne Dederichs, Dominik Papst; Farben mit: Christian Kandzia
Tragwerksplanung:
Pfefferkorn Ingenieure, Stuttgart
Energieplanung:
Transsolar Energietechnik, Stuttgart



In der Hauptstadt Berlin des wiedervereinigten Deutschlands ließ auch die Vereinigung der beiden Akademien, die sich nach dem Zweiten Weltkrieg aus der einst berühmten Preußischen Akademie der Künste in Ost- und Westberlin gegründet hatten, nicht lange auf sich warten. 1993 wurde ein internes Gutachterverfahren für die Rückkehr der vereinigten Akademien an den Stammsitz am Pariser Platz eingeleitet. Der realisierte Entwurf bezieht den 1905–07 von Ernst von Ihne errichteten Altbau mit Ausstellungssälen in das Konzept ein. Nach einer umfangreichen Restaurierung dieser geschichtsträchtigen Räume werden diese von einem Ensemble von Neubauten umgeben: Einem Kopfbau im Norden zum Pariser Platz, einer langen Spange mit Verwaltungsräumen an der westlichen Grenze zur Nachbarbebauung der DZ Bank und der »Wandelhalle« im Osten zwischen Altbau und dem anschließenden Hotel Adlon. Eine zentrale Licht durchflutete Halle im Kopfbau mit freien Treppenläufen zwischen Alt- und Neubau verbindet die unterschiedlichen Nutzungsebenen. Bis auf die Verwaltung sind fast alle Bereiche – sogar das Dach des Kopfbaus – aus Glas, was interessante Ein-, Aus- und Durchblicke in alle Richtungen bietet. Gleichzeitig erfordert der hohe Verglasungsanteil aber auch, die solaren Gewinne zu kontrollieren, um einen effizienten Energiebedarf bei konstanten Aufenthaltsqualitäten sicherzustellen und der Sonnenschutz spielt eine bedeutende Rolle.
Das Energiekonzept sieht eine Entkopplung von Frischluftversorgung und Kühlung bzw. Heizung vor. Zuluft gelangt über Quelllüftung aus den Geschossdecken in das Gebäude, zur Kühlung ist eine Bauteiltemperierung vorgesehen, die über das Grundwasser mit Erdwärmetauscher gespeist wird und im Winter als Fußbodenheizung fungiert.
All diese Maßnahmen reichen jedoch nicht aus, die Komfortprobleme im obersten Geschoss unter dem Glasdach zu lösen. Erst eine Infrarot reflektierende Beschichtung (IR- oder Low-E-Beschichtung) der Dachverglasung vermindert die Wärmestrahlung der heißen Dachflächen wesentlich. Im Winter reduziert sie die Kältestrahlung, was sich ebenfalls sehr positiv auf den Komfort auswirkt.

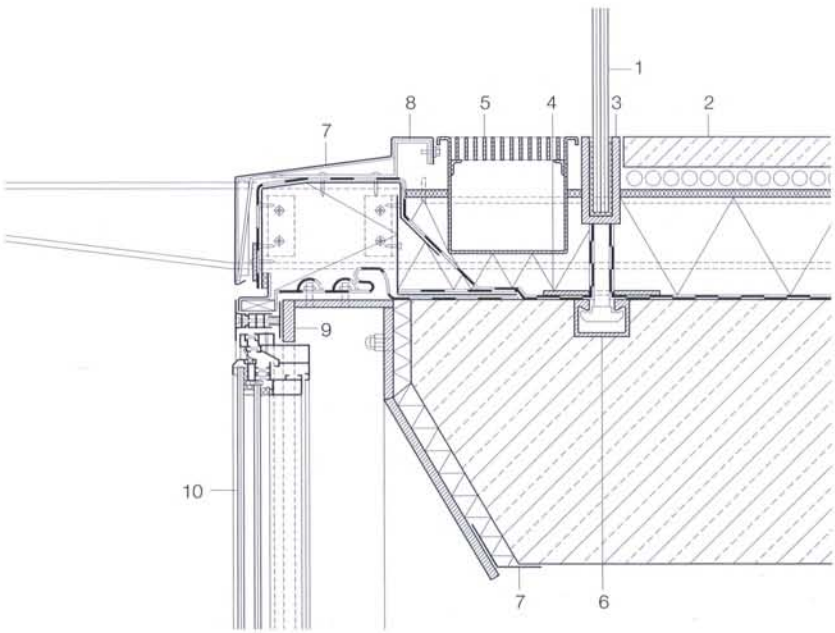


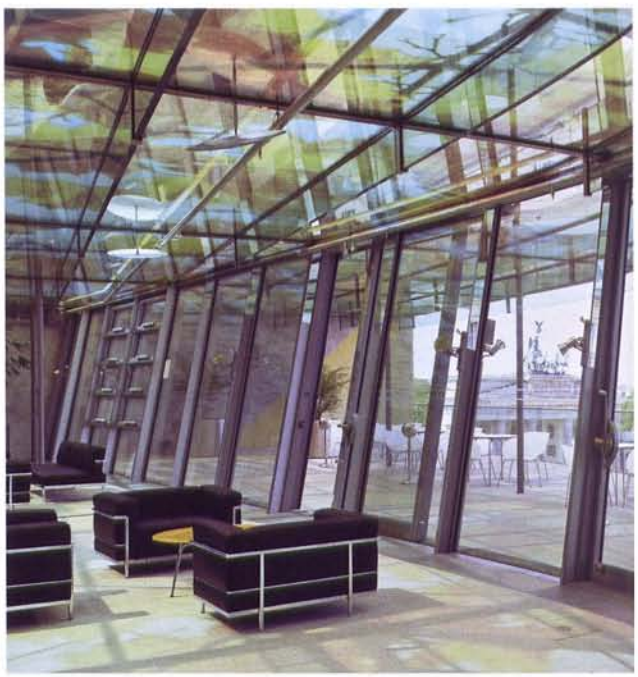


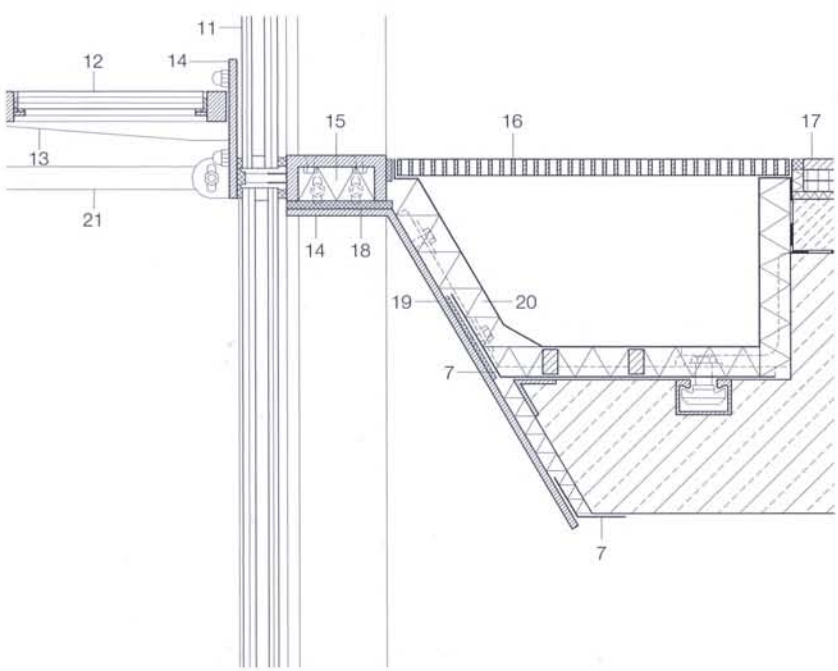
Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:1000
Vertikalschnitt Nordfassade
Maßstab 1:100

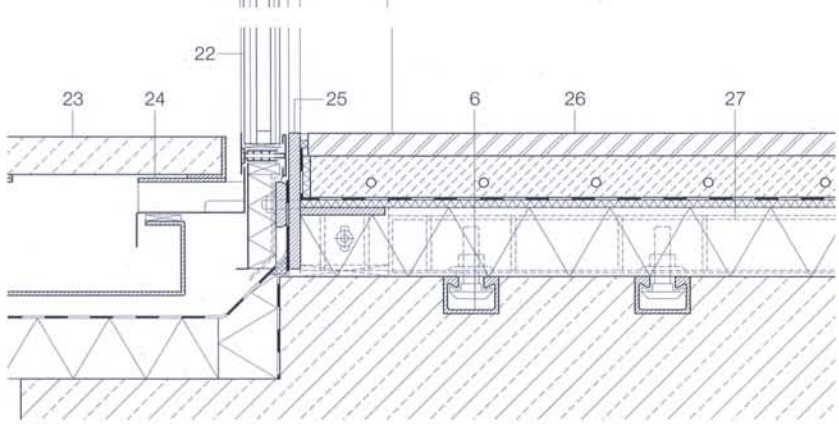
1 Eingang Pariser Platz
2 Buchshop
3 Foyer
4 "Verbindungssaal"
5 Ausstellungshallen
6 Büros
7 Wintergarten
8 Eingang Behrenstraße
9 Ihne Treppenturm
10 Lager
11 Anlieferung
12 Adlon-Palais
13 Hotel Adlon, Hof
14 Plenarsaal
15 Skulpturengarten
16 Club

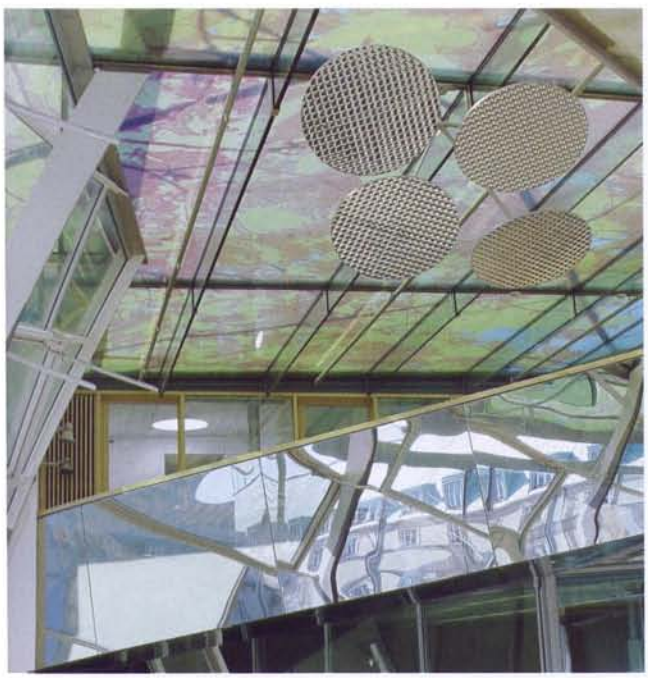
17 Glasdach Kopfbau
18 Gitterrost Aluminium 40/40 mm
19 Decke Stahlbeton Erschließungskern
20 Geländer 2x ESG, dazwischen PVB-Folie
21 Stahlrohr Ø 30mm
22 Handlauf Stahlrohr Ø 38 mm
23 Infofahne Stahlrohr hängend Ø 47 mm

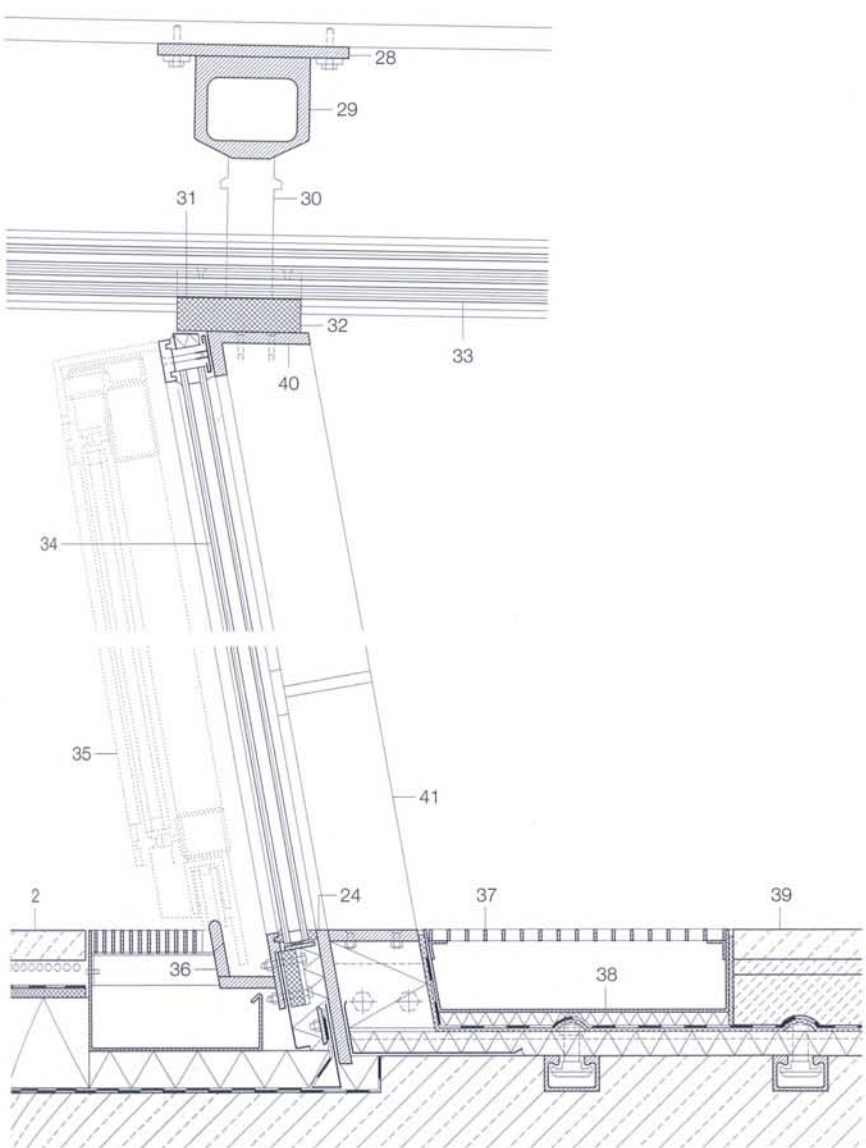

1
8
5
4
3
2
7
9
10
7
6




11
12
14
15
16
17
13
21
14
18
19
20
7
7


22
23
24
25
6
26
27





Vertikalschnitte Nordfassade, Clubraum
Maßstab 1:20

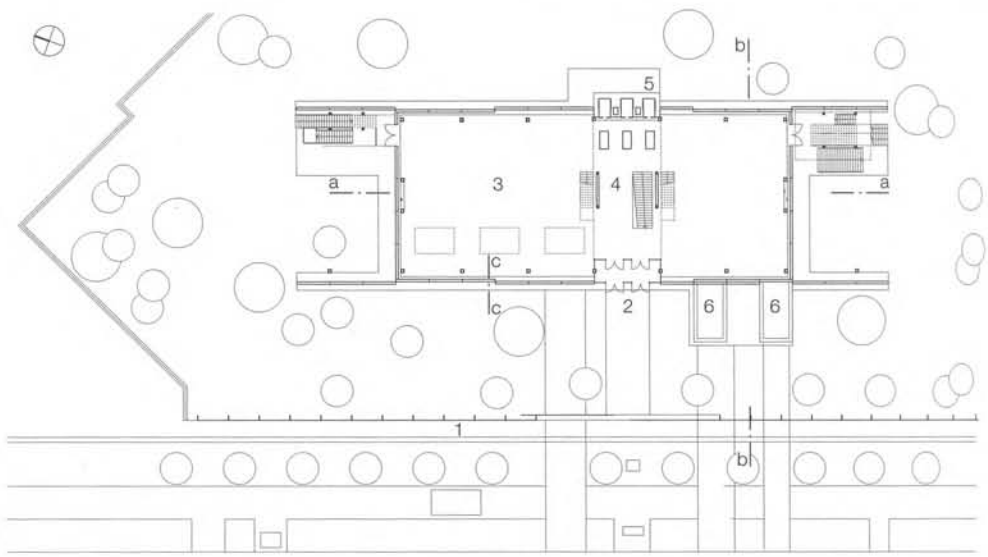
1 Geländer 2× ESG, dazwischen PVB-Folie
2 Fußbodenaufbau Dachterrasse:
Betonwerkstein 40 mm, Kies 30 mm
Trennvlies dampfdiffusionsoffen
Gummigranulatplatte 10 mm
Wärmedämmung Hartschaum 120 mm
Abdichtung zweilagig 10 mm
Bitumenschweißbahn mit Bitumenvoranstrich 5 mm
Stahlbeton 350 mm
3 Stahlprofil nicht rostend
4 Losflansch Flachstahl
5 Lochrost Edelstahl
6 Halfenschiene Stahlprofil LI 70 mm
7 Abdeckblech Aluminium 3 mm
8 Aluminiumblech 3 mm
9 Flachstahl ▱ 15 mm
10 Isolierverglasung 2× VSG 8 + SZR 14 +
2× VSG 8 mm
11 Isolierverglasung 2× VSG 12 + SZR 18 +
2 VSG 16 mm
12 3× VSG 24 mm
13 Stahlschwert 10 mm
14 Flachstahl ▱ 10 mm
15 Dämmung Mineralwolle in Brandschutzqualität
16 Stabgitter Aluminium
17 Bodenaufbau:
Parkett Eiche 14 mm
Verlegeplatten 2× 14 mm
Trittschalldämmung 10 mm
Zementestrich 68 mm
Trennlage PE-Folie 0,2 mm
Stahlbeton 350 mm
18 Zwischenlage schallhemmend
19 Flachstahl ▱ 500/15 mm, gekantet
20 Dämmung Mineralwolle 50 mm
21 Flachstahl ▱ 30/10 mm
22 Isolierverglasung 2× VSG 16 + SZR 18 +
2 VSG 12 mm
23 Gussasphaltplatte demontierbar
24 Auflager Edelstahlblech 5 mm
25 Flachstahl ▱ 180/15 mm
26 Bodenaufbau Foyer:
Gussasphalt geschliffen, imprägniert 30 mm
Anhydritestrich fugenlos 55 mm mit
Fußbodenheizung
Trennlage PE-Folie 0,2 mm
Trittschalldämmung 10 mm
Wärmedämmung PS-Hartschaum 95 mm
27 2× Stahlprofil L 80/80/8 mm
Flachstahl ▱ 70/17 mm
28 Edelstahl ▱ 250/150/15 mm
29 Flachstahl ▱ 150/135/10 mm
30 Formteil Edelstahl mit Lasche
zur Feinjustierung
31 Folie Aluminium reflektierend
32 vorkomprimiertes Band
33 Glasdach Kopfbau:
ESG 10 (Punktraster 65% Low-E-Beschichtung)
+ SZR 12 (gasgefüllt) + VSG aus 2× ESG 8 +
SRZ 8 (gasgefüllt) mm + VSG aus 2× TVG
34 Isolierverglasung 2× VSG 8 + SZR 16 +
2× VSG 8 mm
35 Schiebeelement in geöffnetem Zustand
36 Führungsschiene Edelstahl ▱ 75/15 mm
37 Stabgitter Aluminium über Bodenkanal für
Konvektoren 400 mm
38 Rinne Stahl 400/100 mm
39 Fußbodenaufbau Clubraum:
Betonwerkstein 40 mm
Mörtelbett 20 mm
Zementestrich 65 mm
Trennlage PE-Folie 0,2 mm
Trittschalldämmung 7 mm
Wärmedämmung PU-Hartschaum
alukaschiert 30 mm
Stahlbeton 350 mm
40 Stahlprofil L 135/60 mm
41 Pfosten Flachstahl ▱ 115/15 mm

Fondation Cartier

Paris, F 1994

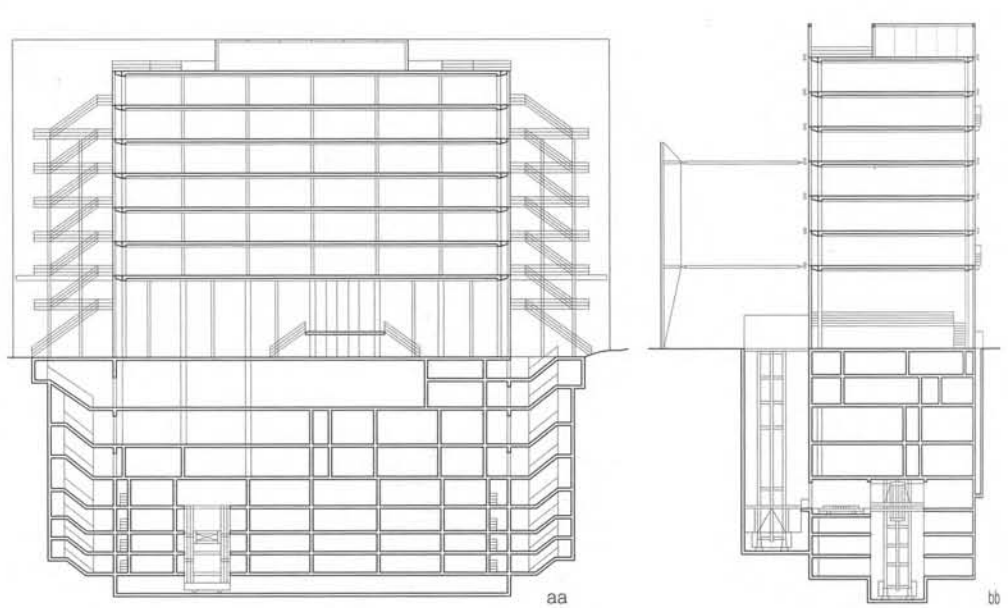
Architekten:
Jean Nouvel, Emmanuel Cattani &
Associés, Paris
Projektleiter:
Didier Brault
Tragwerksplanung:
Ove Arup & Partners, London

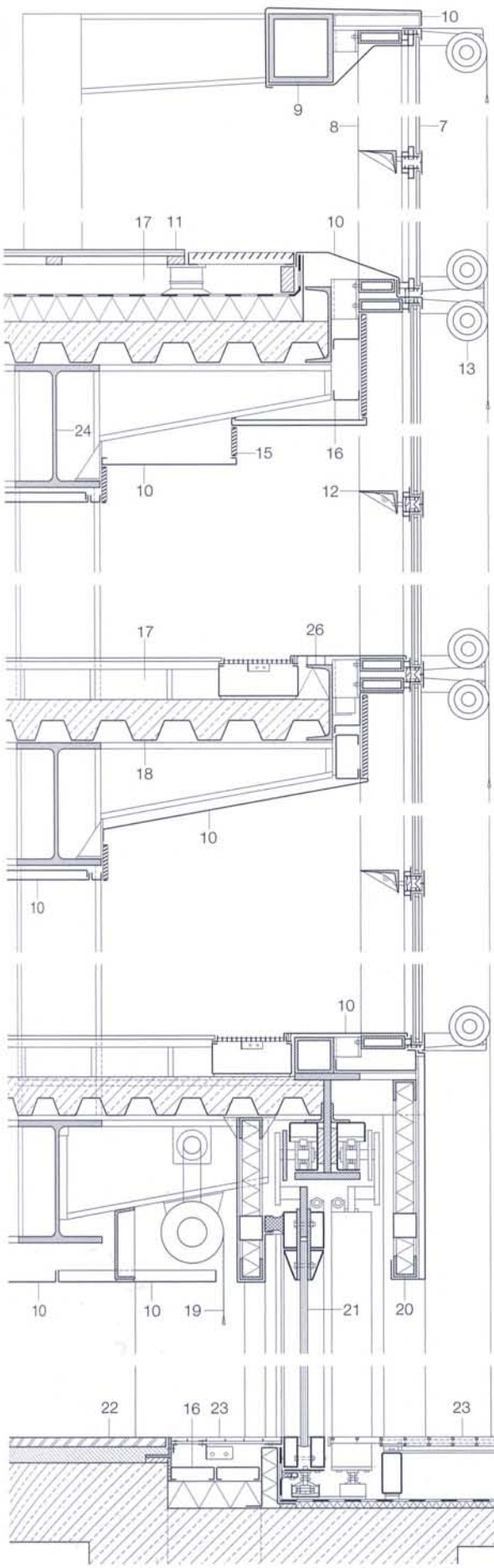
Bei der Neubebauung des Grundstücks, auf dem früher das amerikanische Kulturzentrum stand, mussten die Baugrenzen des Vorgängerbaus eingehalten werden. Die neue Firmenzentrale sollte über ausreichend Verwaltungsflächen für das Unternehmen verfügen sowie über einen großzügigen Ausstellungsraum für die Cartier-Stiftung der zeitgenössischen Kunst. Zudem galt es, den Baumbestand des alten Parks mit einer 100jährigen Zeder zu bewahren.
Das entstandene Gebäude in Form eines gläsernen Kubus tritt aus der Straßenflucht zurück, zwei 8 m hohe Glaswände markieren die Grenze zum Gehweg, definieren den Haupteingang und bilden einen Rahmen für die alte Zeder. Ebenso ist die Gebäudekante der nördlich angrenzenden Bebauung fortgesetzt.
Zwischen der straßenseitigen Glaswand und dem Gebäude steht eine Baumreihe, die symmetrisch zu den großen Bäumen auf dem Bürgersteig angelegt ist.
Der Baukörper umfasst acht Geschosse über und sieben Geschosse unter der Erde. Die längsseitigen, 8 m hohen Glaswände können bei Bedarf verschoben werden, wodurch sich ein fließender Übergang zwischen innen und außen ergibt. Der Ausstellungsraum im ersten Untergeschoss wird über im Erdgeschossboden eingelassene Glasfelder belichtet.
Die transparenten Fassaden sind als Pfosten-Riegel-Konstruktion ausgebildet. In den Obergeschossen sind sie als elementiertes Structural-Sealant-Glazing-System vollständig verglast. Sie werden von einem filigranen Netz von Edelstahlsprossen gegliedert, die gleichzeitig die mechanische Sicherung übernehmen, sowie zur Befestigung des geschossweise angebrachten, außen liegenden, textilen Sonnenschutzes dienen, der bei Wind automatisch eingefahren wird.
Die Trennwände der Obergeschosse bestehen überwiegend aus Glas, das bis in Augenhöhe sandgestrahlt ist und nach oben mit fließendem Verlauf durchsichtig wird. Um das Bild des Glashauses abzurunden, ist auch ein großer Teil der von den Architekten eigens entworfene Büromöblierung in diesem Material ausgeführt.



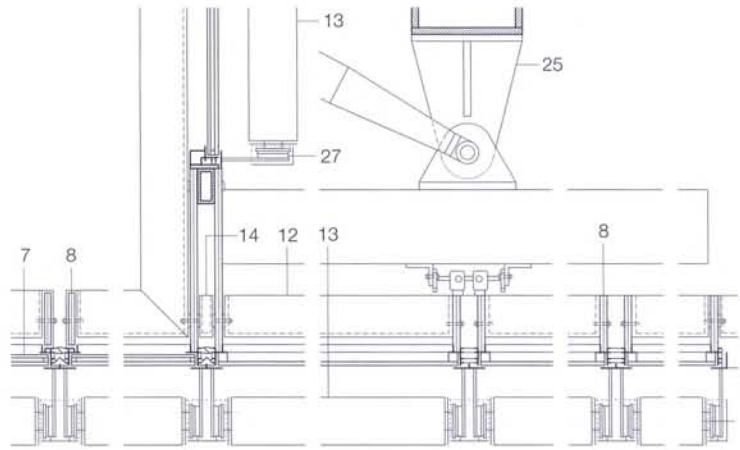
Lageplan • Schnitte
Maßstab 1:750
Vertikalschnitt •
Horizontalschnitt
Maßstab 1:20

1 freistehende Glasfassade
2 Eingang
3 Ausstellung
4 Galerie
5 Personenaufzug
6 PKW-Aufzug

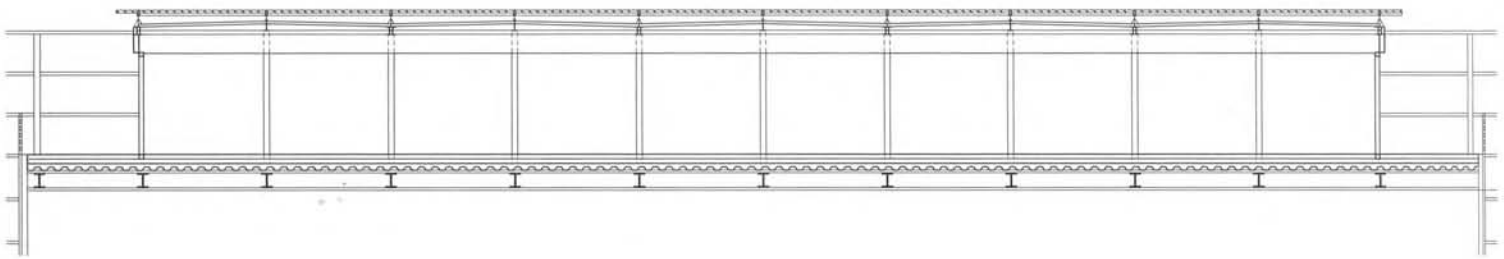


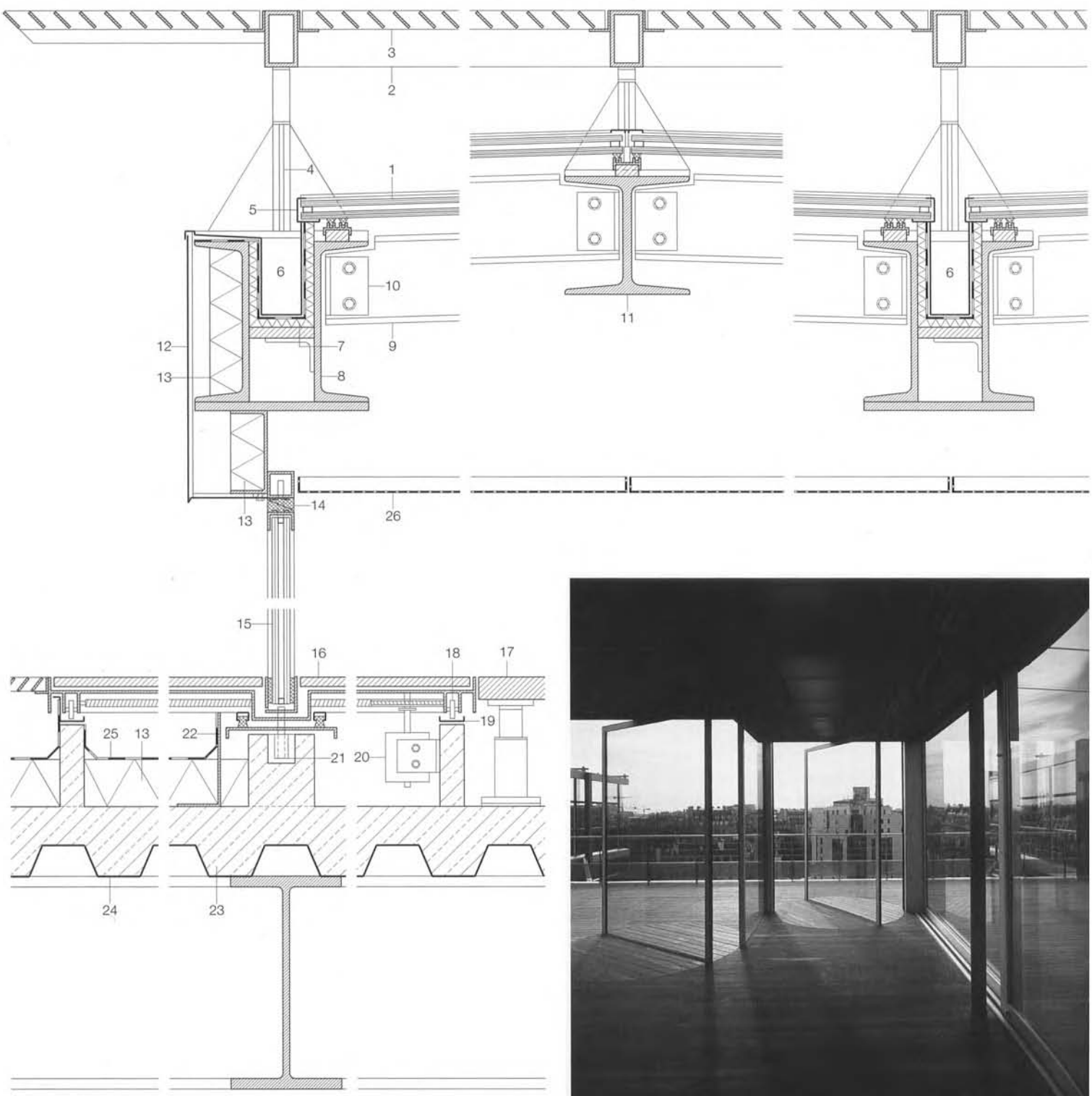


cc



7 Zweischeiben-Isolierverglasung entspiegelt
Außenseite VSG 12 mm
Innenseite im Fensterbereich
Float 6 mm
im Brüstungsbereich
ESG 6 mm
Rahmenkonstruktion:
Aluminium mit
außen liegenden
Edelstahl-Glashalteleisten
8 abgehängtes Glasschwert
ESG 19 mm
9 Unterkonstruktion Stahlrohr
⌀ 20 mm
10 Abdeckblech
11 Holzbohlen
12 Traverse aus Aluminiumguss
13 textiler Sonnenschutz,
computergesteuert mit
Aluminiumschwertern
befestigt
14 Elementstoß
15 Aluminiumgitterrost
16 Be- und Entlüftung
17 Doppelboden
18 Stahltrapezblech mit
Aufbeton 130 mm
19 innen liegender Blendschutz
20 Dämmpaneel
21 Glasschiebetür mit
Aluminiumrahmen
22 Granitplattenbelag
23 Stahl-Gitterrost
24 Stahlprimärkonstruktion
25 Stahlkonstruktion für
frei stehende Glasebene
26 Dämmstoffklotz
27 L.-Stahlprofil zur Fassadenbefestigung




3
2
4
1
5
6
10
11
12
7
9
13
8
14
26
13
15
16
18
17
19
25
13
22
21
20
24
23

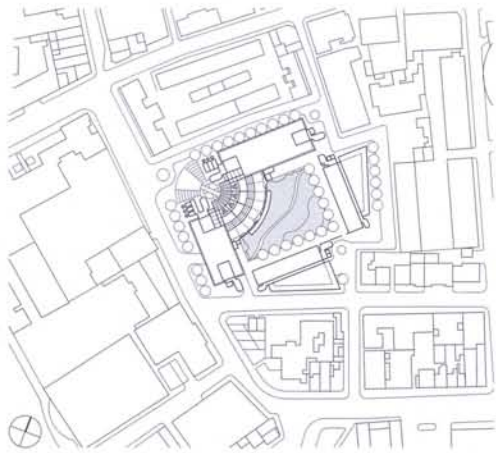
Vertikalschnitt Dachgeschoss
Maßstab 1:200
Maßstab 1:10

1 Isolierverglasung entspiegelt
ESG 12 + SZR 10 + VSG 2× 6 mm
2 Tragrost Stahlrohr
□ 100/60 mm
feuerverzinkt
3 außen liegender Sonnenschutz, Stahlgitterrost feuerverzinkt
4 Haltekonstruktion Stahlrohr, feuerverzinkt
5 Aluminiumprofil
6 Entwässerungsrinne
7 Wärmedämmung 25 mm
8 Stahlprofil
⊔ 300/100 mm
9 Stahlprofil IPE 160
10 L-Stahlhalteprofil
11 Stahlprofil IPE 220
12 Attikablech Aluminium
13 Wärmedämmung Mineralwolle
14 EPDM-Profil
15 Glasdrehtür mit Aluminiumrahmen Isolierverglasung 12 + SZR 10 + 12 mm
16 Holzbelag 25 mm
17 Holzbohlen 38 mm
18 Laufrad Drehtür
19 Stahlprofil für Drehtürlaufschiene feuerverzinkt
20 Elektromotor Drehtür
21 Gelenk Drehtür
22 L-Stahlprofil
23 Aufbeton 130 mm
24 Stahltrapezblech
25 Elastomerbitumenbahn
26 abgehängte Decke Aluminiumblech perforiert

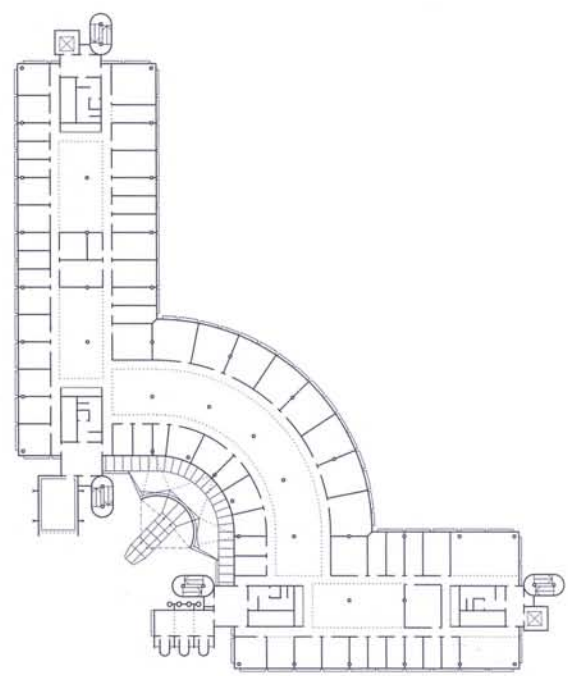
Büro- und Studiogebäude
Channel 4

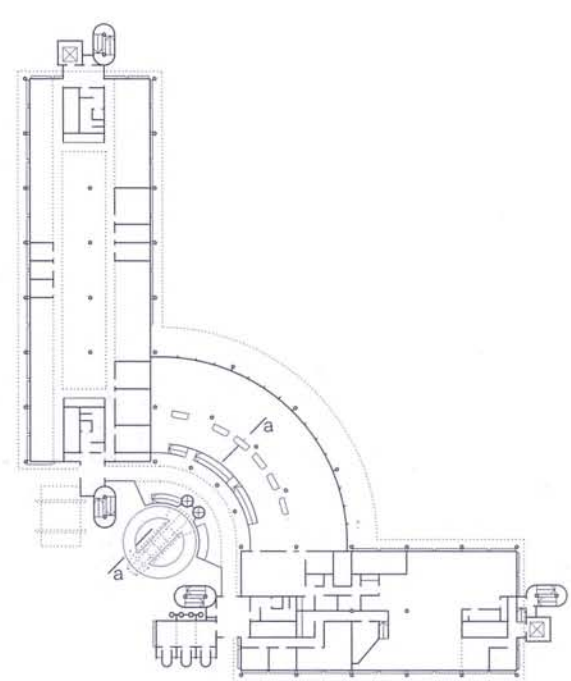
London, GB 1994

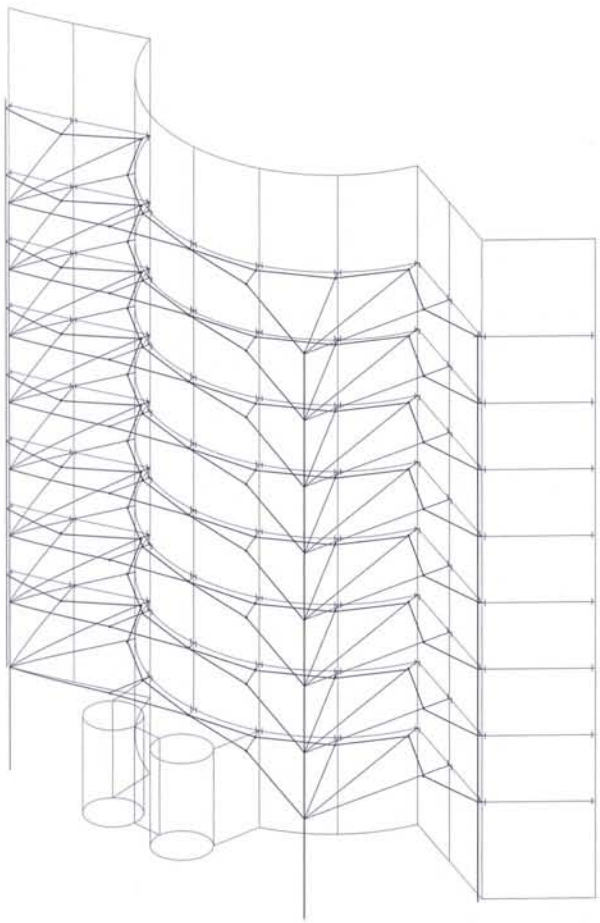
Architekten:
Richard Rogers Partnership, London
Tragwerksplanung:
Ove Arup & Partners, London
RFR, Paris (gebogene Eingangsfassade)



Die neue Hauptverwaltung des Fernsehsenders Channel 4 fügt sich im Maßstab in das städtebauliche Gefüge von Westminster ein. Einzig der mit dem Antennenmast gekrönte Aufzugs- und Technikturm erhebt sich über die umgebende Bebauung und signalisiert den Standort. Durch den winkelförmigen Grundriss wird der innerstädtische Block geschlossen. Der Besucher betritt das Gebäude über eine gläserne Brücke, die von einem abgehängten Glas-Stahldach überdeckt wird. Den Höhepunkt des effektvoll inszenierten Eingangs aber bildet eine etwa 20 m hohe, konkav gekrümmte Ganzglasfassade. Über winkelförmig zum angrenzenden massiven Baukörpern geführte Anschlussstellen tritt die Glasfassade hervor. und löst sich optisch vom Gebäude.
Sie ist von Stahlkragarmen im Dach abgehängt. Ähnlich einer Kette trägt jede Glastafel das Gewicht aller unter ihr angeordneten Scheiben. Ein innen liegendes, doppeltes Netz aus vorgespannten Edelstahlseilen dient der Stabilisierung gegen Windlasten. Im mittleren Teil der Fassade werden die Winddrucklasten durch horizontale Seile und der Sog durch Vertikalseile aufgenommen, in den Randbereichen ist es umgekehrt. Durch diese Umlagerung der Lasten entsteht ein flächig wirkendes Netz mit einzelnen Fixpunkten. Von diesen werden die Glastafeln durch kurze Gelenkstangen stabilisiert.
Alle Verbindungen und Glashalter sind gelenkig ausgebildet, um die Vorhersagbarkeit der in den einzelnen Elementen erzeugten Beanspruchungen und die Ableitung aller Außenkräfte aus der Glastafel sicherzustellen. Die seitlichen Knickpunkte der Fassade sind mittels Verfugung mit tragendem Silikon als steife Ecken ausgebildet.
Die Bürofassaden bestehen aus elementierten, geschosshohen Paneelen mit jeweils vier übereinander liegenden Glasfeldern. Die Verglasung ist hier als Structural Sealant Glazing mit mechanischer Sicherung ausgeführt. Jeweils vor das oberste und das unterste Feld – auf der Nordseite nur vor das unterste – ist aus Gründen des Sonnenschutzes ein Element aus Streckmetall gesetzt.

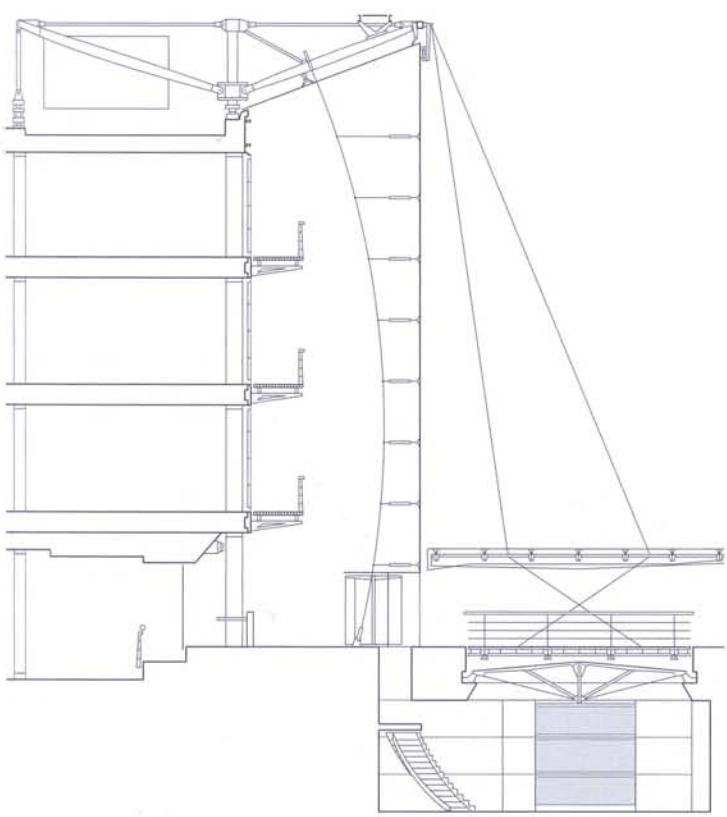




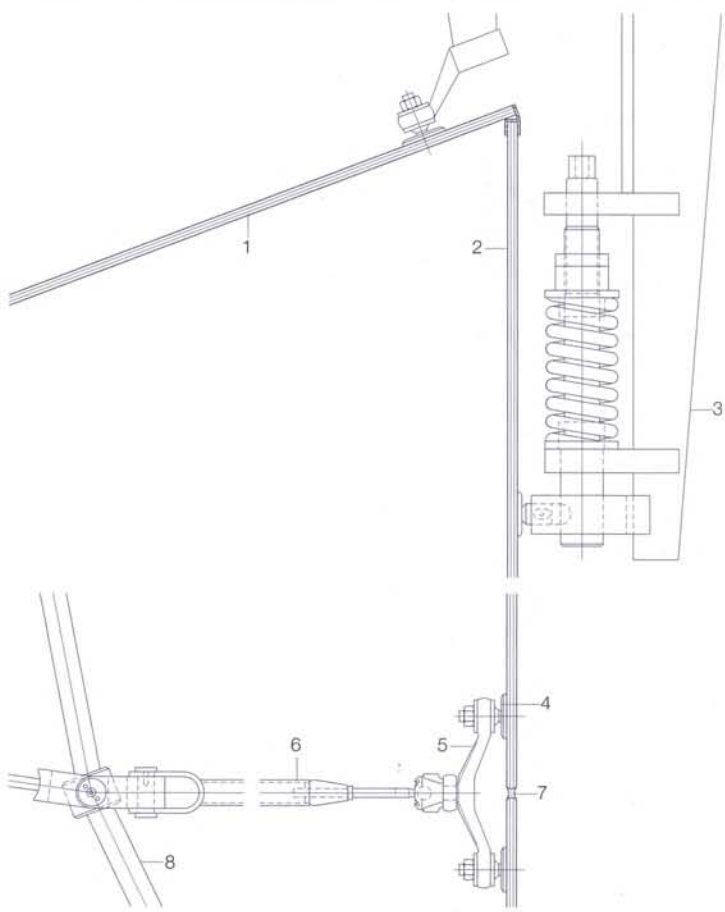


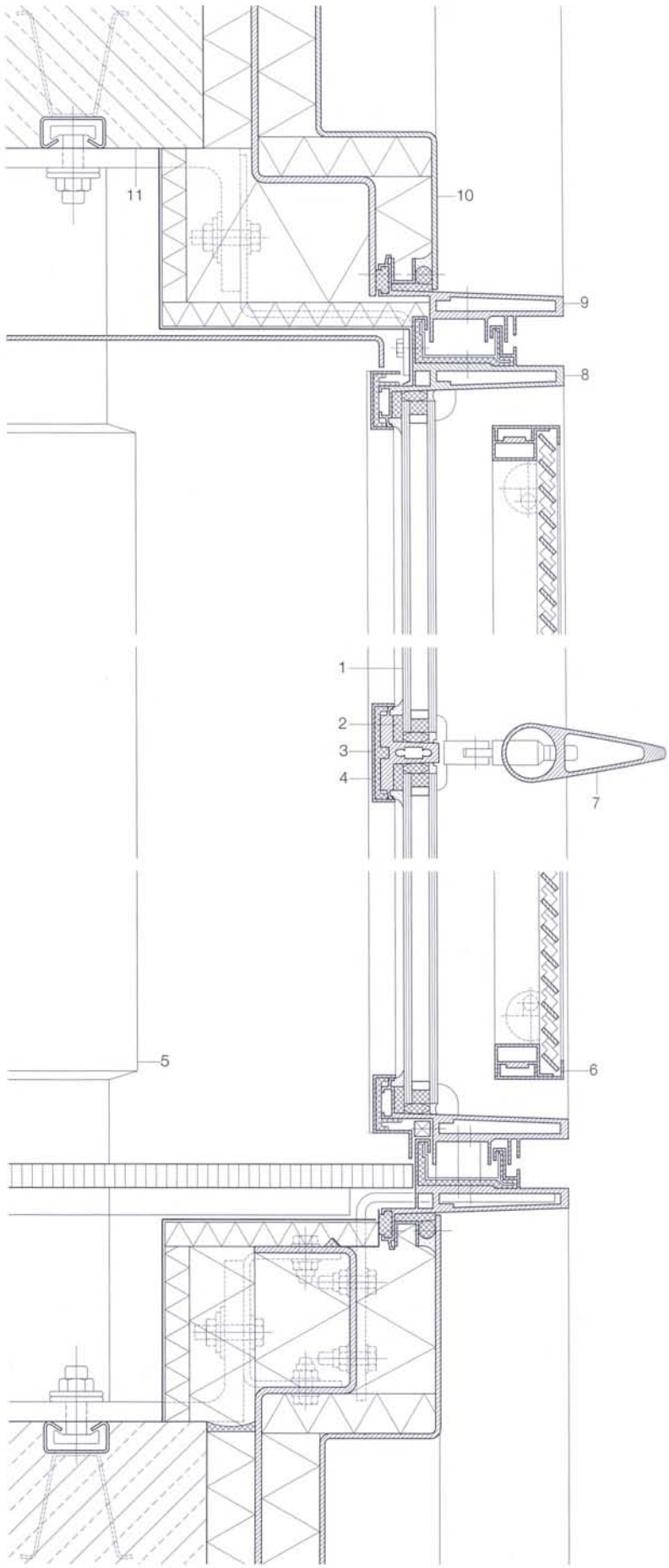
Lageplan
Maßstab 1:4000
Grundrisse
Erdgeschoss •
Bürogeschoss
Maßstab 1:1000
Axonometrie
Eingangsfassade mit
Darstellung der horizontalen Spannseile •
Vertikalschnitt
Eingangsbereich
Maßstab 1:250
Detailschnitt
obere Befestigung
und Glashalterung
Maßstab 1:10

1 Glasdach VSG 12 mm
2 gebogenes VSG 12 mm
3 Glasaufhängung Edelstahl mit Feder
4 Punkthalter mit Gelenk in der Scheibenebene
5 Vierpunktverbinder mit zwei Drehgelenken, Edelstahlguss
6 Edelstahlgelenkstange
7 dauerelastische Verfugung (Silikon)
8 Edelstahlseil Ø 34 mm



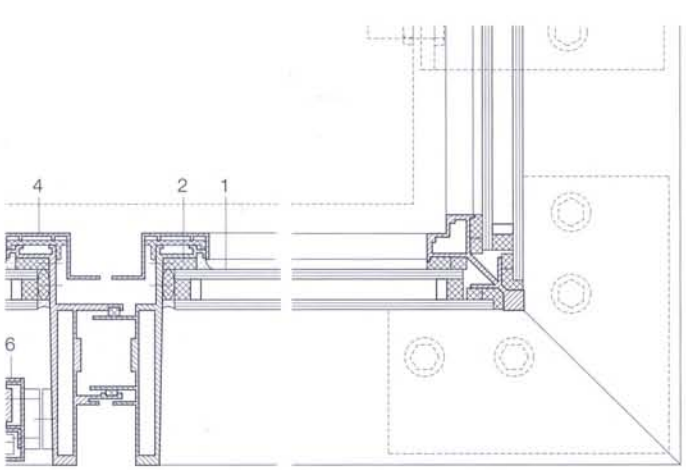
aa





Detailschnitte
Bürofassade · Obergeschoss
Maßstab 1:5
Aluminiumteile einbrennlackiert

1	Isolierverglasung 6 + SZR 15 + 6 mm Innenscheibe ESG	4	Aluminiumdeckprofil	8	Aluminium-Paneelrahmenprofil
2	tragende Silikonverklebung	5	Stütze Stahlbeton	9	Aluminiumprofil
3	thermische Trennung, Polyäthylen	6	Aluminium-Streckmetall in Aluminiumrahmen	10	Aluminium gekantet
		7	Aluminiumprofil für Horizontalaussteifung	11	Stahlbeton



Hochschulkomplex

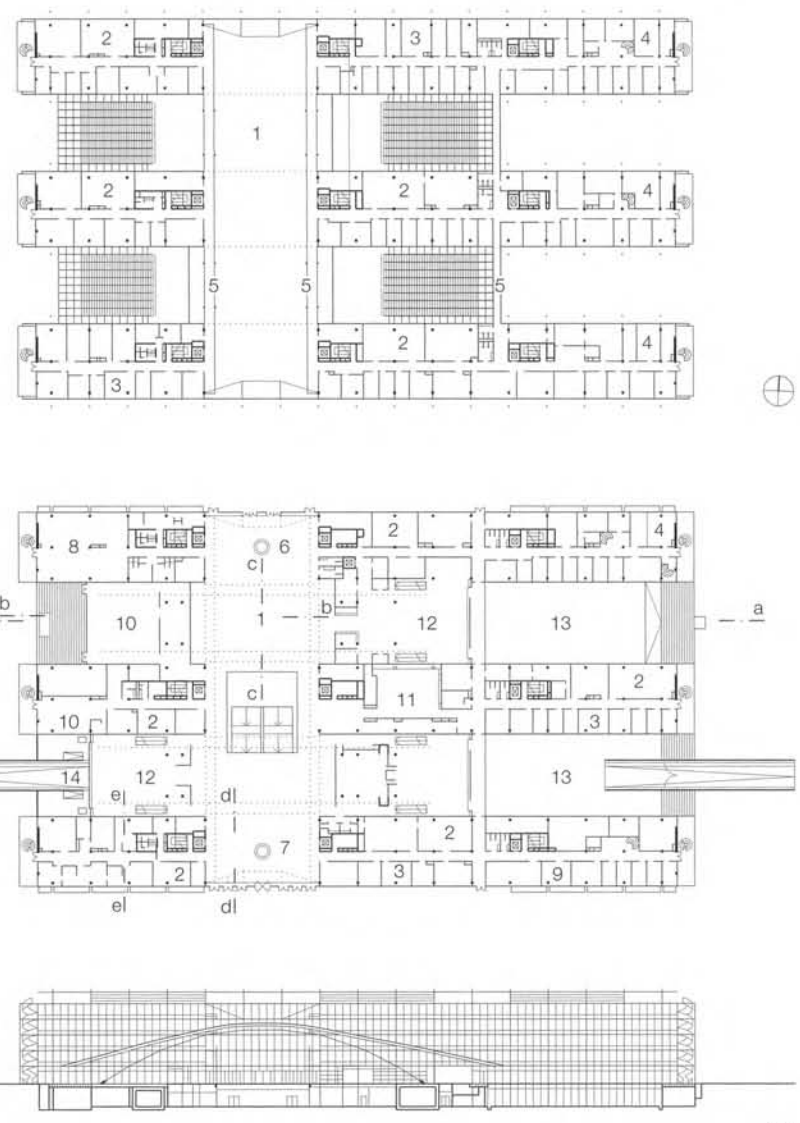
Marne-la-Vallée, F 1996

Architekten:
Chaix Morel & Partner, Paris
Philippe Chaix, Jean-Paul Morel,
Rémy Van Nieuwenhove
Mitarbeiter:
Benoît Sigros, Walter Grasmug, Nelly Breton,
Dietmar Feichtinger, Sophie Carré,
Denis Germond, David Mc Nulty,
Olivier Boiron, Laurent Bievelot,
Franck Hughes, Paolo Carrozzino,
Tragwerksplanung:
O. T. H. Bâtiments, Paris

Der Gebäudekomplex beherbergt zwei Hochschulen – die École Nationale des Ponts et Chaussées und die École Nationale des Sciences Géographiques. In drei parallel angeordneten Riegeln befinden sich die Hörsäle, Seminarräume, Labors und Büros. Dazwischen gehängte, gewölbte Glasdächer dienen als Bindeglieder. Sie überdecken auch das durch den gesamten Gebäudekomplex laufende, querverbindende Atrium und einige größere Räume wie die Bibliothek und die Mensa. Das Atrium bildet die bauliche Trennung der beiden unterschiedlich großen Universitäten und ist zugleich die gemeinsame Verkehrsfläche für alle Nutzer. Querlaufende Brücken innerhalb und außerhalb des Gebäudes verbinden die einzelnen Riegel miteinander.

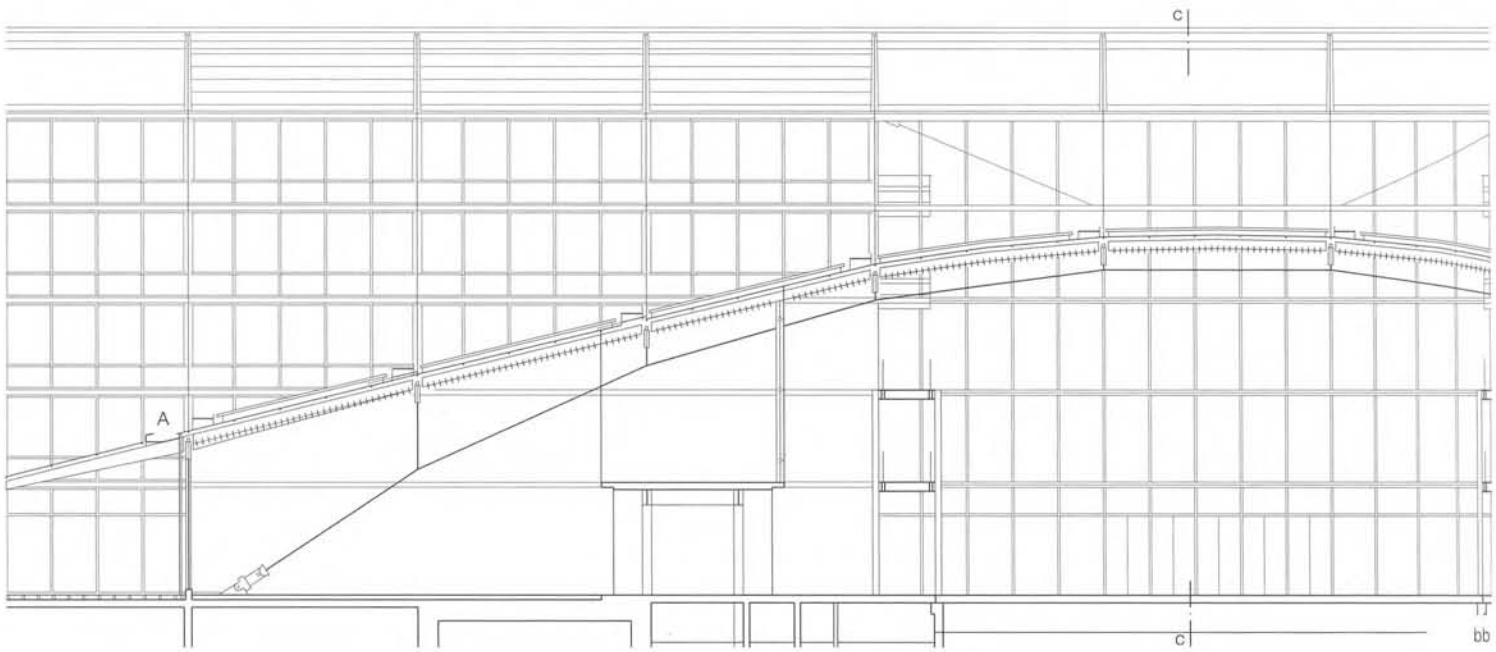
Eine Mischkonstruktion aus Stahlstützen und -trägern mit dazwischen gehängten, vorgespannten Betonhohldecken ermöglicht die Abhängung der bogenförmigen Glasdächer. Die durch die Wölbung entstehenden Lasten werden im Außenbereich der Dächer über horizontale Zugstäbe und geneigte Druckstreben vor den beiden Längsfassaden in vertikale Zugseile geleitet, die mit mächtigen Spannfedern im Boden verankert sind. Im Gebäudeinneren unter den gewölbten Glasdächern dienen bogenförmig gespannte Seile der Windaussteifung und verhindern das Abheben der Konstruktion. Alle Anschlüsse der Glasdächer an die angrenzenden Gebäuderiegel sowie an Fassaden und Trennwände sind flexibel ausgebildet, um die von Schnee- oder Windlasten verursachten, bis zu mehreren Zentimetern großen Bewegungen aufzunehmen. Abgehängte Metalllamellen unter den Glasdächern dienen dem Blendschutz und zur Verbesserung der Raumakustik. Der außen liegende textile Sonnenschutz wird bei starkem Wind automatisch eingefahren.

Die Längsfassaden, die als Pfosten-Riegel-Konstruktion ausgebildet sind, laufen im gleichen Rhythmus vor dem Atrium und den Bürotrakten durch. Im Bereich des Atriums, wo die Aussteifung durch Deckenscheiben fehlt, sind die Fassaden mit Stahlseilen hinterspannt. Überdimensionale Federn halten diese straff und sorgen für die nötige Elastizität.



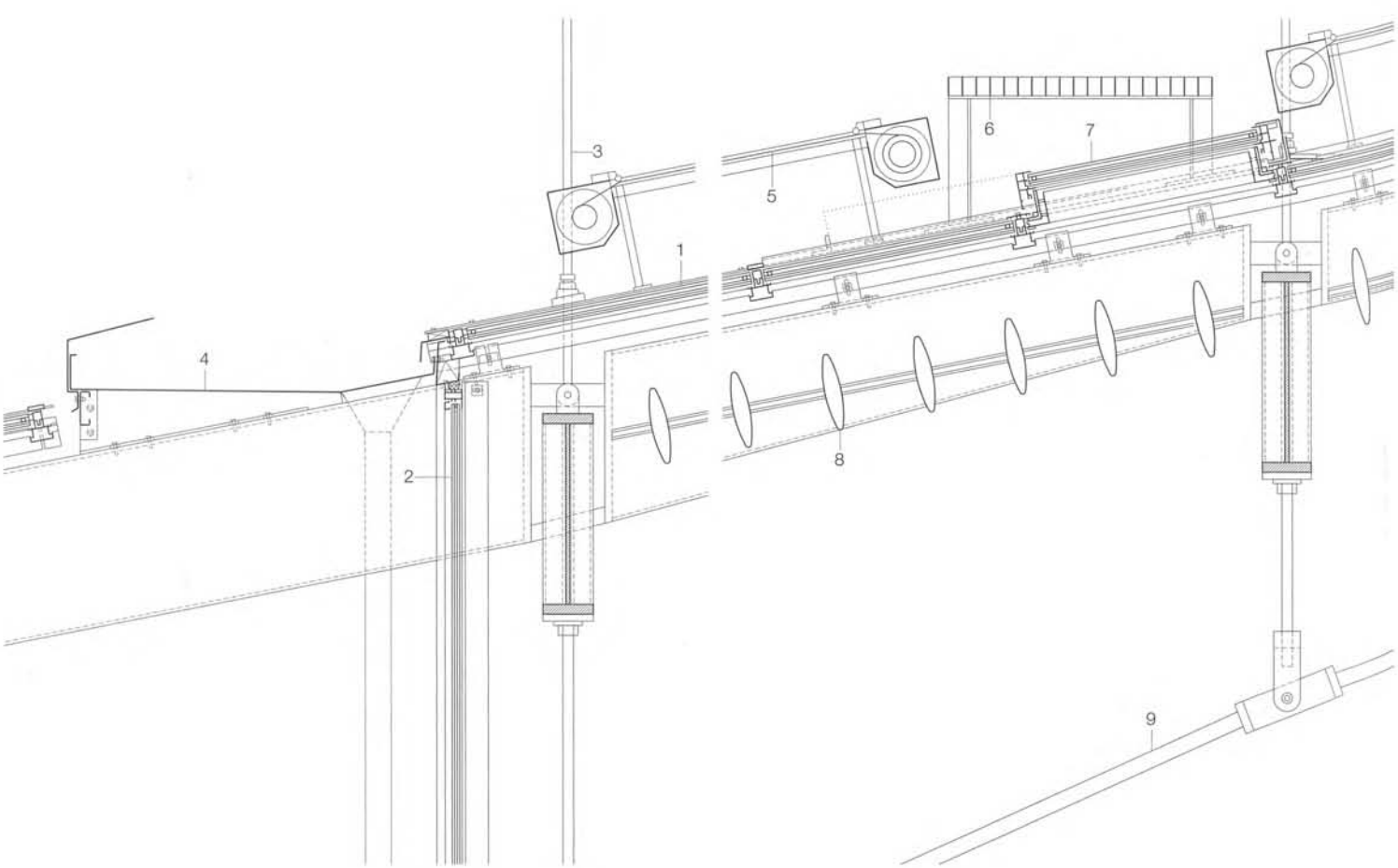
Grundrisse Erdgeschoss · 2. Obergeschoss · Schnitt
Maßstab 1:1500

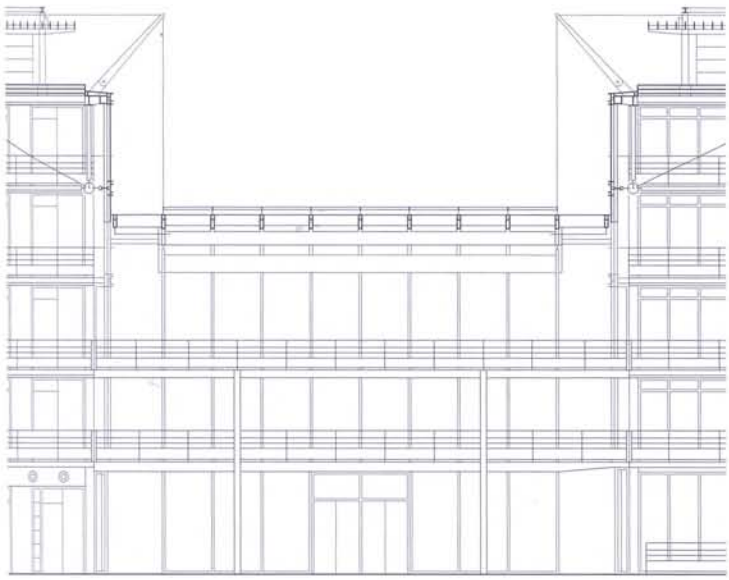
1 Atrium
2 Unterrichtsräume
3 Büros
4 Forschung
5 Verbindungssteg
6 Cafeteria
7 Empfang
8 Turnhalle
9 Labors
10 Kartographie
11 kleine Aula
12 Bibliothek
13 Luftraum
14 Tiefgaragenrampe



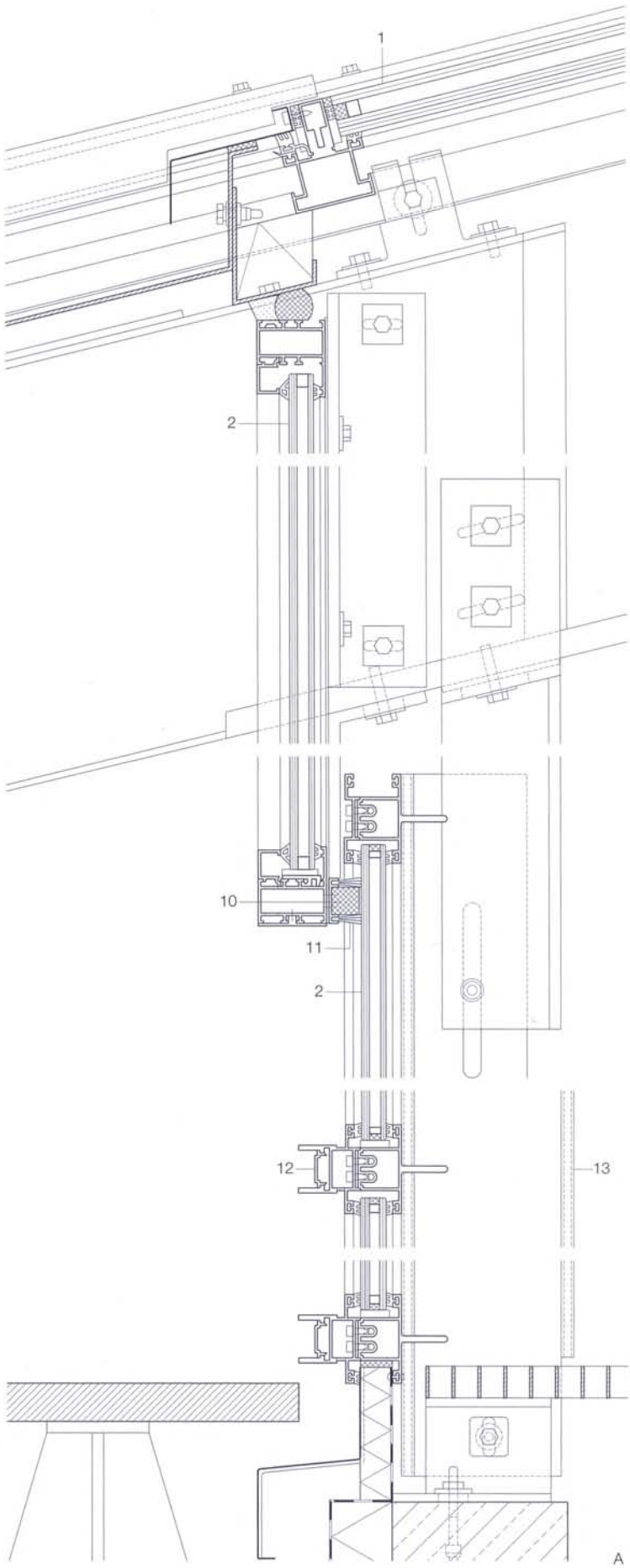
Schnitte
Maßstab 1:250
Vertikalschnitt A
Maßstab 1:20
Detailschnitt Traufe
Maßstab 1:5

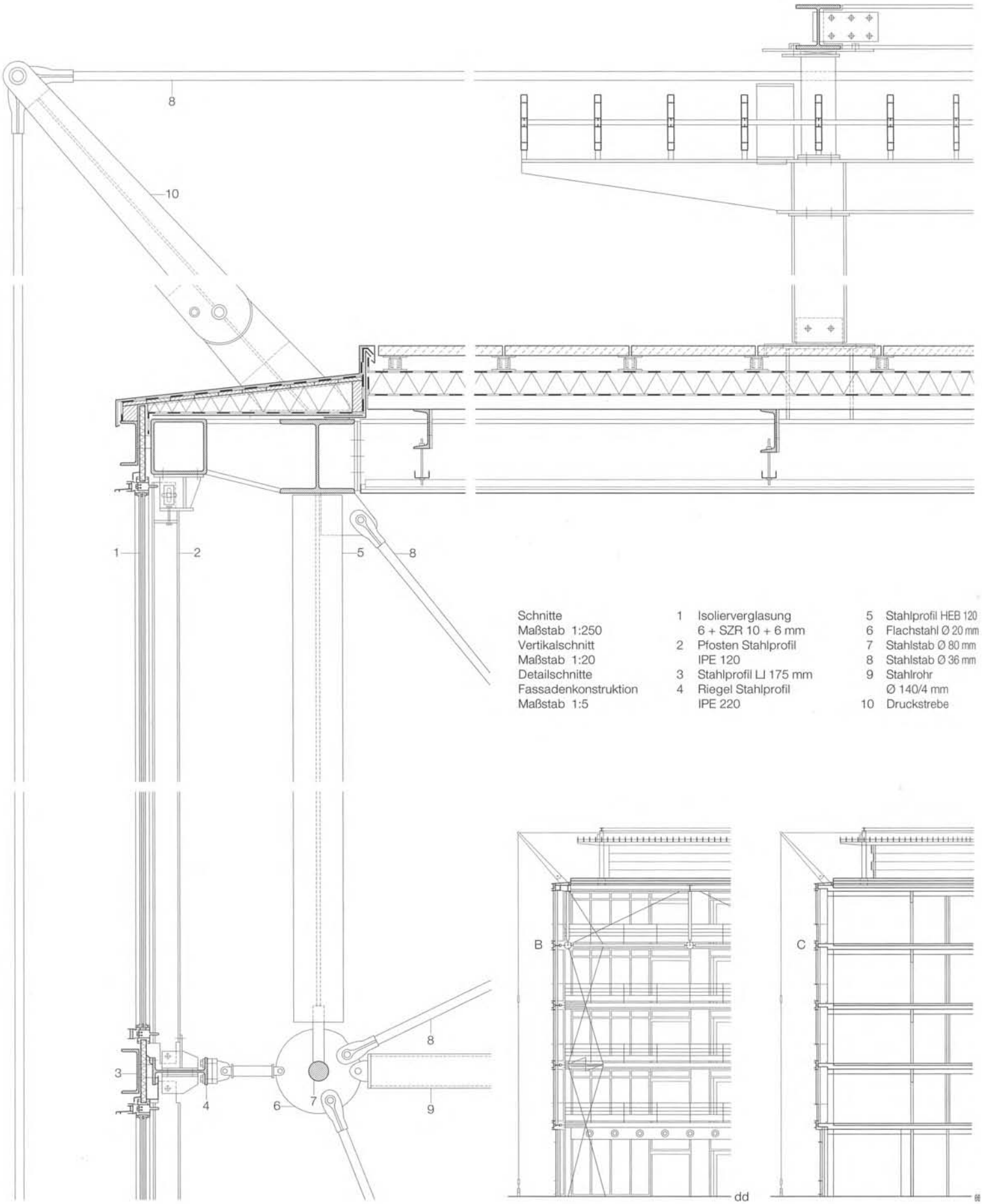
1 Isolierverglasung ESG 8 + SZR 12 + VSG 2× 4,5 mm
2 Isolierverglasung 6 + SZR 10 + 4 mm
3 Glasdachabhängung Stahlstab Ø 36 mm
4 Regenrinne Edelstahl
5 textiler Sonnenschutz
6 Wartungssteg
7 RWA-Schiebefenster
8 fest stehende Aluminiumlamelle perforiert, mit Mineralwolle gefüllt zur Verbesserung der Akustik
9 Unterspannung Stahlstab Ø 50 mm
10 Abstandhalter Polycarbonat
11 Bürstenabdichtung
12 Pressleiste Aluminium-Strangpressprofil
13 Fassadenpfosten Aluminium-Strangpressprofil





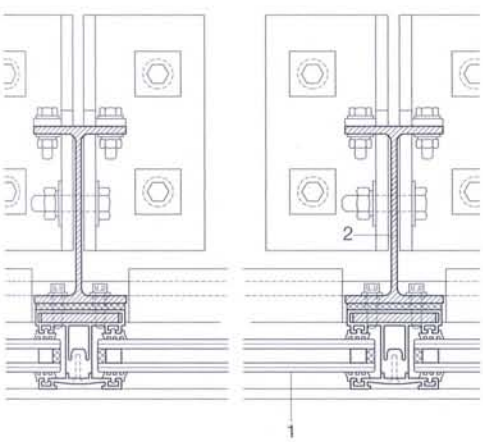
cc



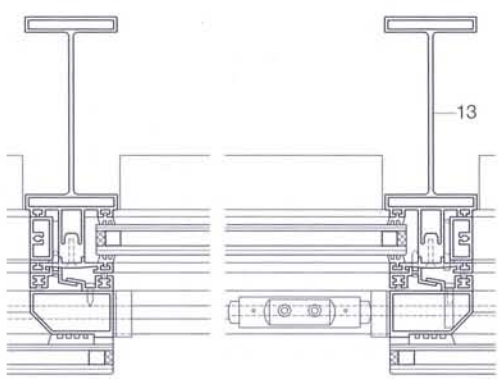


Schnitte
Maßstab 1:250
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitte
Fassadenkonstruktion
Maßstab 1:5

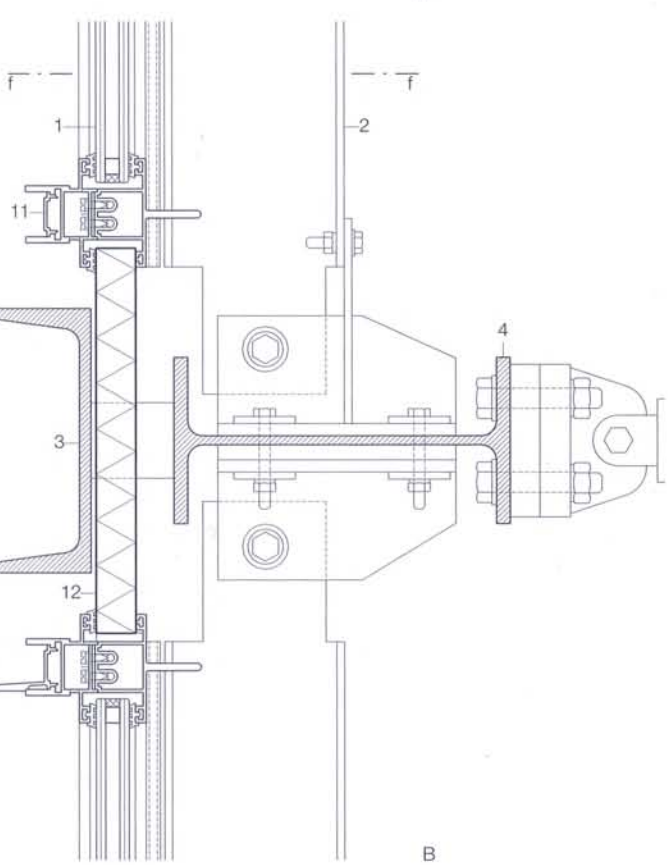
1 Isolierverglasung 6 + SZR 10 + 6 mm
2 Pfosten Stahlprofil IPE 120
3 Stahlprofil LJ 175 mm
4 Riegel Stahlprofil IPE 220
5 Stahlprofil HEB 120
6 Flachstahl Ø 20 mm
7 Stahlstab Ø 80 mm
8 Stahlstab Ø 36 mm
9 Stahlrohr Ø 140/4 mm
10 Druckstrebe



ff

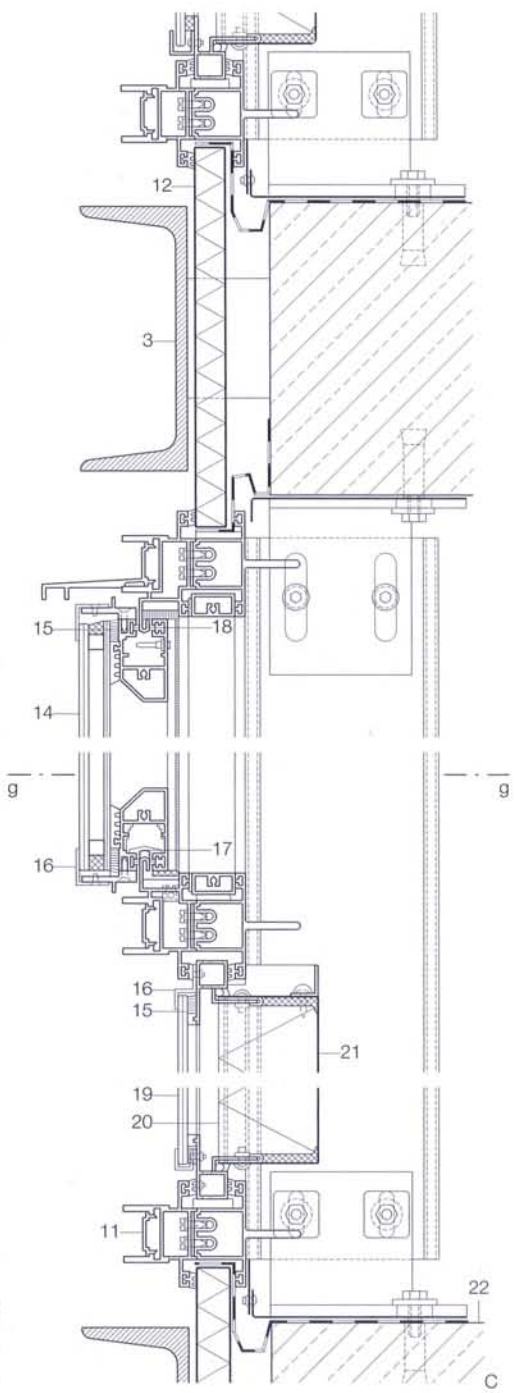


gg



B

11 Aluminium-Pressleiste
12 Dämmpaneel
13 Pfosten Aluminium-Strangpressprofil
14 horizontales Schiebefenster, Isolierverglasung 6 + SZR 10 + 4 mm auf Aluminium-rahmenkonstruktion geklebt
15 tragender Silikon-kleber
16 punktförmige, mechanische Sicherung, Edelstahl
17 Laufrolle
18 Bürstendichtung
19 Brüstungsverglasung ESG 6 mm bedruckt, dreiseitig auf Aluminiumrahmen-konstruktion geklebt
20 Wärmedämmung 60 mm
21 Stahlblech feuerverzinkt 1,2 mm
22 Stahlbeton

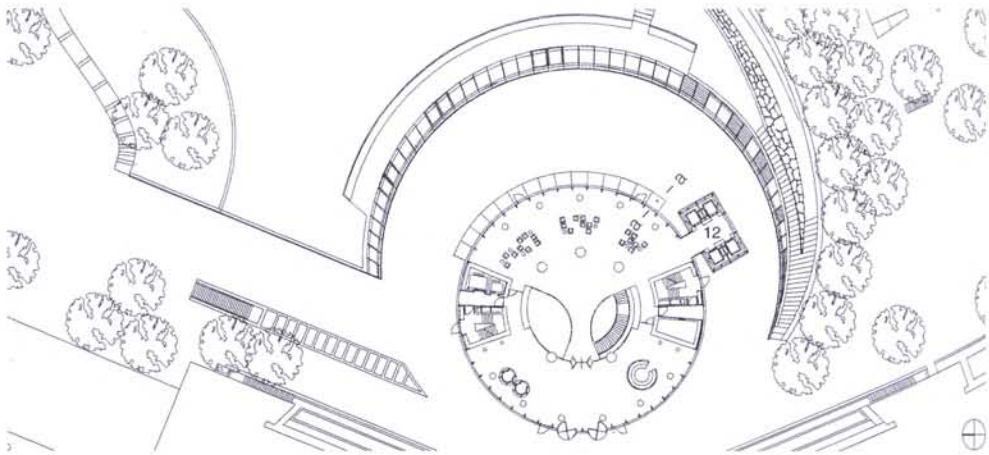


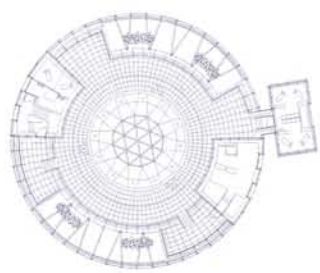
C

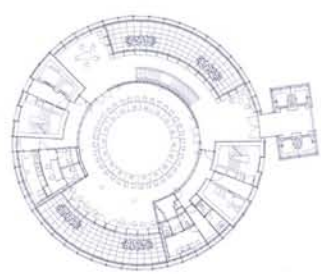
RWE-Hochhaus

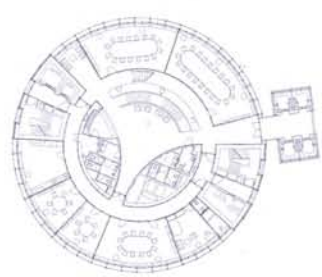
Essen, D 1997

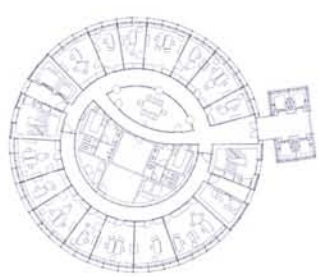
Architekten:
Ingenhoven Overdiek Kahlen und Partner, Düsseldorf
Ch. Ingenhoven, A. Nagel, K. Frankenheim, K.-J. Osterburg, E. Viera, M. Slawik, P.-J.-v. Ouwerkerk, C. de Bruyn, I.-Halmai, R. Wuff, J. Dvorak, F. Reineke, M.-Röhrig, S. Sahinbas, N. Siepmann
Tragwerksplanung: Hochtief, Essen
Haustechnikplanung: HL-Technik, München, Ingenieurgemeinschaft Kruck, Mülheim/Ruhr





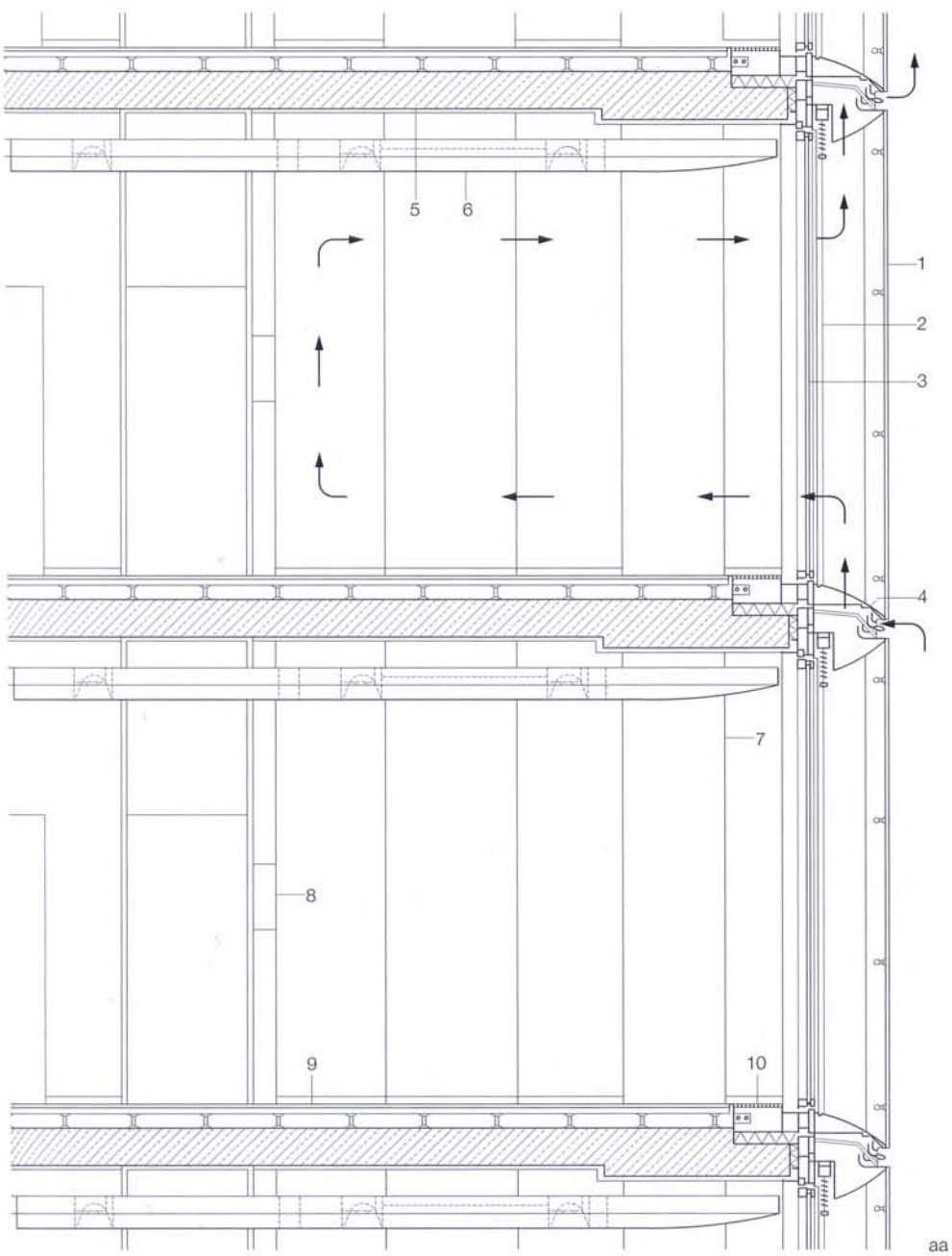






Der zylindrische Baukörper steht frei innerhalb einer heterogenen Blockbebauung. Durch die punktförmige Bündelung der Baumasse konnte an seinem Fuß ein reizvoller Grünbereich mit Wasserflächen mitten in der Innenstadt entstehen. Der Prämisse vom energiebewusst geplanten Hochhaus entsprechen Form und Ausstattung des Gebäudes. Der kreisförmige Grundriss bietet das günstigste Verhältnis von Flächeninhalt und Oberfläche. Die Zylinderform optimiert Winddruck, Wärmeverluste, Konstruktionsaufwand und Lichteinfall.
Trotz der alles umschließenden gläsernen Gebäudehülle bleiben die verschiedenen Nutzungen ablesbar: die Eingangshalle, die Bürogeschosse, die Technikgeschosse und der Dachgarten. Die vertikale Erschließung befindet sich in dem angegliederten Aufzugsturm, was innerhalb der Geschosse zur leichten Orientierung beiträgt. Diese gliedern sich in Kernzonen für gemeinschaftliche und kommunikative Nutzungen, teils mit geschossverbindenden Innentreppen, Ringflure und die außen liegenden Büroräume.
Ein besonderes Augenmerk wurde auf den optimale Tageslichteinfall in allen Arbeitsräumen gelegt. Die Tageslichtnutzung wird durch eine raumhohe Verglasung mit extraweißem Glas sowie durch eine sich zur Fassade verjüngende Deckenform optimiert. Über Oberlichter gelangt natürliches Licht auch in die zentralen, innen liegenden Bereiche. Die gebäudetechnische Ausstattung ist auf die individuellen Bedürfnisse der Nutzer zugeschnitten. Sie können Außenluft hereinlassen – stoßweise oder permanent – und auch Beleuchtung, Temperatur, Sonnen- und Blendschutz in jedem Raum individuell einstellen. Lassen extreme Wetterbedingungen das Öffnen der Fenster nicht zu, werden die Räume von einer Anlage mit minimalem Luftwechsel belüftet. Die Betondecken sind mit perforierten Blechen verkleidet, um ihre Wärmespeicherfähigkeit zu nutzen. In den abgehängten Deckenelementen sind neben Leuchten, Rauchmeldern und Sprinklern auch Kaltwasser-Kühlrohre integriert, die eine zugfreie Raumkühlung ermöglichen.
Die Fassade des Hochhauses ist als doppelschalige Lüftungsfassade ausgebildet. Kennzeichnend ist eine durchgehende Glasfront,

Grundrisse Erdgeschoss • Normalgeschoss • Besprechungsebene • Konferenzsaal • Dachgarten
Maßstab 1:1000
Vertikalschnitt
Maßstab 1:50

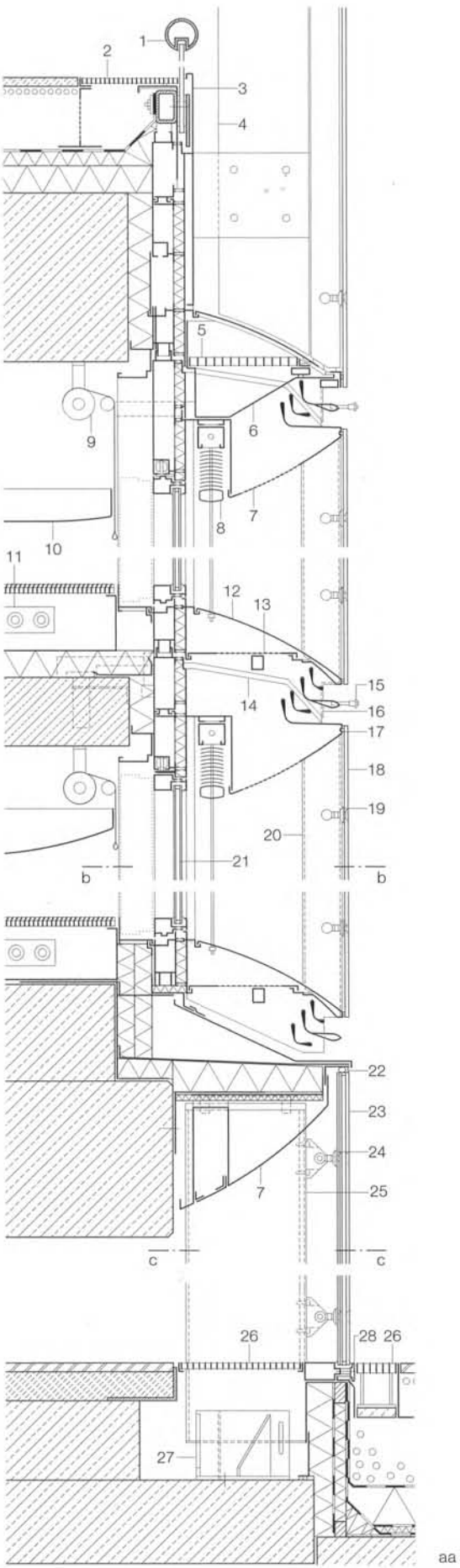


aa

1 äußere Fassade
2 Sonnenschutz
3 innere Fassade
4 Belüftungselement
5 Geschossdecke
6 multifunktionales Deckenelement
7 Stahlbetonstütze
8 Steuerungstableau
9 Hohlraumboden
10 Konvektorschacht

die einer konventionellen, wärmegedämmten Gebäudehülle vorgelagert ist. Die äußere einfachverglaste Haut ist über die Dachkante hinausgezogenen und schützt auch den Dachgarten im 30. Geschoss vor zu starkem Wind. Im 50 cm breiten, geschoss- und achsweise abgetrennten Fassadenkorridor liegt wettergeschützt und nach energetischen Gesichtspunkten konzipiert der Sonnenschutz. In der Innenfassade gibt es raumhohe Schiebeflügel, deren Öffnungsmaß für den Normalbetrieb auf 135 mm begrenzt ist. Zu Reinigungs- und Wartungszwecken lassen sie sich vollständig öffnen. Von außen wird die Frischluft über eine 150 mm breite Fuge und Luftleitbleche in einen konvex geformten Luftkanal geleitet. Dessen Abschlussbleche sind in Bodennähe in einem Fassadenelement perforiert, im benachbarten geschlossen. In Deckennähe ist es umgekehrt, so dass eine diagonale Durchlüftung gewährleistet und ein geschossweiser Überschlag verbrauchter Luft ausgeschlossen ist. Die Fassade ist als Elementfassade ausgebildet: Pro Geschoss und Achse sind alle Komponenten der inneren und äußeren Schale wie Glas, Fensterflügel und Paneele in einem einzigen, im Werk gefertigten Element integriert. Die 2 × 3,60 m bzw. 3,80 m großen Teile wurden im LKW auf die Baustelle transportiert und hier direkt in die vorgesehenen Befestigungsvorrichtungen an den Geschossdecken eingehängt.

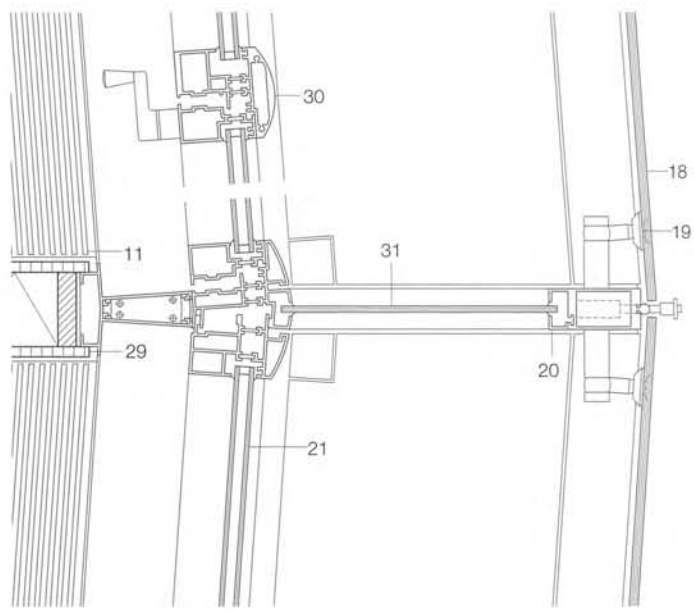
Die geschosshohe Schrägverglasung im 1. Untergeschoss trennt Speise-, Konferenz- und Aufenthaltsräume vom Park. Ihre Geometrie entspricht der Abwicklung eines Kegelstumpfes. Computergesteuerte Fertigungstechnik ermöglicht die komplizierte geometrische Umsetzung mit unterschiedlichen Profil- und Scheibenzuschnitten. Drei schräg liegende, raumhohe Öffnungselemente, die hydraulisch mittels Hubzylindern bewegt werden, stellen die Verbindung der Räume zur Seeterrasse her.



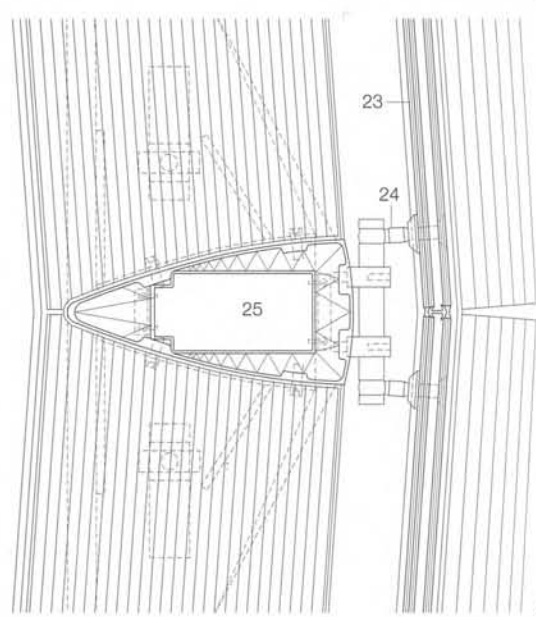
aa

Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitte Fassade
Maßstab 1:10

1 Brüstung:
eingespannte ESG-Weißglasscheibe
12 mm mit Handlauf Aluminiumrohr Ø 100 mm
2 Gitterrostabdeckung der Entwässerungsrinne
3 Abdeckprofil
4 Pfosten für zweigeschossige Terrassenverglasung,
Aluminiumrohr ⍁ 50/280 mm, einbrennlackiert
5 Gitterrost
6 beheiztes Rinnenblech 4 mm, Entwässerungsführung
in der Fassadenachse innerhalb der Abhangdecke
7 Zwischenraumentlüftung durch perforiertes Alumini-
umblech in jedem zweiten Feld (Nachbarfeld geschlossen),
4 mm Naturton eloxiert
8 Sonnenschutz: Jalousien Aluminiumlamellen
9 textiles Blendschutzrollo
10 multifunktionales Deckenelement, Blech einbrennlackiert,
teilweise gelocht
11 Bodenkonvektor

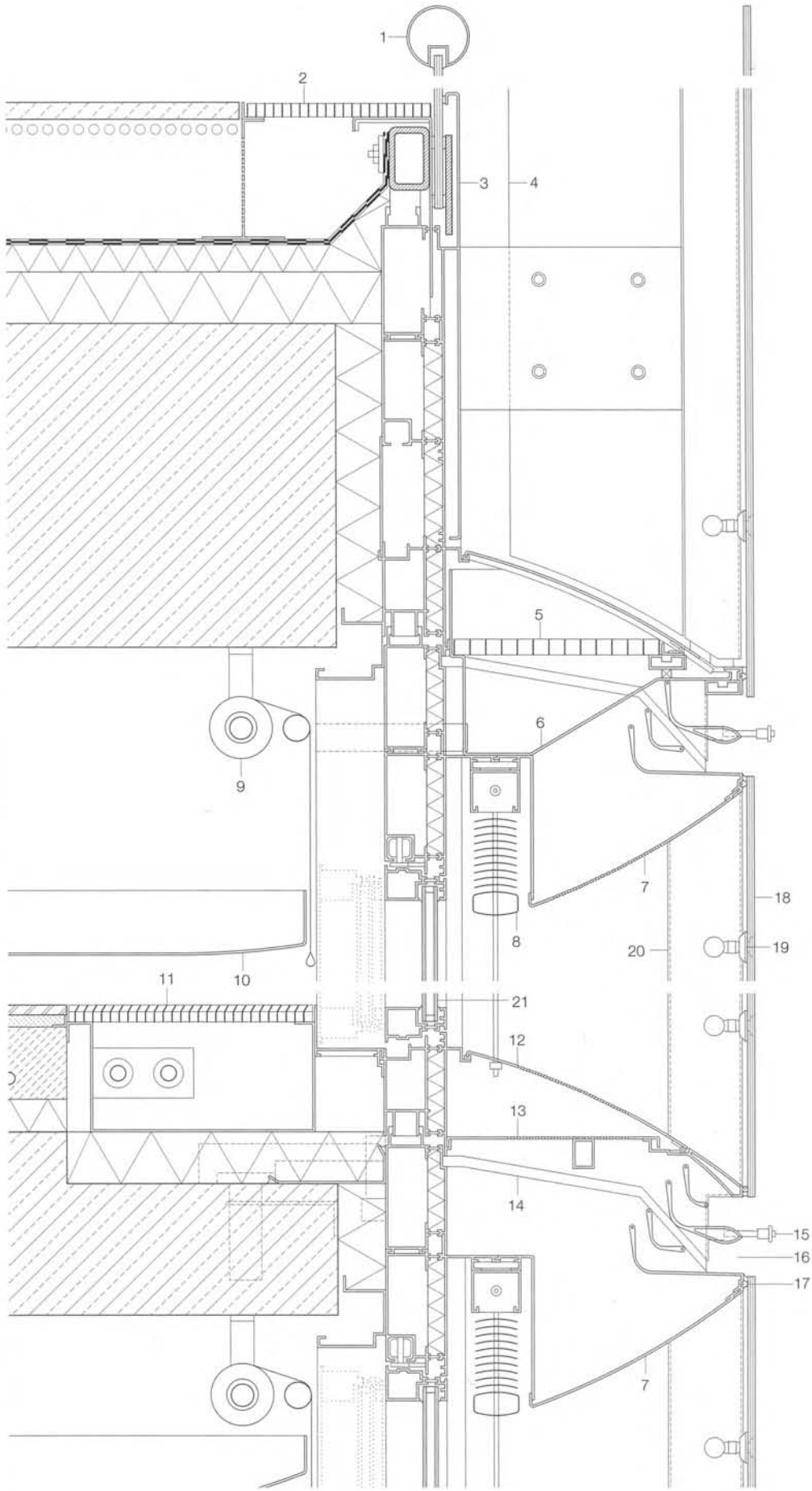


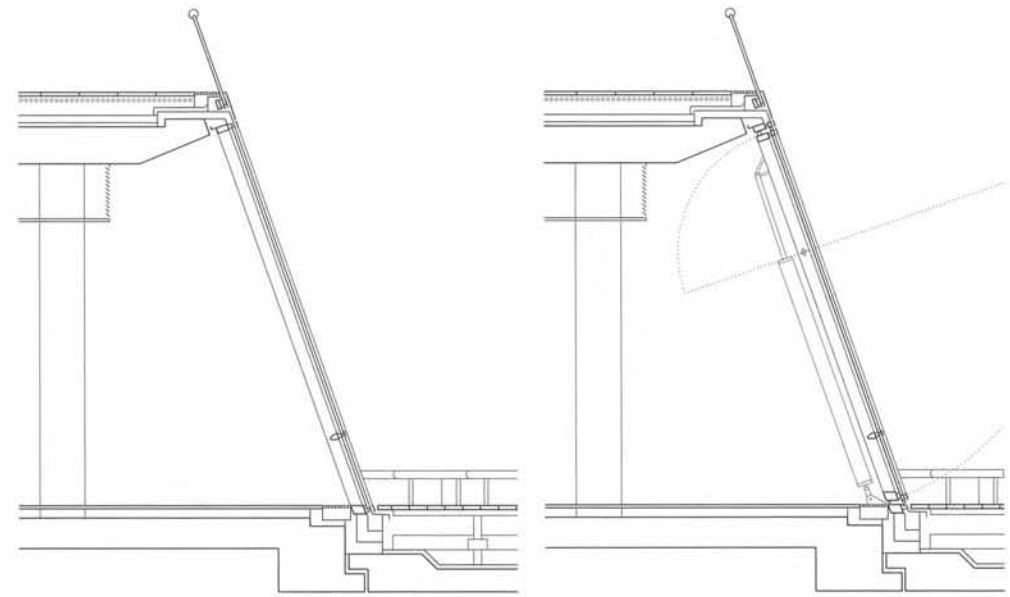
bb

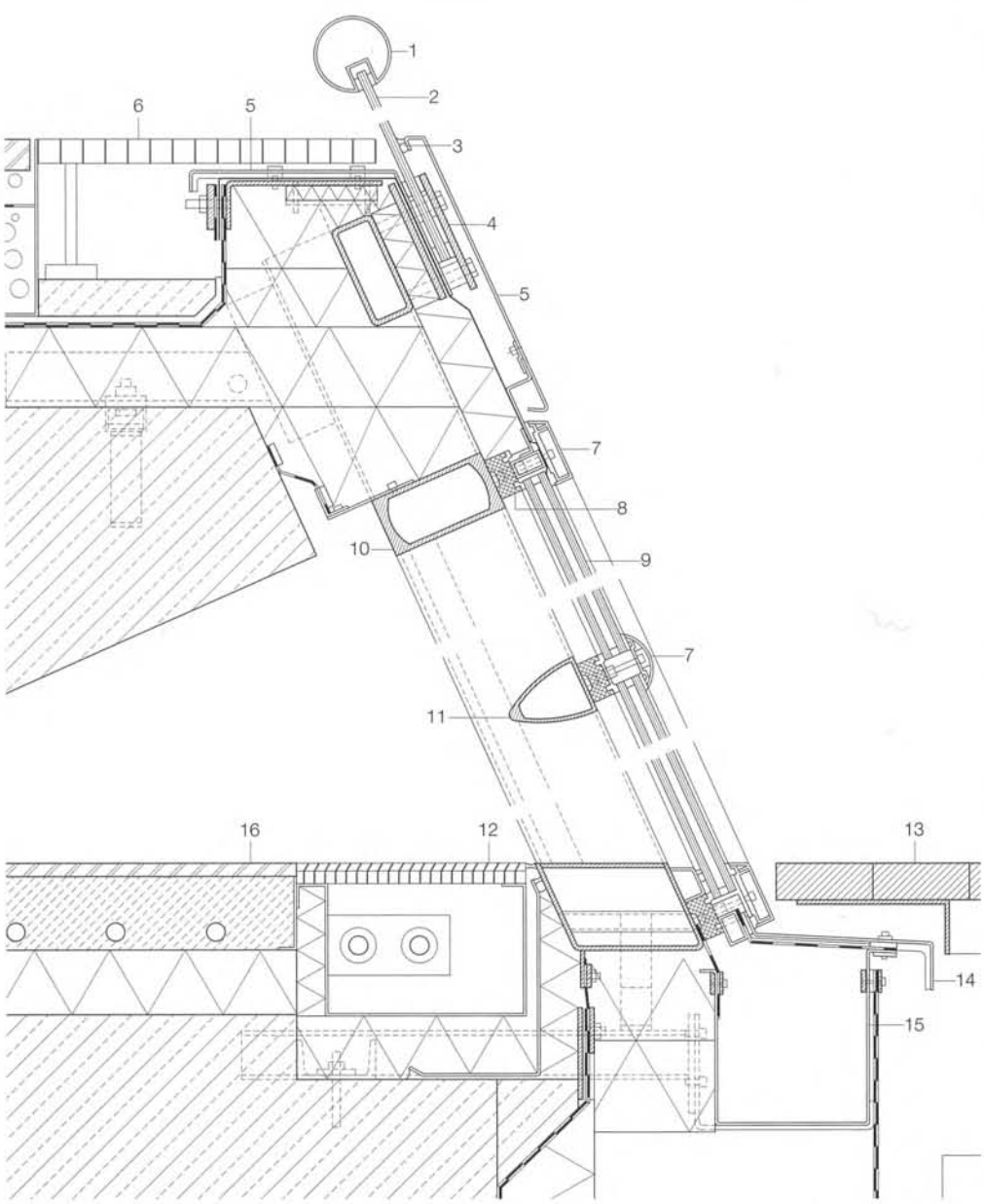


cc

12 Aluminiumblech geschlossen (im Nachbarfeld perforiert), 4 mm Naturton eloxiert aufklappbar über Scharnier
13 Lauffläche für Reinigung und Revision
14 Paneelstoß, Montagefuge
15 Fixierknopf für Befahranlage
16 horizontale Lüftungsfuge mit Aluminium-Strömungslamellen, Naturton eloxiert
17 EPDM Dichtungsprofil
18 äußere Fassade: ESG-Weißglas 10 mm
19 Punkthalterung Edelstahl
20 Fassadenpfosten, Aluminiumprofil 50/120 mm
21 innere Fassade: Geschosshohe Wärmeschutzverglasung, Weißglas in Aluminiumprofilen
22 Silikonverfugung auf Fugenschlauch
23 Isolierverglasung ESG 10 + SZR 14 + VSG 12 mm
24 Punkthalterung Edelstahl für Isolierverglasung
25 Fassadenstütze Aluminium
26 Metallrost
27 Stützenfuß justierbar
28 Aluminium-Pressleiste
29 elementierte Bürotrennwand 175 mm, Buchenholzpaneele gelocht, matt lackiert
30 Schiebetürelement mit Drehkurbel (in jedem 2. Feld)
31 Zwischenschotte, ESG-Weißglas







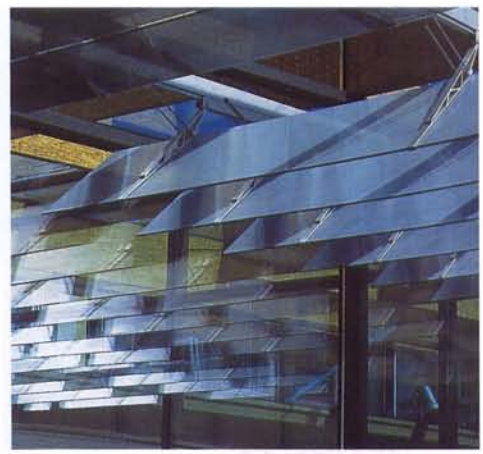
Vertikalschnitt Schrägverglasung im 1. Untergeschoss (Cockpit-Fassade) • Schwenktor
Maßstab 1:100
Detailschnitt Schrägverglasung
Maßstab 1:10

1 Handlauf Aluminiumprofil Ø 100 mm natureloxiert mit Silikon auf Weißglas geklebt
2 Weißglas ESG 12 mm
3 Silikondichtung
4 Stahl-Pressplatte/EPDM-Unterlage
5 Aluminiumblech natureloxiert
6 Gitterrost
7 Aluminium-Pressleiste
8 EPDM-Profil
9 Isolierverglasung ESG 10 + SZR 12 + VSG 12 mm
10 Stahlrohr ▱ 180 × 80 × 8 mm scharfkantig
11 Riegel T-Stahlprofil
12 Konvektorschacht mit Gitterrostabdeckung
13 Holzbohlenbelag aufgeständert
14 Edelstahlblech 3 mm antidröhnbeschichtet
15 Entwässerungsrinne Edelstahlblech 2 mm
16 Natursteinbodenbelag

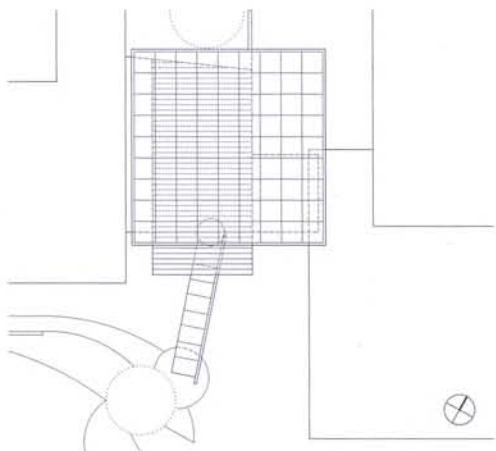
Glasdach Industrie- und Handelskammer

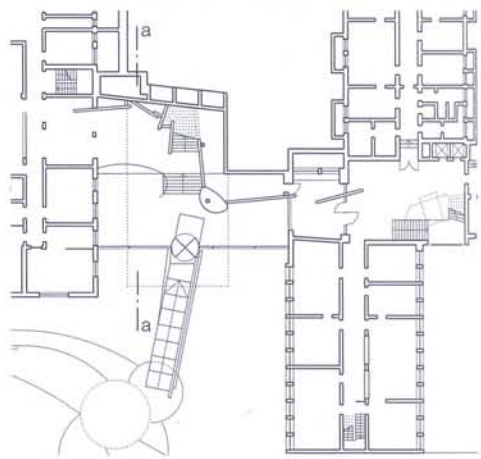
Stuttgart, D 1996

Architekten:
Kauffmann Theilig & Partner, Stuttgart
Andreas Theilig, Dieter Ben Kauffmann,
Rainer Lenz
Projektarchitekt:
Gerhard Feuerstein
Mitarbeiterin:
Tanja Kampusch
Tragwerksplanung:
Pfefferkorn & Partner, Stuttgart
Energieplanung: Transsolar, Stuttgart
Matthias Schuler, Volkmar Bleicher

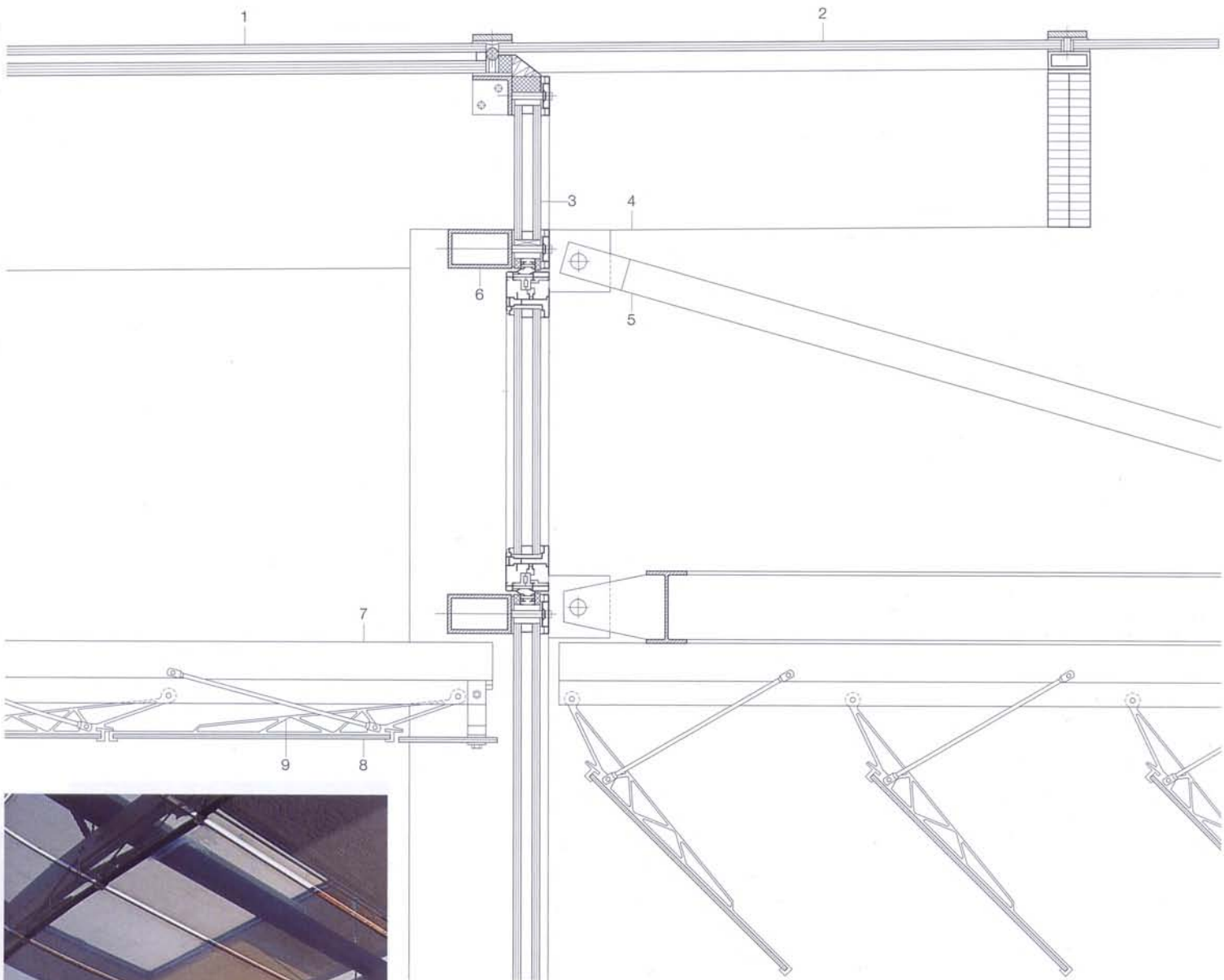


Grundriss Erdgeschoss •
Dachaufsicht •
Maßstab 1:1000
Schnitt Maßstab 1:200
Detailschnitt Glasdach
Maßstab 1:10

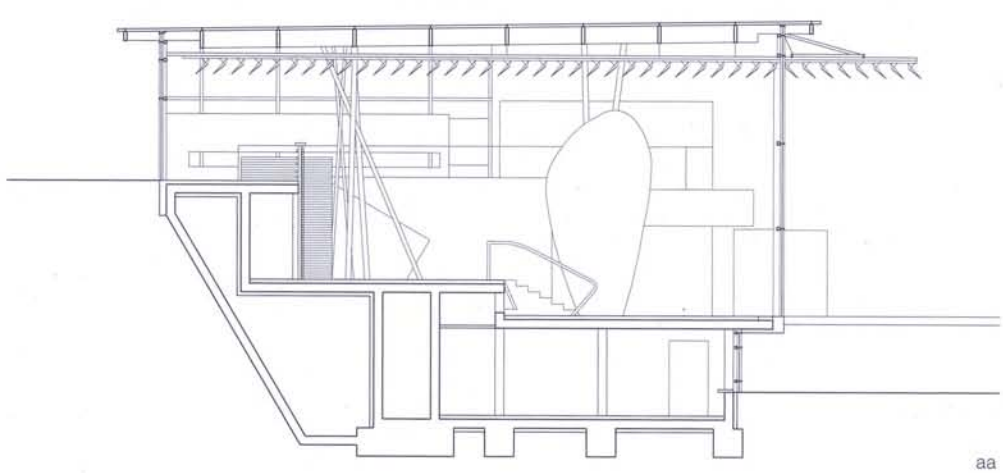




Um den Raum zwischen den beiden 1950er-Jahre-Bauten nicht zu verstellen, sollte das Eingangsgebäude mit Empfang und Wartezone nicht massiv, sondern möglichst transparent und leicht erscheinen. Die Primärkonstruktion des zweischaligen Dachs bildet ein Holzrost im Raster von 2 × 2 m, Hierauf auf dem in gleicher Elementgröße die äußere Glasschicht als Wärmeschutzverglasung aufliegt. 80% dieser Glasfläche sind transparent, 20% sind als geschlossene Paneele oder Photovoltaikelemente ausgebildet. Auf der Unterseite schließen Glaslamellen das Daches ab. Sie sind nach außen zur Akzentuierung des Eingangs weitergeführt. Die verstellbaren Elemente dienen der Verschattung und Tageslichtlenkung und ermöglichen es, das Dach den Bedingungen der verschiedenen Jahreszeiten und Klimazuständen anzupassen. Außerdem erlauben sie auch im geschlossenen Zustand einen Durchblick nach draußen. Im Winterbetrieb entsteht bei geschlossenen Lamellen eine Pufferschicht. Der Dämmwert des Dachs wird um bis zu 30% verbessert. An sonnigen Wintertagen oder in den Übergangszeiten sind die Lamellen geöffnet, die Sonnenenergie wird zur Erwärmung des Raumes genutzt. Im Sommer bei Tagesbetrieb sind die Lamellen leicht schräg gestellt. Solarbetriebene Lüfter können so die warme Luft im Dach abtransportieren und gleichzeitig kühle Luft aus dem bestehenden Luftschutzkanal, der in den Berg integriert ist, nachziehen.
In einer Sommernacht stehen die Lamellen offen, damit der Raum leichter durchlüften und so Wärme abführen kann. Als Speichermassen dienen der Steinfußboden und die seitlichen Wände. Die Beheizung erfolgt über eine Fußbodenheizung, ergänzt von Unterflurkonvektoren. Aufgrund der hochwertigen Verglasung werden keine Rippenrohre oder andere Heizkörper über die 8 m hohe Fassade benötigt. Die Kühlung im Sommer geschieht über die Luftzufuhr durch den Luftschutzstollen. Die genutzte Stollenlänge wurde so dimensioniert, dass eine Innentemperatur in den Aufenthaltszonen der Halle unter 28 °C auch bei starker Sommerhitze garantiert werden kann.



1 Isolierverglasung 36 mm bedruckt 2 % Neigung, untere Scheibe VSG
2 VSG 16 mm
3 Isolierverglasung 36 mm
4 Gitterkonstruktion Brettschichtholz
5 Stahlrohr 50 mm
6 Fassadenriegel Aluminium-Pressleiste
7 Führungsschiene für Glaslamellen Aluminium
8 Glaslamelle VSG aus 2× 4 mm TVG 60 % bedruckt
9 Aluminiumträger

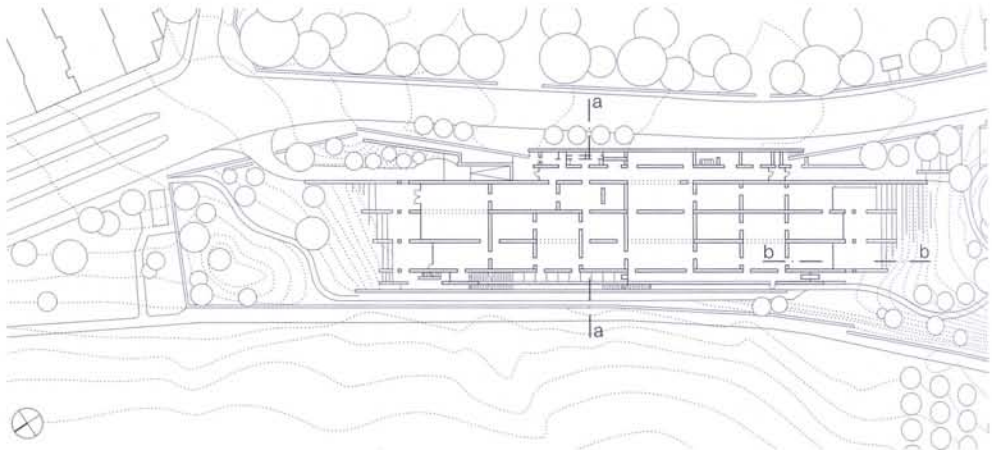


aa

Kunstmuseum

Basel, CH 1997

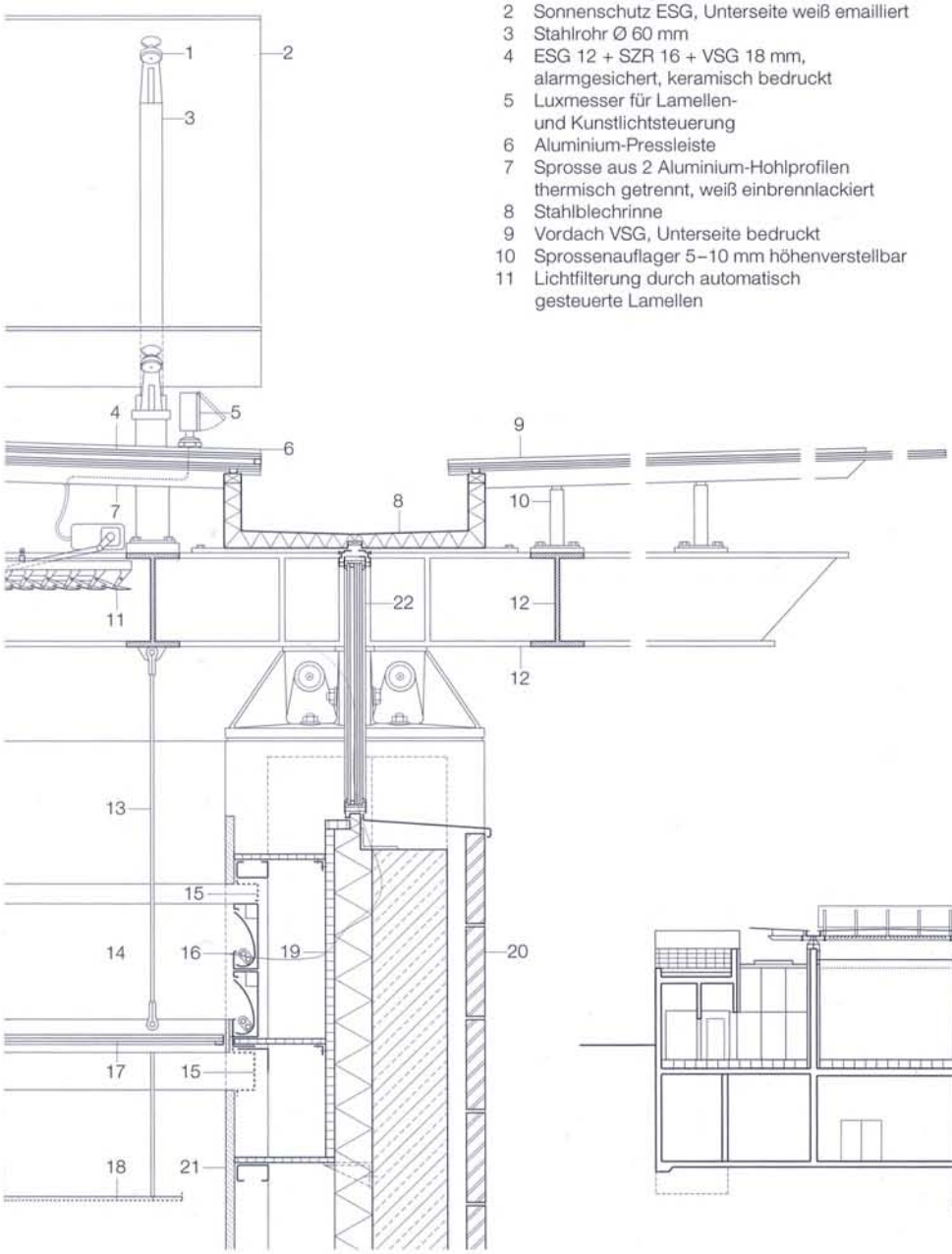
Architekten:
Renzo Piano Building Workshop, Paris
Renzo Piano, Bernard Plattner, Loïc Couton
Mitarbeiter:
William Mathews, Ronnie Self, Pascal Hendier
Bauleitung und Ausführung:
Burckhardt + Partner, Basel
Jörg Burckhardt, Hugo Lipp
Tragwerksplanung:
Ove Arup & Partners, London

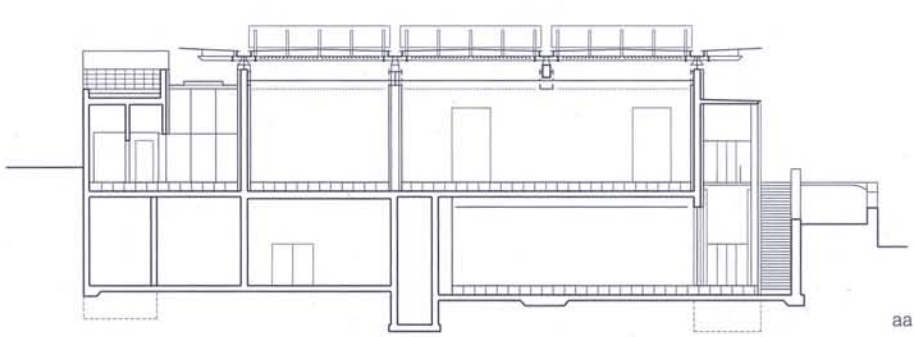


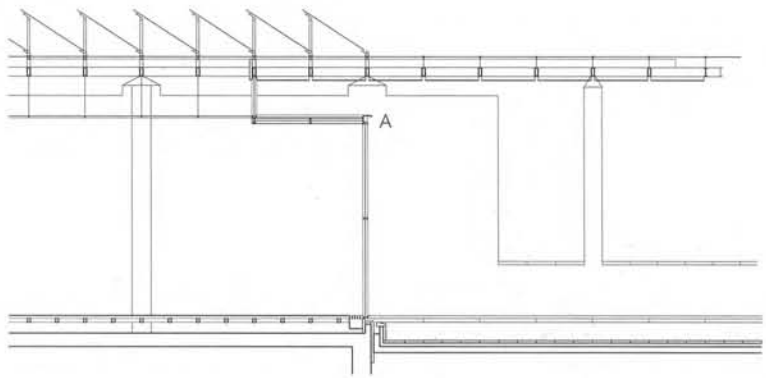
Vier je 130 m lange, parallel geführte Wandscheiben bestimmen das Raumkonzept des Museums. Nur die äußeren Betonscheiben sind massiv. Die inneren Wände bestehen aus Stahlbetonstützen und sind mit Gipskarton verkleidet. In ihren Hohlräumen ist die Haustechnik untergebracht. Der längliche Baukörper öffnet sich nach Norden und Süden durch raumhohe Verglasungen in Pfosten-Riegel-Konstruktion. Die Pfosten befinden sich auf der Außenseite und sind aus drei Flachstahlprofilen gefertigt, die, gegeneinander versetzt montiert, eine mittige Schattenfuge bilden. Das Glasdach besteht aus mehreren Schichten: Auf einem Trägerrost aus Stahlprofilen lagern insgesamt drei flach geneigte Satteldächer aus Glas. Zwischen den einzelnen Dächern nehmen Stahlblechrinnen, die in der Flucht der Wandscheiben über die gesamte Gebäudelänge geführt sind, das Regenwasser auf. Die Sprossen der Satteldächer bestehen aus einbrennlackierten Aluminiumprofilen, die auf höhenverstellbaren Punktauflagern befestigt sind. Eine darüber liegende Konstruktion aus schräg gestellten Glaselementen dient als außen liegender Sonnenschutz und ist zugleich das markanteste Bauelement des Museums. Die schrägen, auf der Rückseite weiß emaillierten Scheiben mindern die direkte Sonneneinstrahlung, lassen jedoch das diffuse Nordlicht ungehindert in die Ausstellungsräume. Eine dritte Verglasungsebene bildet die vom Trägerrost abgehängte Decke im Gebäudeinnern. Sie schließt einen ca. 1,40 m hohen Zwischenraum ab, der sowohl Pufferzone für Temperaturschwankungen als auch Hohlraum für technische Installationen ist. Hier befinden sich z.B. die Beleuchtungskörper und die sensorgesteuerten, beweglichen Lamellen zur Streuung des natürlichen Lichts. Eine unter der Abhängung montierte, halbtransparente Decke aus mit weißem Stoff bespannten Lochblechen dient als weitere Maßnahme der Lichtfilterung. An den beiden Schmalseiten des Museums wurde der glasgedeckte Trägerrost weit über die Gebäudekanten hinausgeführt, wodurch zwei sonnengeschützte Zonen entstanden. Durch die leicht aufwärtsgeneigte Auskragung an den Längsseiten wirken die Glasdächer beinahe wie schwebend.

Lageplan
Maßstab 1:2000
Schnitt
Maßstab 1:500
Detailschnitt Traufe
Maßstab 1:20

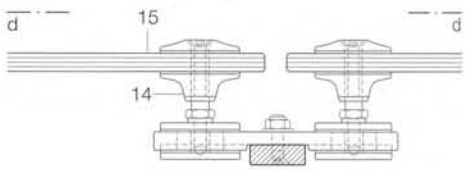
1 Punkthalterung Edelstahl
2 Sonnenschutz ESG, Unterseite weiß emailliert
3 Stahlrohr Ø 60 mm
4 ESG 12 + SZR 16 + VSG 18 mm, alarmgesichert, keramisch bedruckt
5 Luxmesser für Lamellen- und Kunstlichtsteuerung
6 Aluminium-Pressleiste
7 Sprosse aus 2 Aluminium-Hohlprofilen thermisch getrennt, weiß einbrennlackiert
8 Stahlblechrinne
9 Vordach VSG, Unterseite bedruckt
10 Sprossenauflager 5–10 mm höhenverstellbar
11 Lichtfilterung durch automatisch gesteuerte Lamellen
12 Trägerrost aus I-Stahlprofilen mit Brandschutzanstrich
13 Glasdeckenabhängung, Stahlrohr Ø 15 mm
14 Luftraum
15 Entlüftungsauslass
16 indirekte Beleuchtung
17 VSG zu Wartungszwecken begehbar
18 Unterdecke, Metallraster mit Stoffbespannung
19 MDF-Platte
20 Fassadenbekleidung, argentinischer Porphyr
21 Gipskartonverkleidung
22 Isolierverglasung einbruchsicher, 3× VSG + SZR + ESG



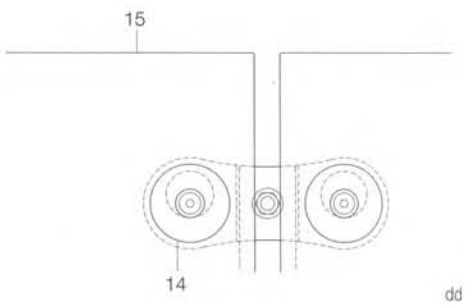




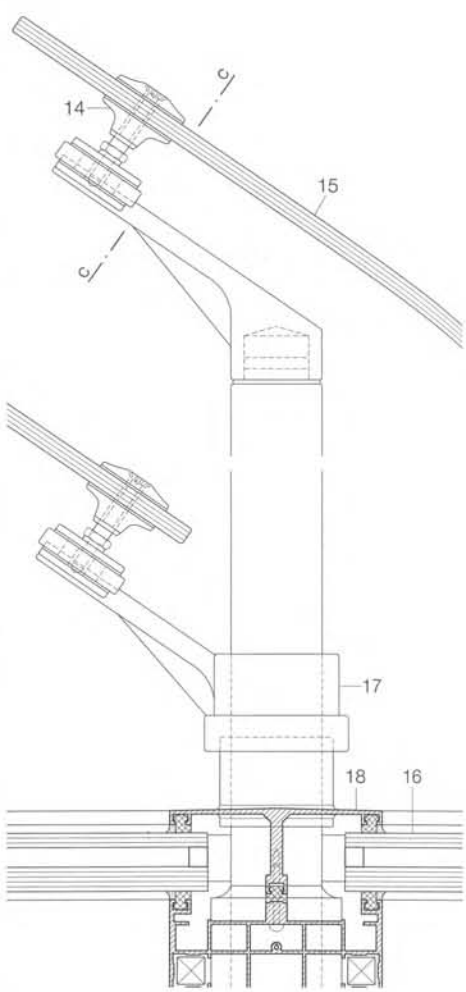
bb



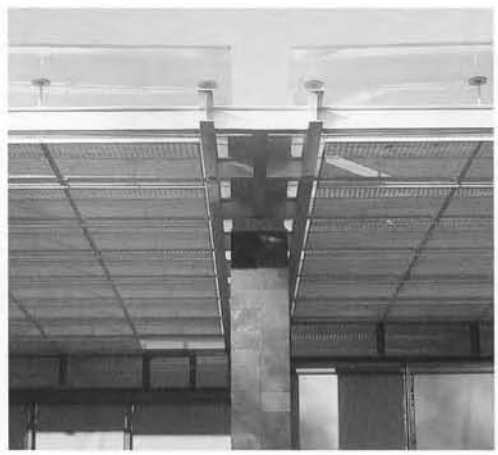
cc

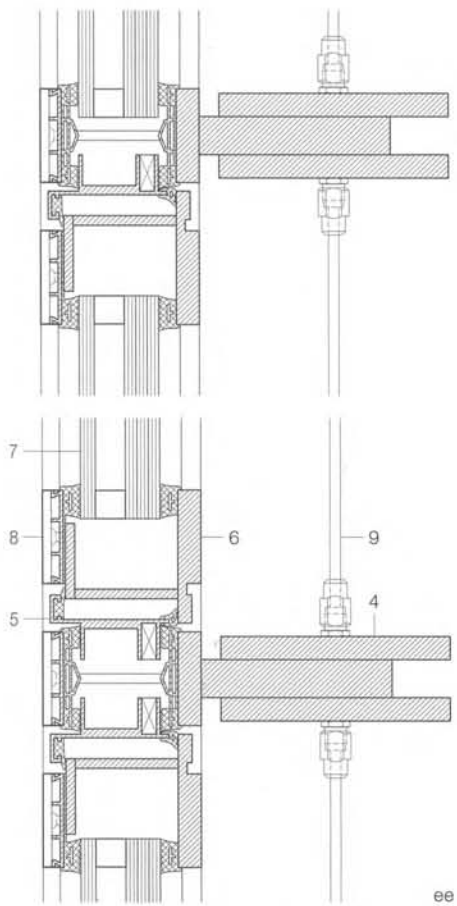


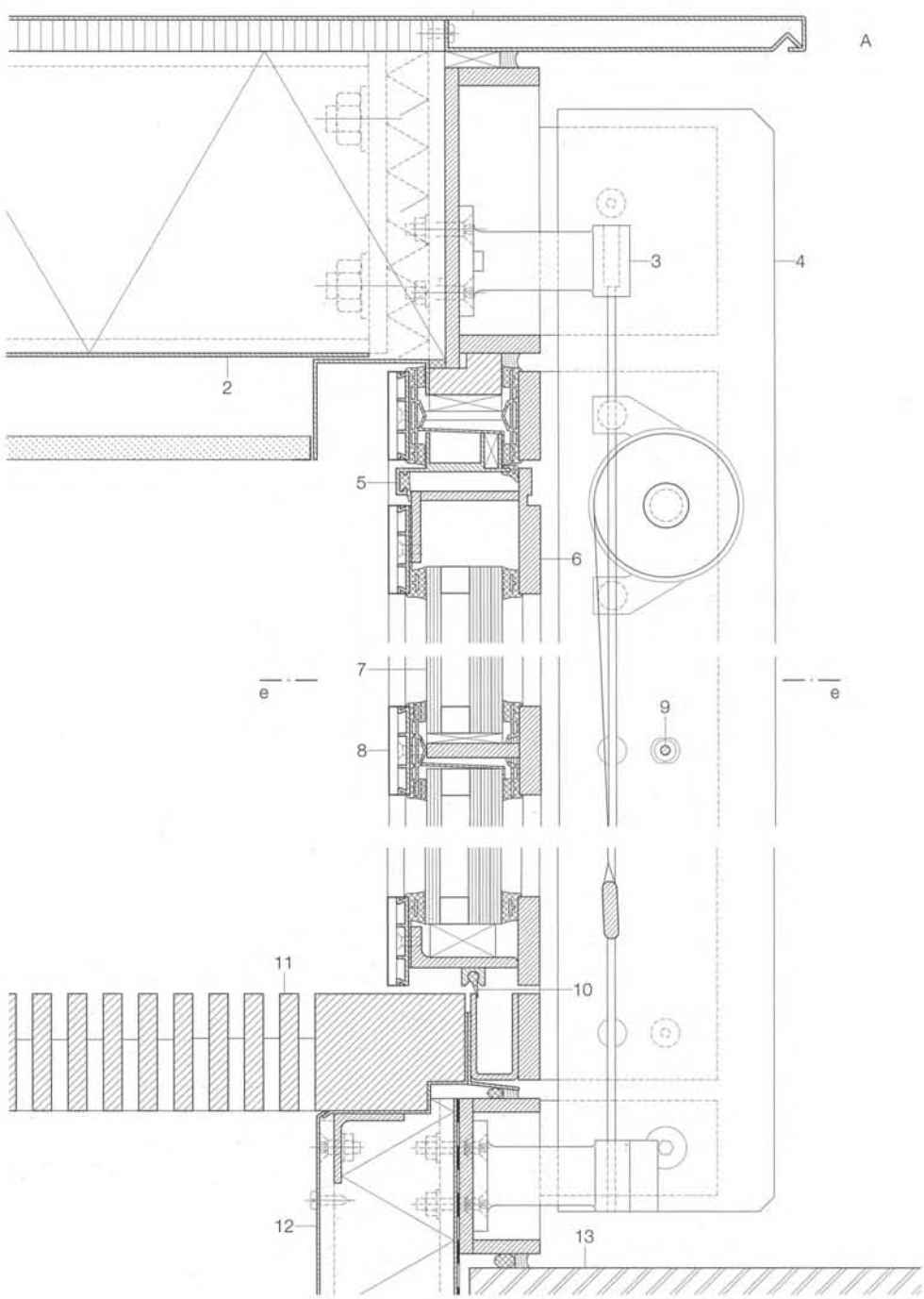
dd



Schnitt Südfassade
Maßstab 1:200
Detailschnitte Auflager Sonnenschutz •
Öffnungsflügel Südfassade •
Maßstab 1:5





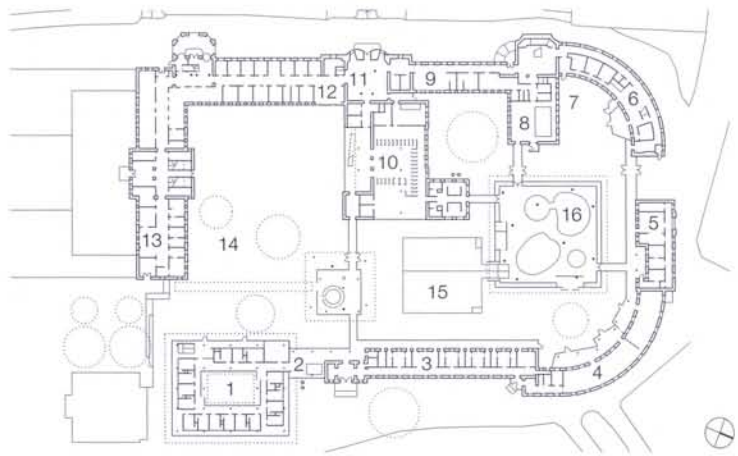


1 Abdeckblech, Eisenglimmer einbrennlackiert
2 Stahlplatte 2 mm
3 Halterung Lichtschutzstore
4 Pfosten aus 3x Flachstahln
5 Aluminiumprofil
6 Stahlprofil
7 Isolierverglasung einbruchsicher, 3x VSG + SZR + ESG
8 Aluminium-Pressleiste mit Deckprofil
9 Spannseil Ø 8 mm
10 EPDM-Dichtung
11 Holzabdeckgitter für Heizöffnung
12 Aluminiumpaneel gedämmt
13 Natursteinplatte Porphyr
14 Punkthalterung Edelstahl
15 Sonnenschutz ESG Unterseite weiß emailliert
16 ESG 12 + SZR 16 + VSG 18 mm, alarmgesichert, keramisch bedruckt
17 Aluminium-Gussteil
18 Aluminium-Pressleiste

Badehalle im Kurmittelhaus

Bad Elster, D 1999

Architekten:
Behnisch & Partner, Stuttgart
Günter Behnisch, Manfred Sabatke
Projektgruppe:
Christof Jantzen (Projektarchitekt),
Michael Blank, Dieter Rehm, Richard Beßler,
Nicole Stuemper, Thorsten Kraft
Tragwerksplanung:
Fischer und Friedrich, Stuttgart
Fassadenberatung:
Ingenieurbüro Brecht, Stuttgart

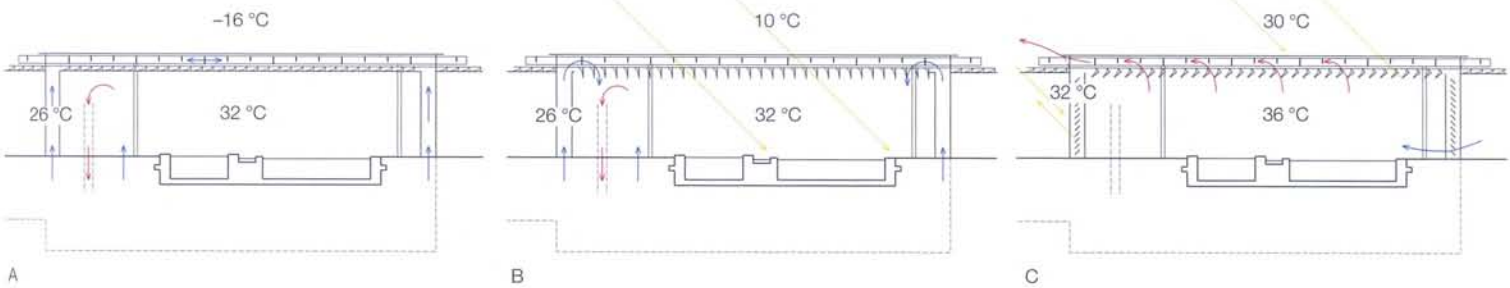


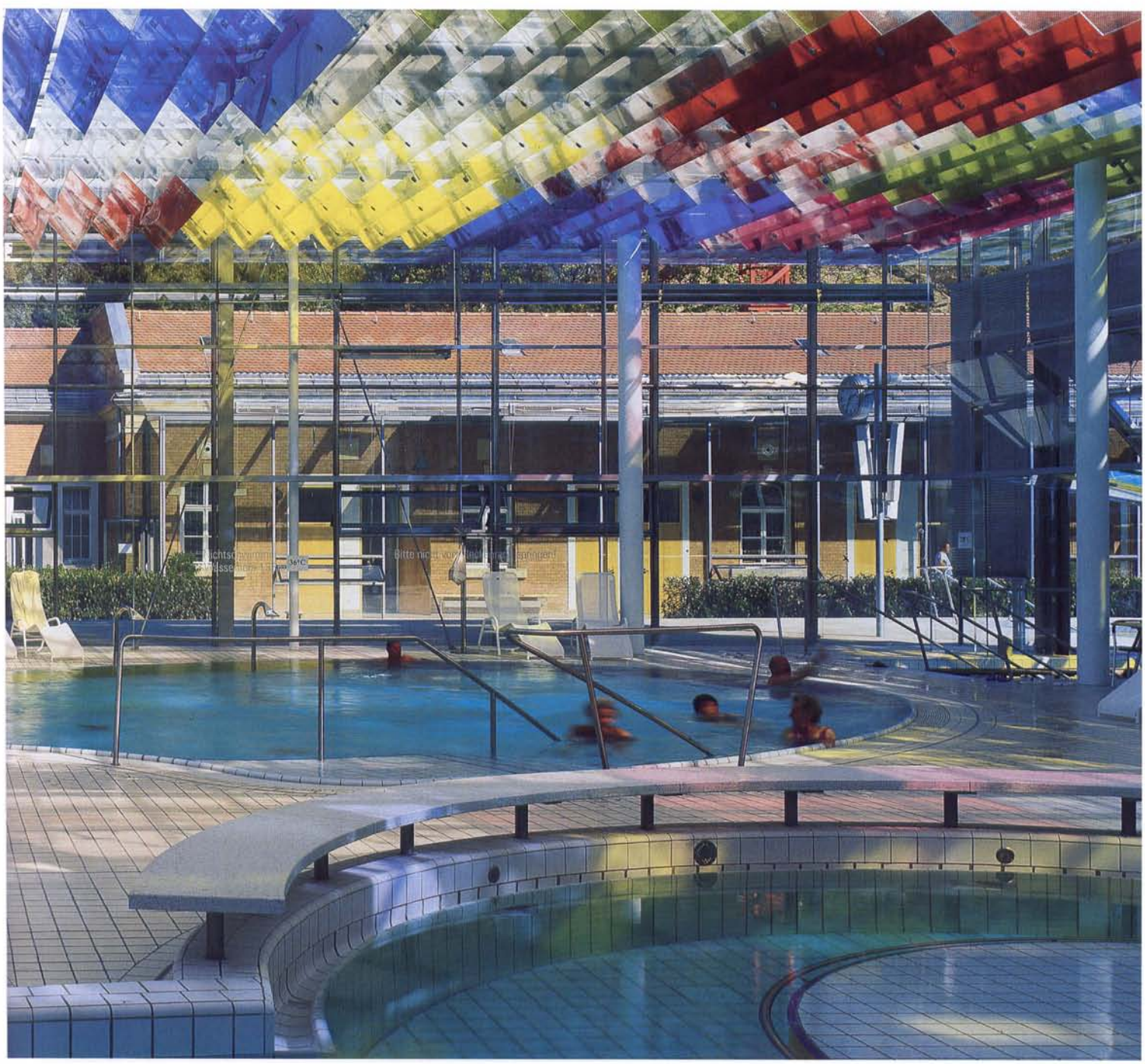
Grundriss Erdgeschoss Maßstab 1:2000
Schemata der Lüftungsregulierung und des Sonnenschutzes
ohne Maßstab

Inmitten des Kurparks von Bad Elster liegt das um 1900 entstandene Albertbad, das heutige Kurmittelhaus des Badeorts. Das historische Ensemble sollte um einen Informationspavillon, ein Therapiegebäude, eine Badehalle und ein Bewegungsbecken im Freien erweitert werden. Durch die Umgestaltung des ursprünglich im Innenhof gelegenen Betriebshofs entstand eine moderne Badeanlage mit Schwimmhalle, Außenbecken und dem neuen Herzstück des Heilbades, der Badehalle. Der ganz in Glas ausgeführte Halle fügt sich, nicht zuletzt durch die Transparenz der Hülle, harmonisch in das bestehende bauliche Umfeld ein. Eine zweischalige Haut, deren Schichten in einem Abstand von etwa 1 m zueinander stehen, umhüllt die Badelandschaft. Die äußere Verglasung der Dachebene ist zur Regenwasserableitung leicht geneigt. Die zweischalige Pfosten-Riegel-Fassade ist in Edelstahl ausgeführt, wobei die äußere Schicht mit Wärmeschutzverglasung versehen ist, die innere mit Einfachverglasung. Zwischen den Verglasungsebenen zirkuliert eine dämmende Luftschicht, die in der kühlen Jahreszeit den Kaltluftabfall an der Innenseite der Fassade reduziert und Tauwasserbildung verhindert. Über Wärmetauscher wird die von der Sonneneinstrahlung erwärmte Luft zusätzlich energetisch genutzt. In den Sommermonaten schützt dieses Zwischenklima den Innenraum vor Überhitzung, wobei die warme Luft durch motorisch betriebene Öffnungsflügel in der Wetterhaut und einen Abluftschacht im Zwischenraum der Nordfassade nach außen entweichen kann. Bewegliche, stark reflektierende Aluminiumlamellen innerhalb des Fassadenkorridors sorgen bei Bedarf für den notwendigen Sonnenschutz. Im Glasdach besteht der Sonnenschutz aus innen liegenden, horizontalen Glaslamellen, die sich mithilfe von Schwenkarmen um 90° drehen lassen. Ihre Oberfläche ist im Siebdruckverfahren weiß bedruckt, um einen möglichst hohen Reflexionsgrad der einfallenden Sonnenstrahlung zu gewährleisten, während die Innenseiten zum Schutz vor Blendungen in der Badehalle von dem Berliner Künstler Erich Wiesner in unterschiedlichen, transparenten Farben getaltet wurden. Das dadurch entstehende farbige Licht verleiht dem Innenraum eine lichte, heitere Atmosphäre.

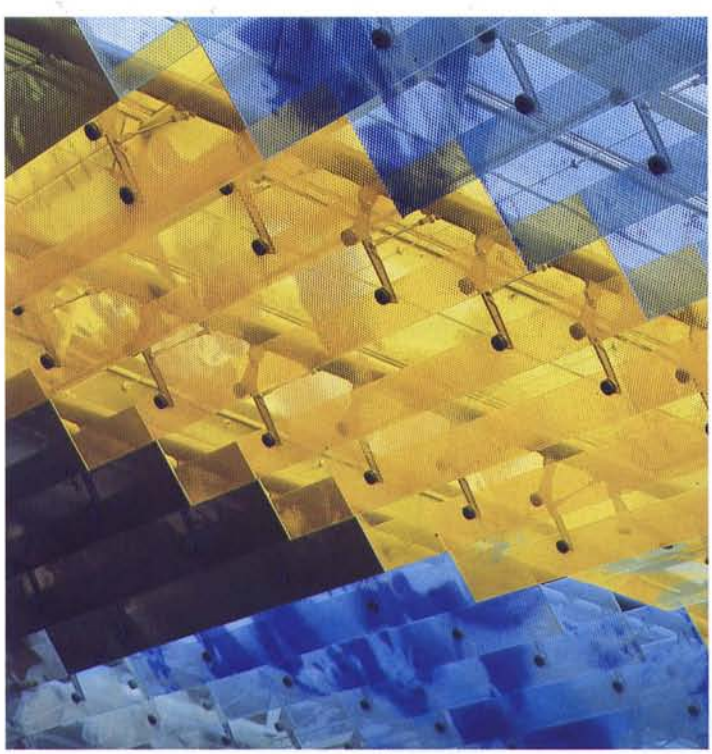
1 Moorpackungen
2 Kneippbecken
3 Moorwannen
4 Ruheraum
5 Dampfbad
6 Sauna
7 Saunagarten
8 Bewegungsbad
9 Unterwassermassage
10 Umkleiden/Duschen
11 Alberthalle
12 Mineralwasseranwendungen
13 Badearzt
14 Hof
15 Außenbecken
16 Badehalle

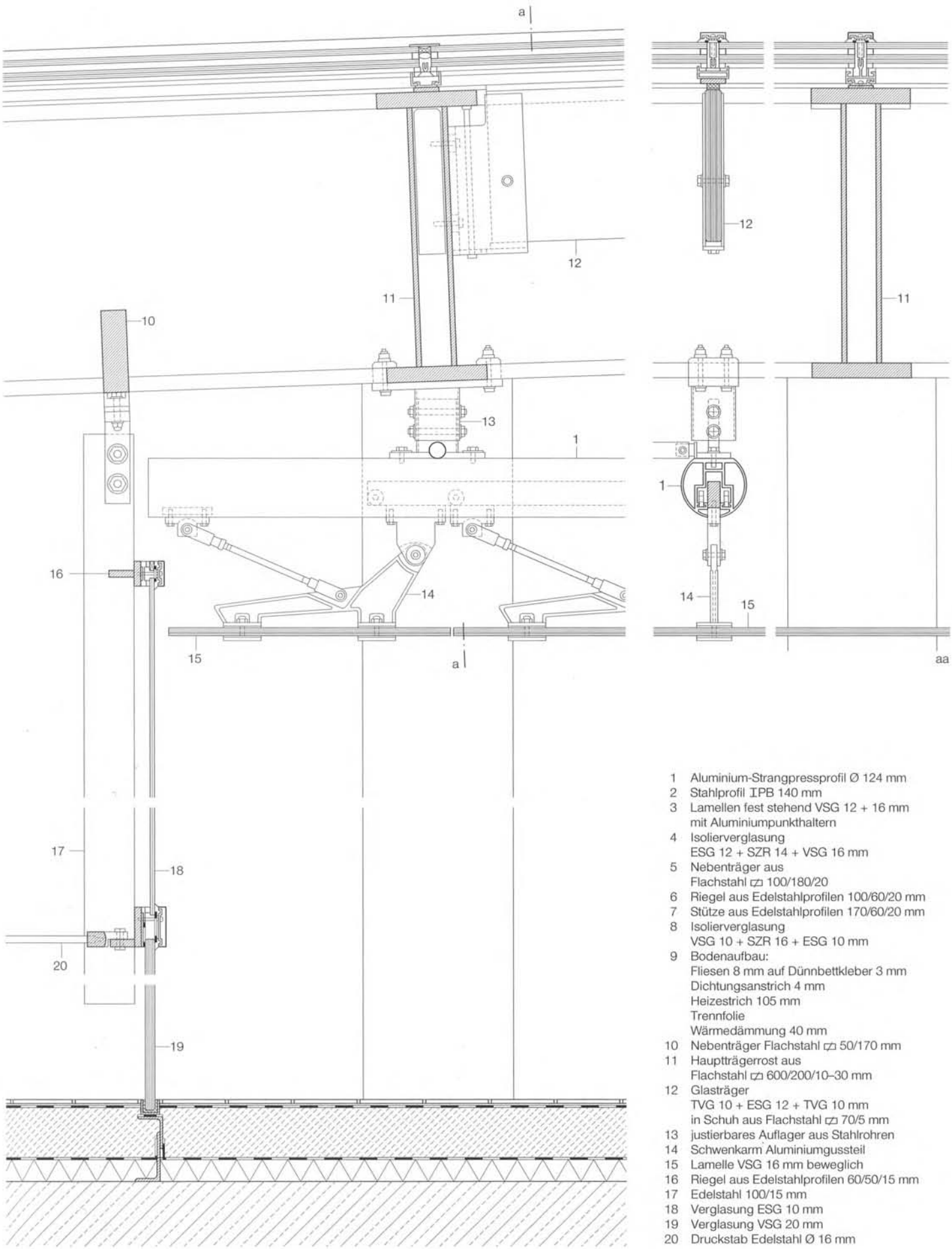
A Situation im Winter bei geschlossenen Lamellen
B Situation in der Übergangszeit bei geöffneten Lamellen
C Situation im Sommer bei gekippten Lamellen


−16 °C
26 °C
32 °C
A
10 °C
26 °C
32 °C
B
30 °C
32 °C
36 °C
C



Detailschnitte Badehalle
Maßstab 1:10



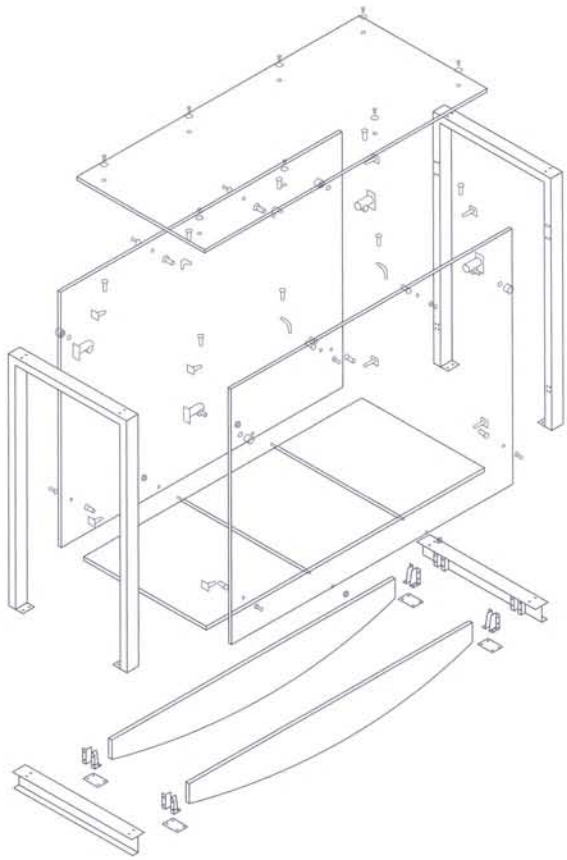


1 Aluminium-Strangpressprofil Ø 124 mm
2 Stahlprofil IPB 140 mm
3 Lamellen fest stehend VSG 12 + 16 mm
mit Aluminiumpunkthaltern
4 Isolierverglasung
ESG 12 + SZR 14 + VSG 16 mm
5 Nebenträger aus
Flachstahl ▱ 100/180/20
6 Riegel aus Edelstahlprofilen 100/60/20 mm
7 Stütze aus Edelstahlprofilen 170/60/20 mm
8 Isolierverglasung
VSG 10 + SZR 16 + ESG 10 mm
9 Bodenaufbau:
Fliesen 8 mm auf Dünnbettkleber 3 mm
Dichtungsanstrich 4 mm
Heizestrich 105 mm
Trennfolie
Wärmedämmung 40 mm
10 Nebenträger Flachstahl ▱ 50/170 mm
11 Hauptträgerrost aus
Flachstahl ▱ 600/200/10–30 mm
12 Glasträger
TVG 10 + ESG 12 + TVG 10 mm
in Schuh aus Flachstahl ▱ 70/5 mm
13 justierbares Auflager aus Stahlrohren
14 Schwenkarm Aluminiumgussteil
15 Lamelle VSG 16 mm beweglich
16 Riegel aus Edelstahlprofilen 60/50/15 mm
17 Edelstahl 100/15 mm
18 Verglasung ESG 10 mm
19 Verglasung VSG 20 mm
20 Druckstab Edelstahl Ø 16 mm

Verbindungssteg

Rotterdam, NL 1994

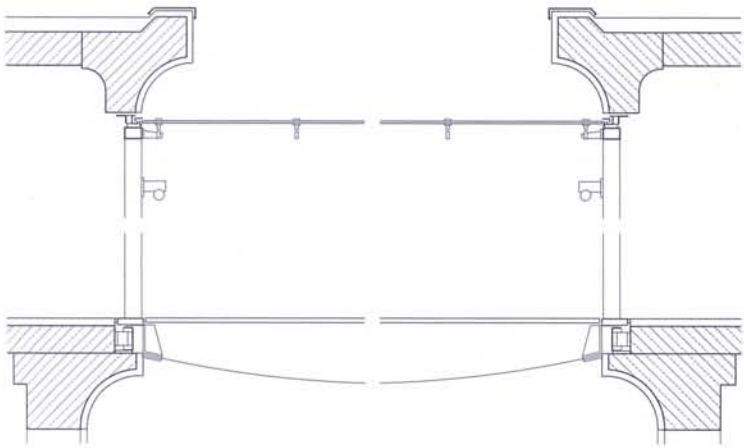
Architekten:
Dirk Jan Postel
Kraaijvanger • Urbis, Rotterdam
Tragwerksplanung:
Rob Nijsse
ABT Velp, Arnheim

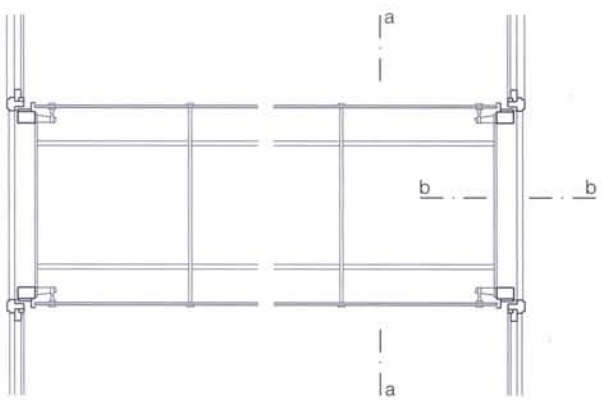


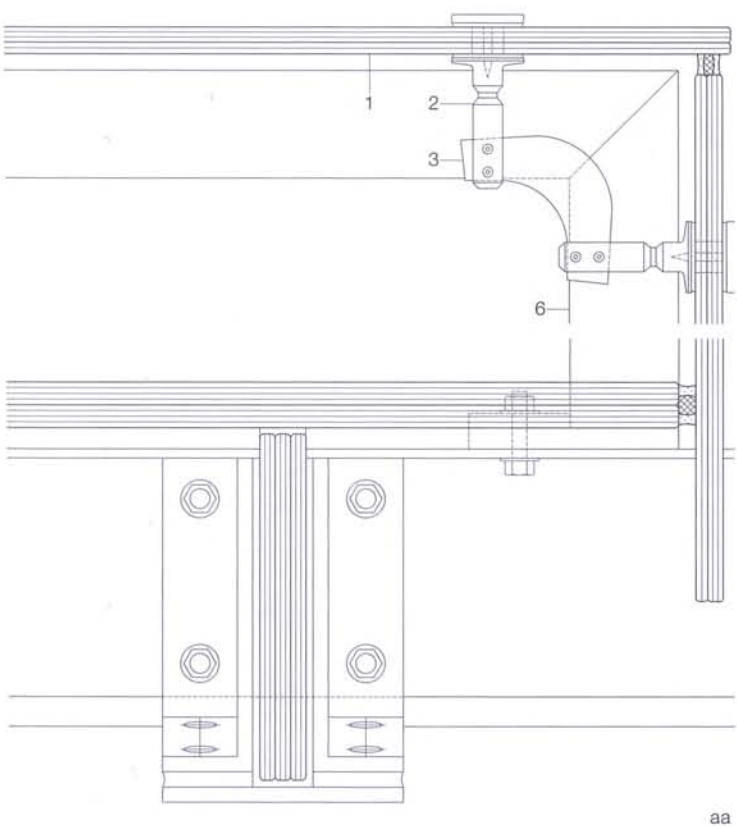
Explosionszeichnung
ohne Maßstab
Vertikalschnitt •
Horizontalschnitt
Maßstab 1:50
Detailschnitte Anschlüsse
Maßstab 1:5

1 VSG aus ESG 10 mm außen + TVG 6 mm innen
2 Edelstahl-Punkthalter
3 Edelstahlplatte 7 mm lasergeschnitten
4 Rinne aus lackierten Aluminiumblechen 1,5 mm auf wasserfest verleimtem Sperrholz 18 mm
5 Stahlprofil L 70/70/7 mm
6 Stahlrohr ⍁ 80/120/6,3 mm
7 Glasboden VSG 2× 15 mm
8 gekantetes Edelstahlblech 3 mm auf Sperrholz 2× 18 mm
9 2× Stahlprofil L 90/90/9 mm
10 Stahlprofil ⌊⌋ 160 mit Betonhinterfüllung
11 Stahlrohr ⍁ 60/60/6 mm
12 Stahlschuh
13 Glasträger VSG 3× 10 mm

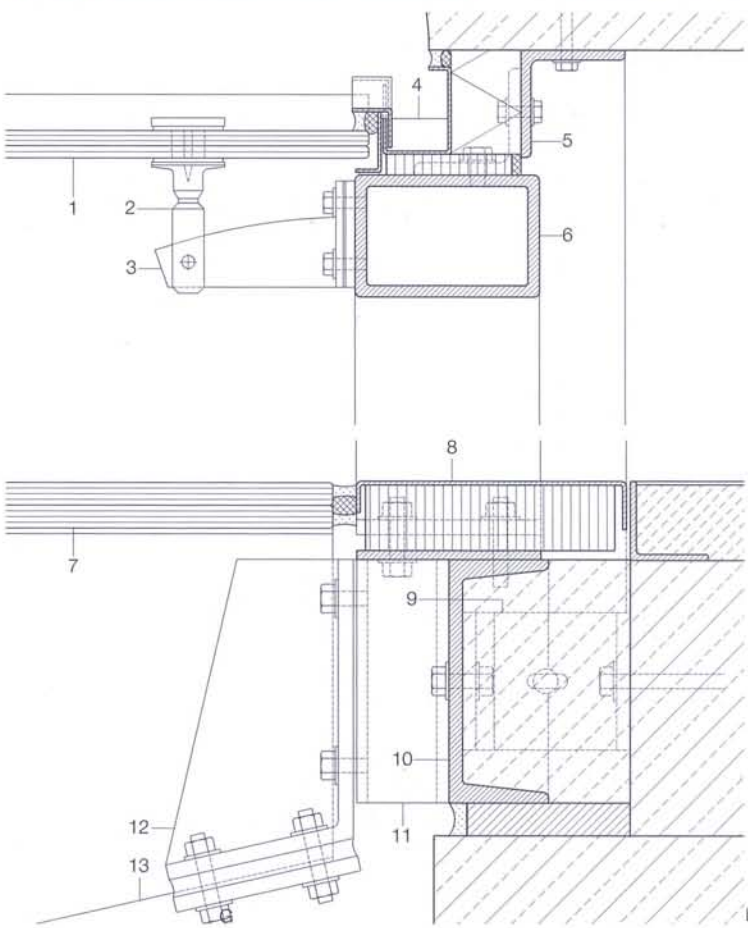
Die gläserne, allseitig geschlossene Brücke mit einer Spannweite von 3,20 m verbindet die Räume des Architekturbüros Kraaijvanger Urbis über eine Straße hinweg. Die Architekten verstanden die Aufgabe als Experiment und nutzten die Gelegenheit, um die gestalterischen und konstruktiven Möglichkeiten des Baustoffs Glas zu erforschen. Auf eine rutschhemmende Bedruckung der Bodenplatte wurde bewusst verzichtet. Betritt man den Glassteg, bedeutet das einen Schritt ins Unbekannte, die Überwindung von Angst ist erforderlich. Es stellen sich aber auch überraschende Erlebnisse ein: Dazu zählen Lichteffekte zählen ebenso wie die Erfahrung, dass sich der eigene Schatten verliert und erst Meter tiefer auf dem Pflaster als Silhouette erscheint. Die Bodenplatte aus Verbundsicherheitsglas liegt auf zwei Glasträgern auf, die in ihrer Form der Momentenlinie entsprechen. Um den Kräfteverlauf innerhalb der Konstruktion sichtbar zu machen, sind die auf das-Minimum reduzierten Verbindungsteile aus Metall unterschiedlich ausgebildet. Sie bestehen aus Standardpunkthaltern mit angefügten, dem jeweiligen Kräfteverlauf entsprechend gestalteten Edelstahlblechen.
Die vollkommene Transparenz der Brücke bildet einen großen Kontrast zu den beiden massiven Gebäuden, die sie verbindet.







aa



bb

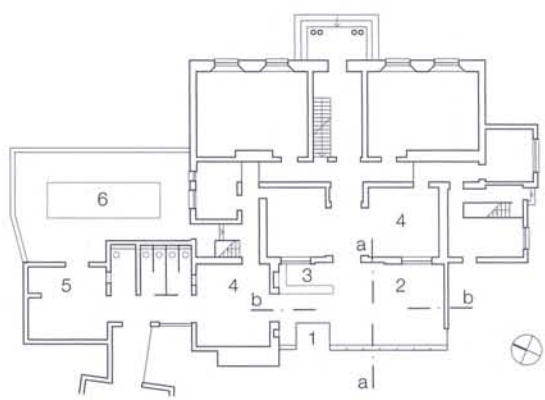
Erweiterung eines Glasmuseums

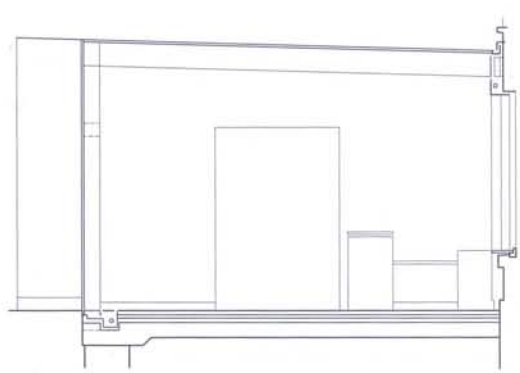
Kingswinford, GB 1994

Architekten:
Design Antenna, Richmond
Brent G. Richards, Robert Dabell
Tragwerksplanung:
Dewhust Macfarlane and Partners, London
Tim Macfarlane, Gary Elliot, David Wilde

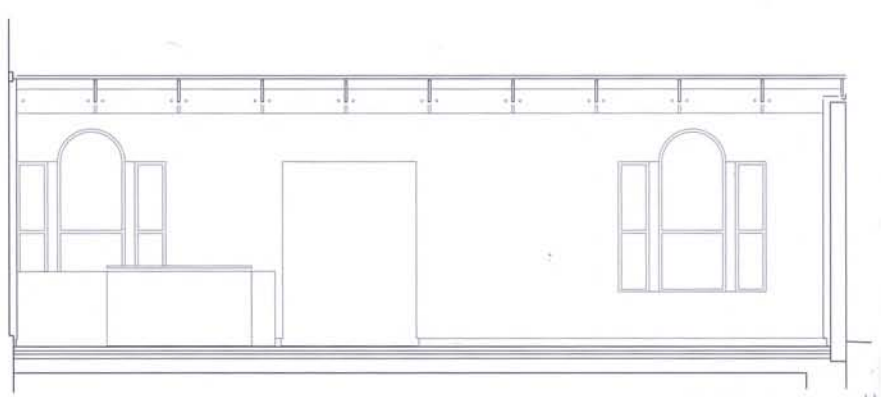
Der gläserne Anbau entstand als Erweiterung im Zuge der Sanierung eines denkmalgeschützten Museumsbaus aus Sichtmauerwerk. Er beherbergt den neuen Eingang und Verkaufsraum. Da es sich um ein Glasmuseum handelt – die Sammlung zeigt überwiegend englische Glaskunst des 17. und 18. Jahrhunderts –, lag es nahe, auf signifikante Weise die konstruktiven Möglichkeiten des Baustoffs Glas zu demonstrieren. Ebenso wird das gewählte Material den Forderungen der Denkmalpflege nach größtmöglicher optischer Unversehrtheit des Bestands gerecht: Durch die vollkommene Transparenz wird das alte Gebäude nahezu nicht beeinträchtigt.
Die Konstruktion des klaren, 11 m langen und 3,50 m hohen Glaskörpers ist einfach und kommt ohne sichtbare Metallverbindungen aus. Im Abstand von 1,10 m sind Stützen und Träger aus dreilagigem, mit Gießharz verklebten Glas angeordnet. Die 30 cm hohen Unterzüge spannen sich über die gesamte Raumtiefe von 5,70 m und sind im rückwärtigen Bereich über Stahlschuhe auf das bestehende Mauerwerk aufgelegt. An der Fassadenseite sind sie mit den Stützen über Zapfenverbindungen zu steifen Rahmenecken zusammengefügt. Auf gleiche Weise ist der Sturz über dem Eingang gelöst. Das Dach mit einem Gefälle von 1 Grad ist mit 1,10 m breiten Isolierglastafeln gedeckt. Es ist für eine Schneelast von 0,75 kN/m² ausgelegt und kann zu Reinigungszwecken begangen werden.
Da es sich um eine Überkopfverglasung handelt, wurde für die innere Scheibe VSG gewählt. An der Oberseite ist sie mit einem reflektierenden keramischen Raster als Sonnenschutz bedruckt. Als äußere Scheibe wurde ein farbneutrales Sonnenschutzglas eingesetzt. Durch beide Maßnahmen konnte der Sonnenenergiedurchgang auf 37% reduziert werden. Auch die Fassade ist mit Sonnenschutz-Isolierglas verkleidet. Der Energiedurchgang ist hier auf 59% reduziert, bei einer gleichzeitigen Tageslichtnutzung von 61%.

Grundriss
Maßstab 1:500
Schnitte
Maßstab 1:100
Axonometrie ohne Maßstab



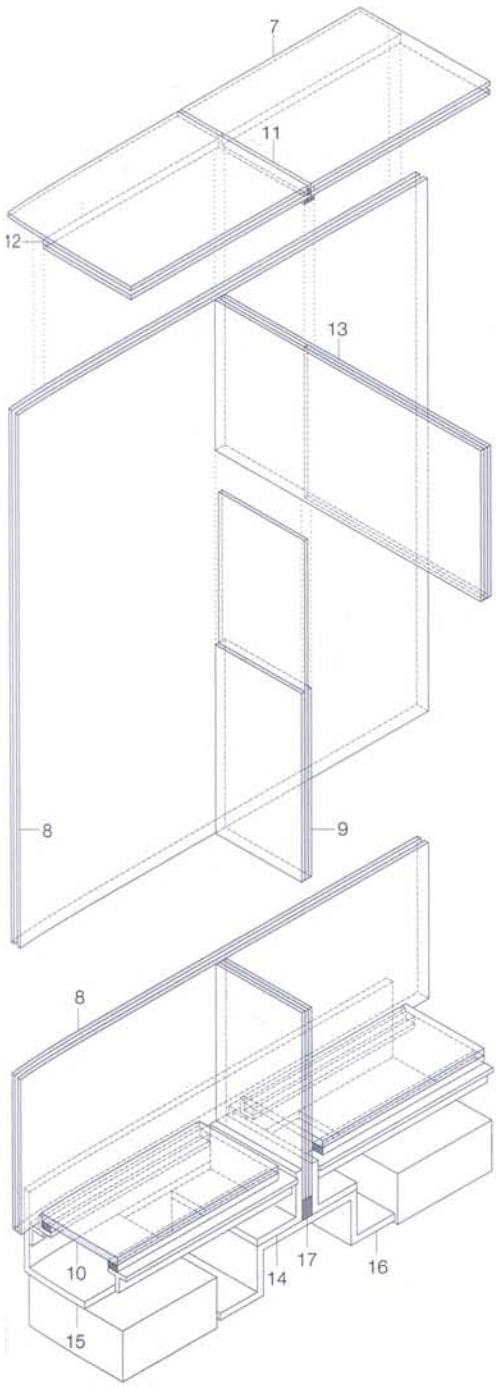


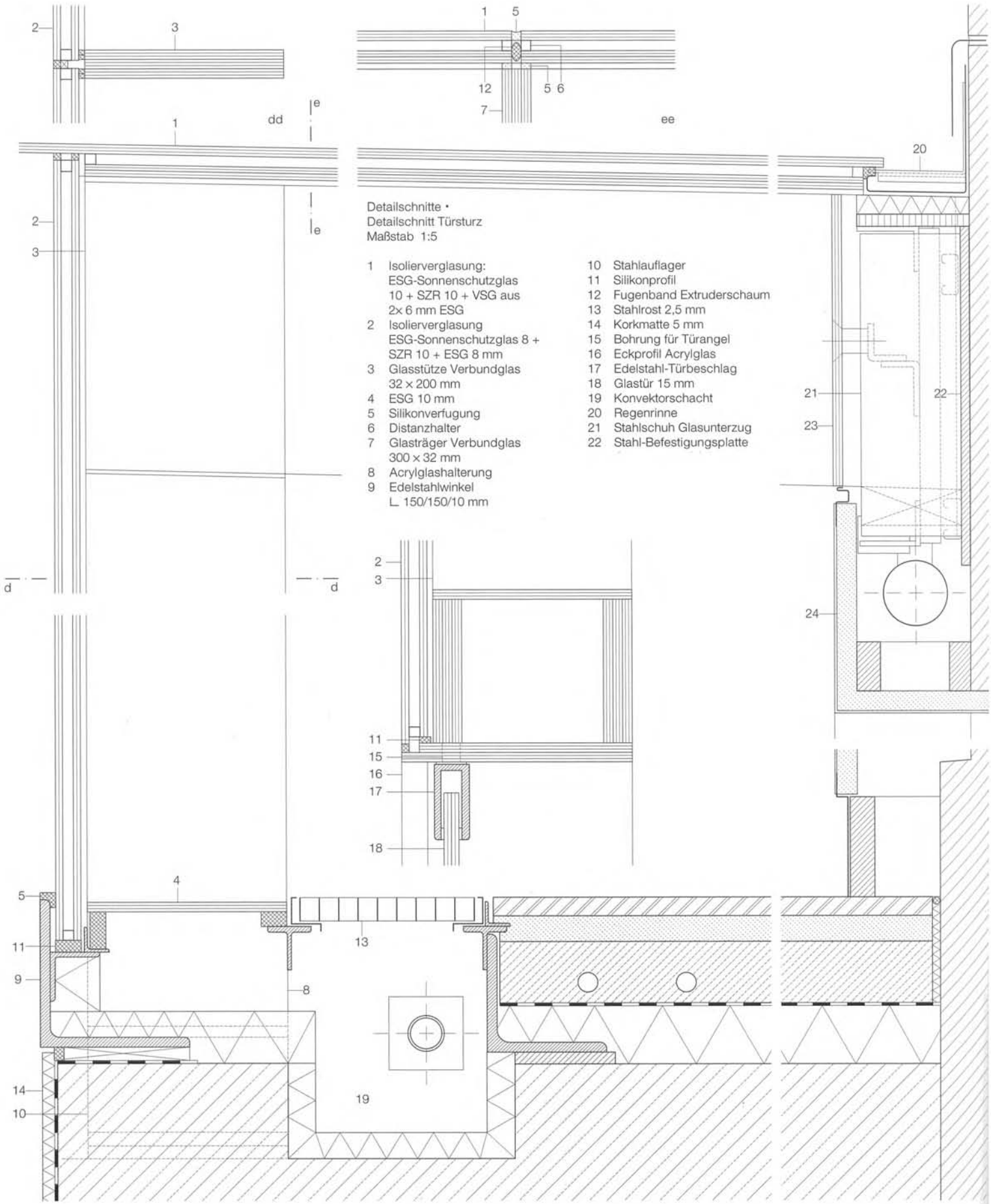
aa



bb

1 Haupteingang Neubau
2 Museumsladen
3 Informationstheke
4 Ausstellung Altbau
5 Cafeteria
6 Skulpturengarten
7 Isolierverglasung: ESG-Sonnschutzglas 10 + SZR 10 + VSG aus 2x 6 mm ESG
8 Isolierverglasung ESG-Sonnenschutzglas 8 + SZR 10 + ESG 8 mm
9 Glasstütze Verbundglas 32 × 200 mm
10 ESG 10 mm
11 Silikonverfugung
12 Distanzhalter
13 Glasträger Verbundglas 300 × 32 mm
14 Acrylglashalterung
15 Edelstahlwinkel L 150/150/10 mm
16 Stahlauflager
17 Silikonprofil





Detailschnitte •
Detailschnitt Türsturz
Maßstab 1:5

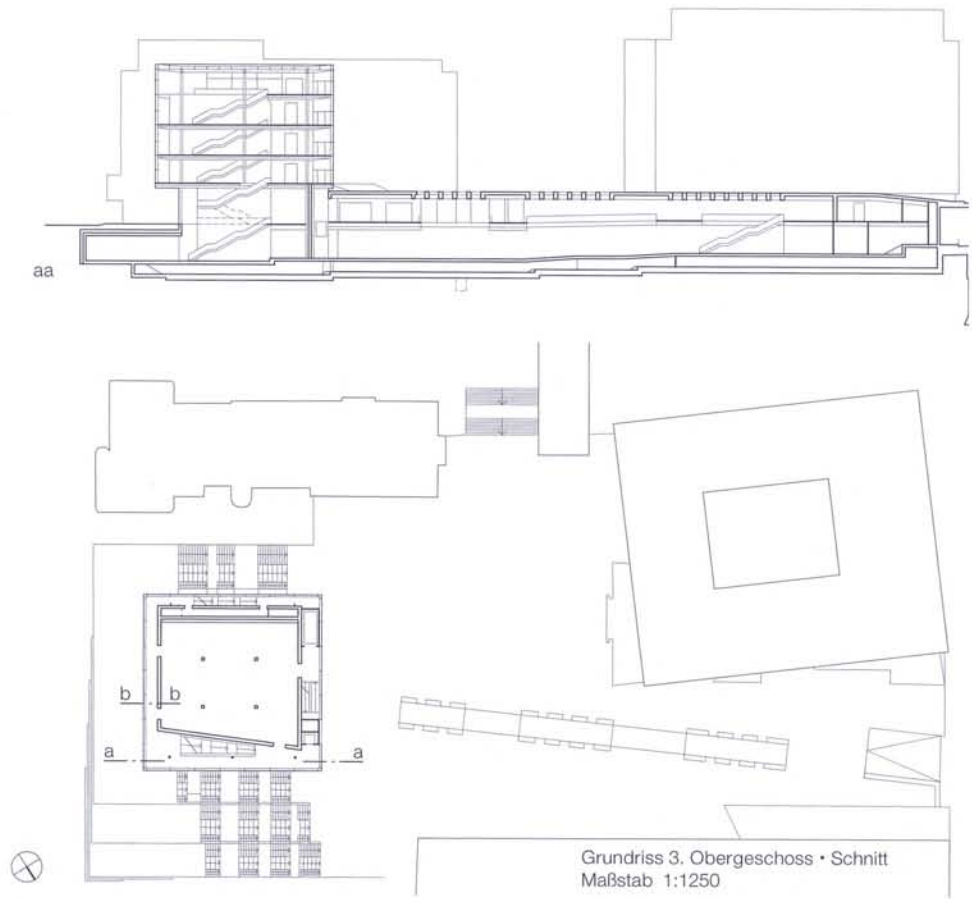
1 Isolierverglasung:
ESG-Sonnenschutzglas
10 + SZR 10 + VSG aus
2× 6 mm ESG
2 Isolierverglasung
ESG-Sonnenschutzglas 8 +
SZR 10 + ESG 8 mm
3 Glasstütze Verbundglas
32 × 200 mm
4 ESG 10 mm
5 Silikonverfugung
6 Distanzhalter
7 Glasträger Verbundglas
300 × 32 mm
8 Acrylglashalterung
9 Edelstahlwinkel
L 150/150/10 mm
10 Stahlauflager
11 Silikonprofil
12 Fugenband Extruderschaum
13 Stahlrost 2,5 mm
14 Korkmatte 5 mm
15 Bohrung für Türangel
16 Eckprofil Acrylglas
17 Edelstahl-Türbeschlag
18 Glastür 15 mm
19 Konvektorschacht
20 Regenrinne
21 Stahlschuh Glasunterzug
22 Stahl-Befestigungsplatte

Kunstmuseum

Stuttgart, D 2004

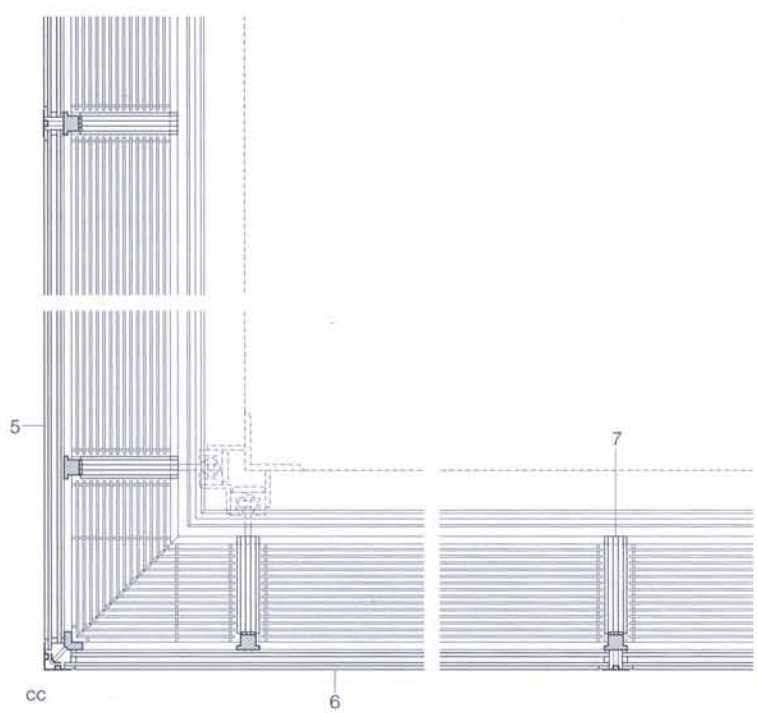
Architekten:
Hascher Jehle Architektur, Berlin
Projektleiter:
Thomas Kramps, Beate Leidner,
Arndt Sänger, Eberhard Veit
Bearbeitung Glasfassade:
Frank Jödicke
Tragwerksplanung:
Werner Sobek Ingenieure, Stuttgart mit
Fichtner Bauconsulting, Stuttgart
Fassadenberatung:
Ingenieurbüro Brecht, Stuttgart

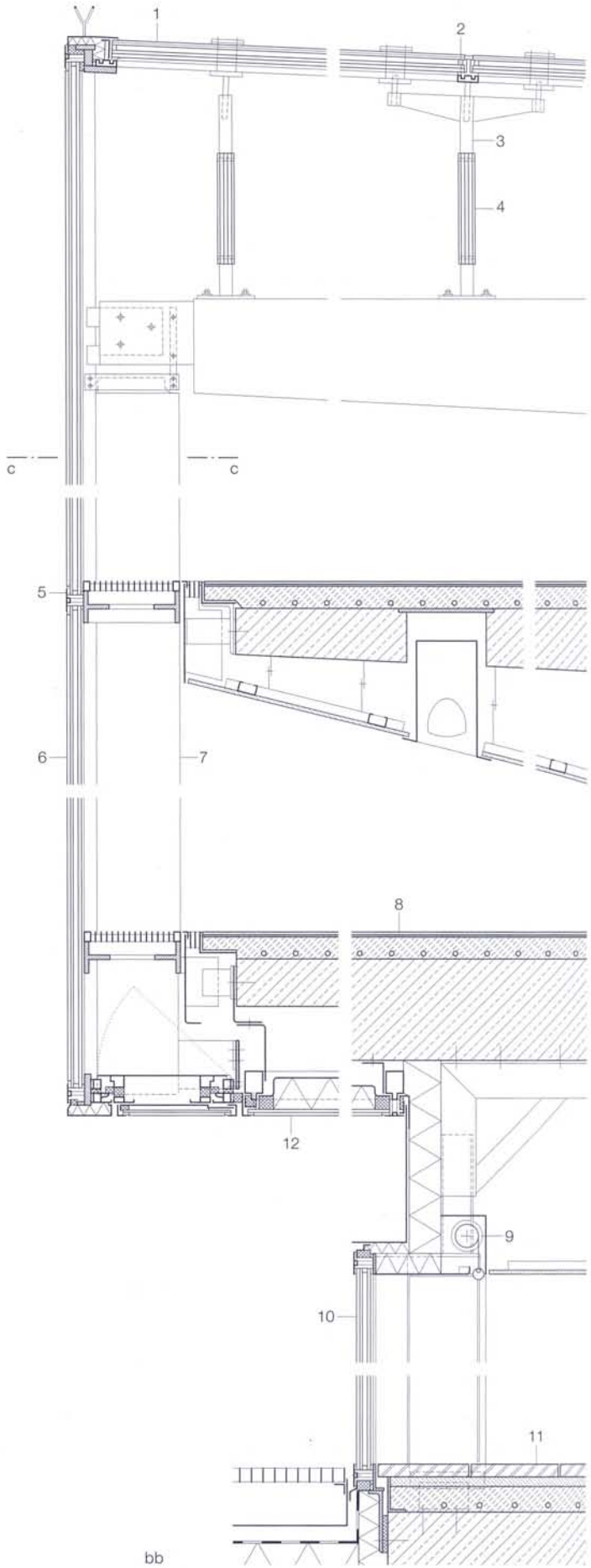
Lange war das zentral in der Stuttgarter Fußgängerzone gelegene Grundstück ein städtebauliches Problem. Die im Krieg entstandene Baulücke an der Königstraße war nie geschlossen worden. An ihre Stelle trat der »Kleine Schlossplatz«, ein mit einer Betonplatte überdeckelter Verkehrstunnel. Mehrere Provisorien und vier städtebauliche bzw. architektonische Wettbewerbe folgten, aus denen im Jahr 1999 schließlich der Entwurf für das Museum der städtischen Kunstsammlung hervorging. Das Bauwerk nutzt den inzwischen stillgelegten Straßentunnel für den Hauptteil der insgesamt 4900 m² großen Ausstellungsfläche. Oberirdisch schließt ein 29 × 29 × 26 m messender Glaskubus die Lücke. Er birgt einen mit Naturstein verkleideten Kern mit weiteren Ausstellungsräumen sowie im obersten Geschoss ein Restaurant mit Blick auf den Schlossplatz und die umliegenden Hänge.
Das Glasdach lagert auf justierbaren Stahlkreuzen, die auf einem biegesteifen Trägerrost aus verschweißten Stahlprofilen und 4 m langen, als Nebenträger fungierenden Glasschwertern verschraubt sind. Der Trägerrost ruht auf zwölf Stahlstützen. An den Trägern sind vertikale Fassadenstützen aus gefrästen T-Stahlprofilen (40 × 50 mm) aufgehängt, unterstützt von 60 mm dicken Glaspfosten zur Windaussteifung. Sie sind vertikal verschiebbar an den Geschossdecken befestigt, um thermische Längenänderungen aufnehmen zu können.
Die verwendeten Weißglasscheiben ermöglichen dem Besucher farbneutrale transparente Ein- und Ausblicke. Damit die gläserne Fassade großflächig erscheint, sind die Längskanten der 4,10 × 2,50 m messenden Elemente eingeschliffen und nehmen die äußeren Deckleisten flächenbündig auf. Trotz der vollständigen Verglasung gelangen nur ca. 24 % der auftreffenden Energiestrahlung ins Innere des Gebäudes. Dazu tragen eine Sonnen- und eine Wärmeschutzbeschichtung sowie die mit Argon gefüllten Scheibenzwischenräume bei, ferner die sich nach oben hin auflösende Bedruckung mit horizontalen Streifen.

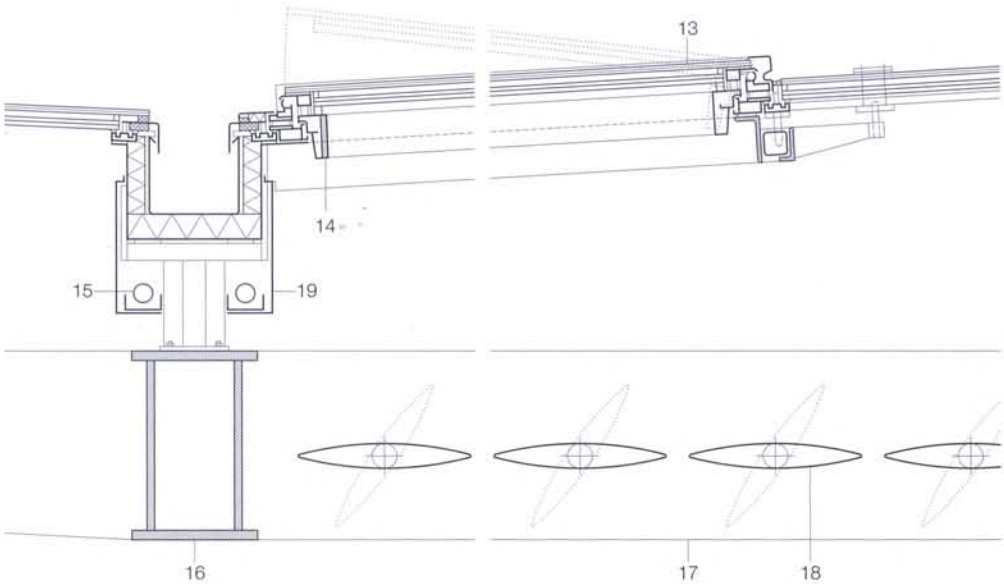


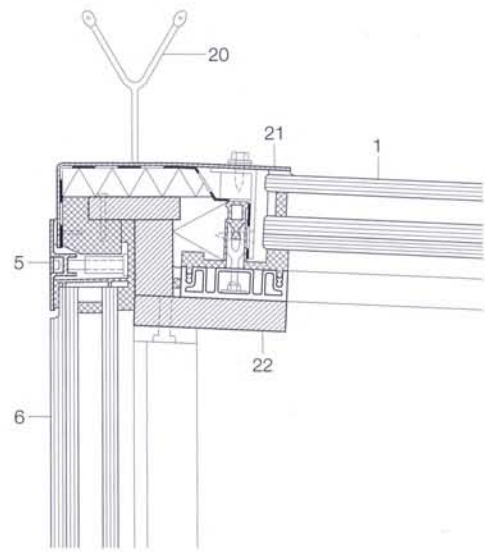
Grundriss 3. Obergeschoss • Schnitt
Maßstab 1:1250

Horizontalschnitt •
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitt obere Ecke
Maßstab 1:5







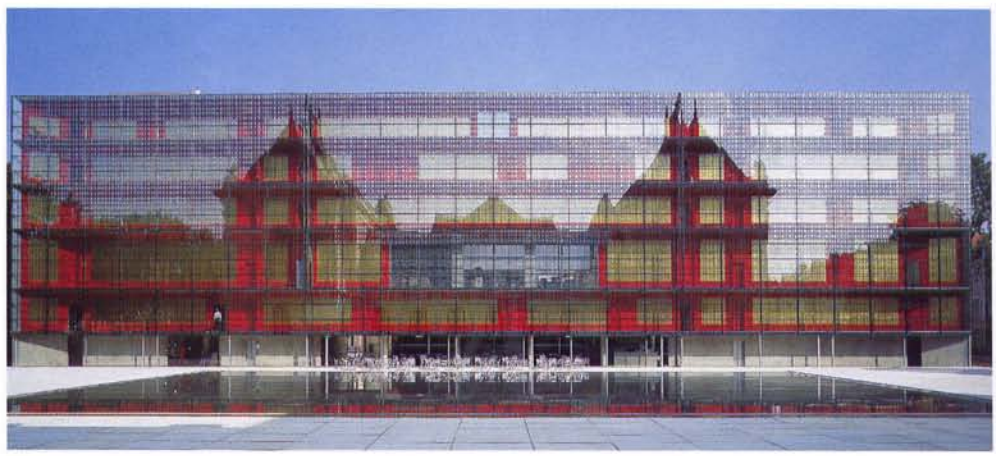


1 Isolierverglasung Weißglas ESG 15 mm mit Sonnenschutzbeschichtung + SZR Argon 16 mm + VSG aus TVG 10 + TVG 12 mm, mit Wärmeschutzbeschichtung
2 Aluminiumprofil mit Fassadenheizband
3 Aufständerung aus Stahlstäben ▯ 40/40 mm mit 4x seitlich angeweißtem Flachstahl
4 Glasträger Weißglas VSG aus TVG 8 + 3x TVG 12 + TVG 8 mm, h= 350 mm
5 Aluminium-Pressleiste flächenbündig 60 mm
6 Isolierverglasung Weißglas VSG aus TVG 10 + TVG 8 mm mit Sonnenschutzbeschichtung und Bedruckung + SZR Argon 16 mm + ESG 10 mm mit Wärmeschutzbeschichtung
7 Fassadenstütze Weißglas VSG aus TVG 8 + 3x TVG 12 + TVG 8 mm, t = 300 mm
8 Glasplatten 8 mm auf 2 mm elastischer Unterlage
Ausgleichsspachtelung
Heizestrich 70 mm
Stahlbeton 140–220 mm
9 Sonnenschutz mit seitlichen Führungsseilen
10 Isolierverglasung Weißglas VSG aus ESG 10 + TVG 8 + SZR Argon 16 + ESG 10 mm
11 Basalt 40 mm
Mörtelbett 30 mm, Heizestrich 80 mm
12 dampfdichte Paneele mit Glasbeplankung
13 Klappe für Lüftung und RWA
14 Flachstahl ▱ 100/15 mm zur Aussteifung auf Motorseite
15 Leitungen Multifunktionslamellen Ø 76 mm
16 Dachträger Stahlprofil geschweißt aus je 2x Flachstahl ▱ 330/25 mm und ▱ 450/20 mm
17 Dachträger Stahlprofil geschweißt aus je 2x Flachstahl ▱ 25/500 mm und ▱ 150/25 mm
18 Multifunktionslamellen für Heizung, Kühlung, Verschattung und Schallabsorption
19 Verkleidung Edelstahlblech spiegelpoliert
20 Taubenschutz Edelstahl
21 Abdeckblech Edelstahl geschliffen 2 mm
22 Eckhalterung aus 3x Flachstahl verschweißt

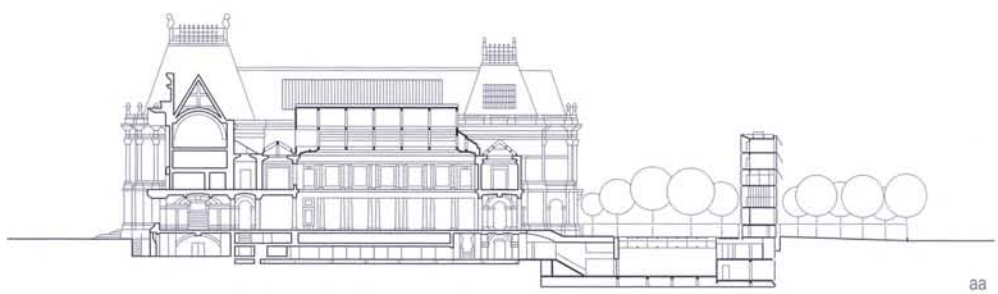
Kunstmuseum

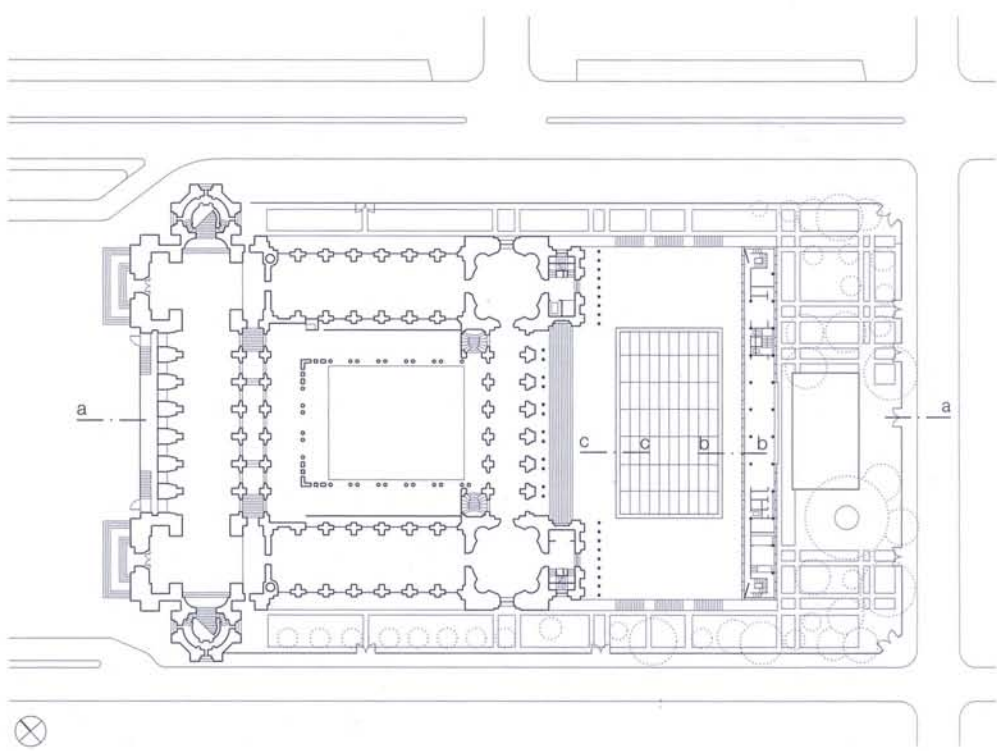
Lille, F 1997

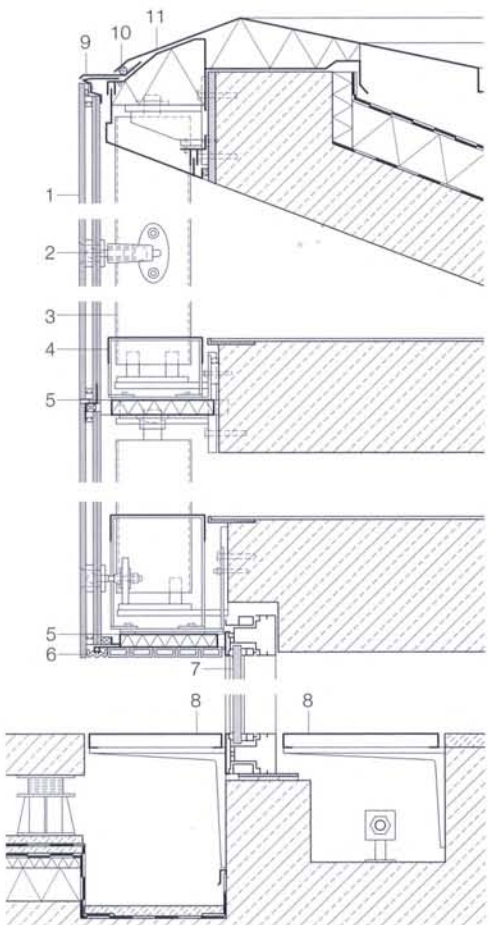
Architekten:
Jean-Marc Ibos, Myrto Vitart, Paris
Mitarbeiter:
Pierre Cantacuzène, Sophie Nguyen
Tragwerksplanung:
Kephren Ingénierie, Paris



Das im Jahr 1892 errichtete Musée des Beaux-Arts in der nordfranzösischen Stadt Lille beherbergt eine der bedeutendsten Kunstsammlungen des Landes. Bei der Sanierung sollte das alte Palais, das im Laufe der Zeit mehrfach verändert und erweitert worden war, einneues repräsentatives Erscheinungsbild erhalten. Außderdem musste Raum für weitere Ausstellungsflächen geschaffen werden. Um das Gebäude zur Stadt hin zu öffnen und gleichzeitig den Altbau optisch nicht zu beeinträchtigen, wurden die Büroflächen in einen eigenen, weitgehend transparenten Gebäuderiegel ausgelagert. Im Untergeschoss entstanden neue Galerieräume, die über ein 720 m² großes, horizontales Glasdach mit nur 1% Neigung belichtet werden. Die Dachfläche hat das gleiche Niveau wie der umliegende Platz und wirkt optisch wie eine spiegelnde Wasserfläche. Trotz eines umlaufenden Wassergrabens, der den direkten Zutritt verhindern soll, musste die Konstruktion begehbar ausgelegt werden. Die sechs aluminiumverkleideten Hauptträger nehmen die notwendigen Installationen für die Klimaanlage und die Beleuchtung auf. Ein oberhalb der Stahlträger montierter Rost aus U-Profilen trägt die je 5,45 × 1,90 m großen Glastafeln und leitet zugleich eventuell eingedrungenes Wasser ab. Verstellbare Aluminiumlamellen regeln den Lichteinfall.
Die zum Altbau gerichtete Fassade des Büroriegels ist mit 416 Isolierglastafeln verkleidet, deren äußere Scheiben verspiegelt und innenseitig mit einem silberfarbenen Raster bedruckt sind. Dadurch spiegelt sich das alte Palais impressionistisch verfremdet – der Neubau wirkt immateriell. Um den Effekt einer reinen Glaswand zu verstärken, ist der Rand des Flachdachs besonders knapp und nach hinten abgeschrägt ausgebildet.



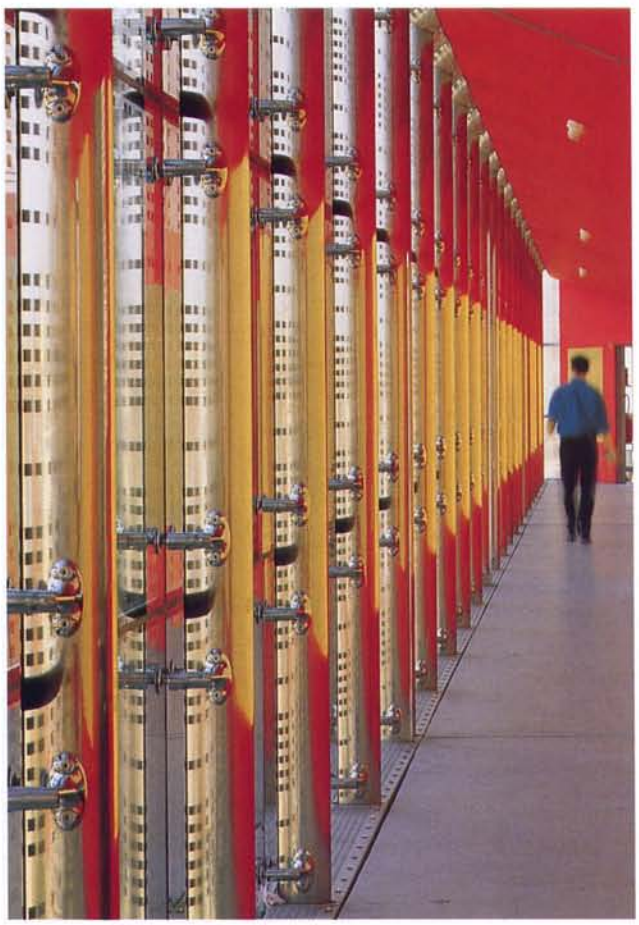




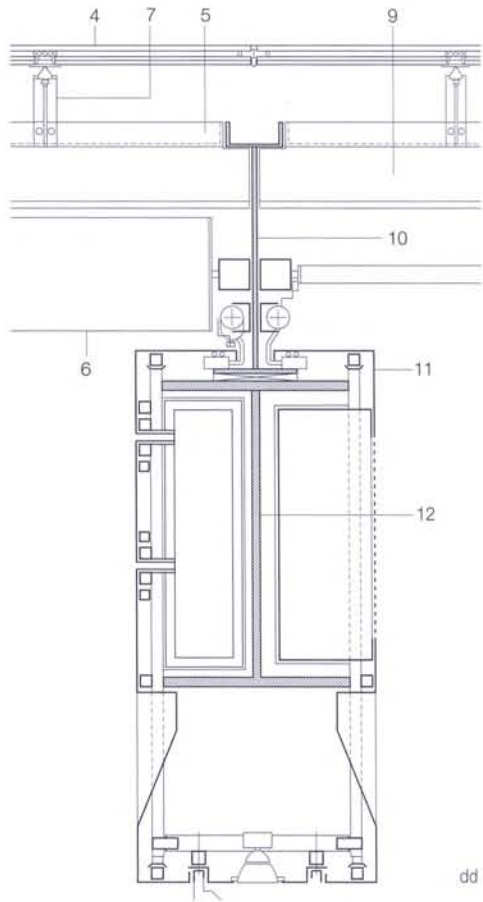
bb

Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:1500
Vertikalschnitt
Maßstab 1:20

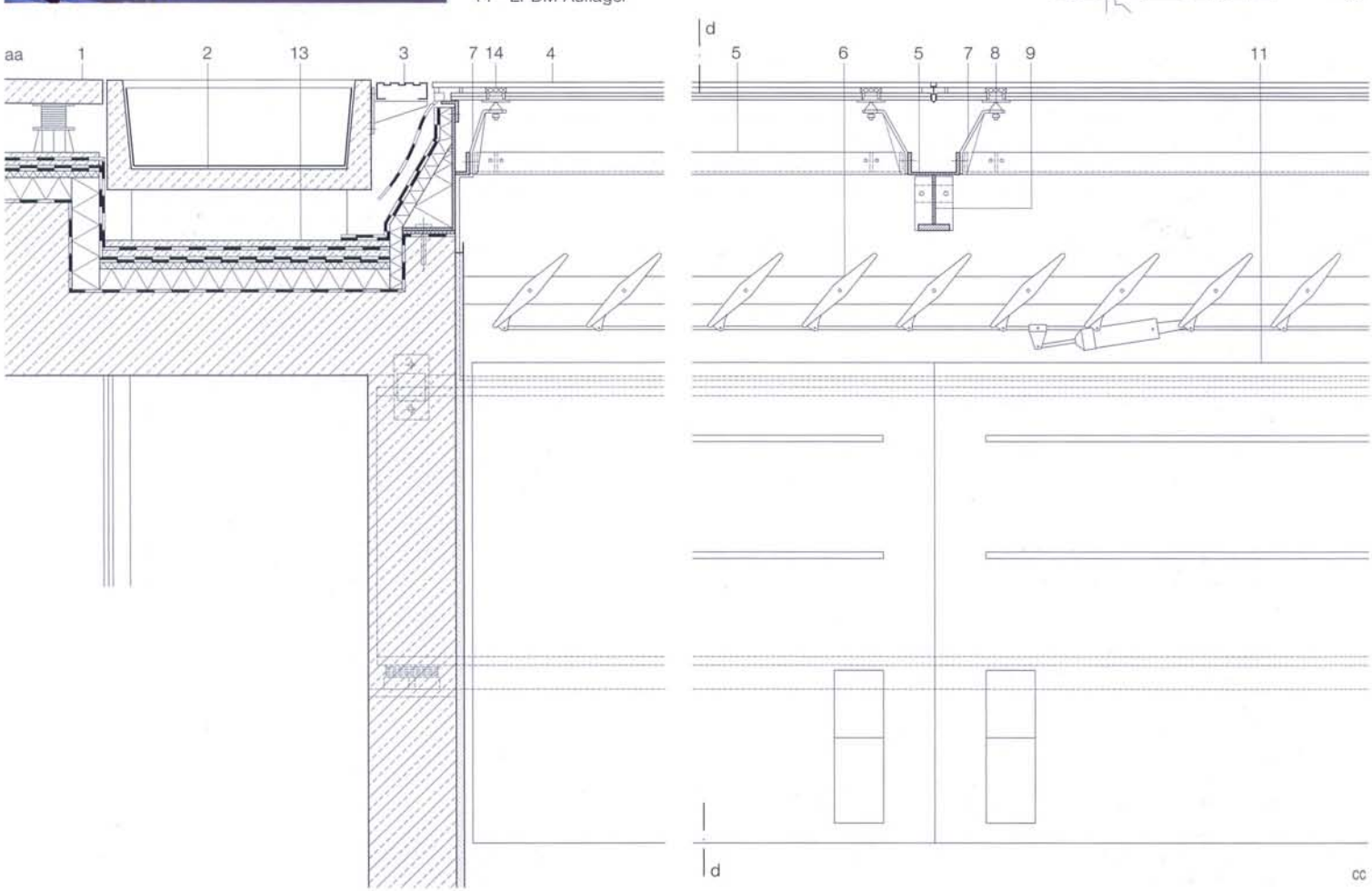
1 Isolierverglasung: ESG 12 mm, verspiegelt und rückseitig keramisch bedruckt + SZR 15 + VSG 12 mm
2 Punkthalter aus Edelstahlguss mit Gelenk in der Scheibenebene
3 Edelstahlpfosten
4 Edelstahlblech perforiert
5 Edelstahlpaneel
6 EPDM-Fugenprofil umlaufend
7 VSG in Aluminiumrahmenkonstruktion
8 Gitterrost Edelstahl
9 Aluminiumblech poliert
10 Silikonfuge
11 Abdeckblech Aluminium gekantet



Vertikalschnitte Horizontalverglasung
über Untergeschoss
Maßstab 1:20



1 Feinbetondecke auf justierbaren Kunststofflagern
2 umlaufende Wasserrinne
3 Gitterrost Edelstahlblech 2 mm
4 ESG 15 mm verspiegelt
Fugendichtung schwarzes Silikon +
SZR 15 + VSG 20 mm
5 Rost aus Stahlprofilen LJ 150
6 Sonnenschutzlamellen Aluminium
7 Stahlgussteil, verschraubt mit Stahlrost
8 Stahlguss-Punkthalter mit Gelenk in der Glasebene
9 Nebenträger Stahl
10 Stahlabhängung zur Lamellenbefestigung
11 Blechverkleidung 3 mm auf Stahlrohrkonstruktion
⍁ 30/30/2 mm
12 Hauptträger Stahl
13 Gussasphalt Stahl 20 mm
Glasvlies zweilagig
Kunststoffbahnen
Blähtondämmung 20 mm
Polyurethandämmung
Dampfsperre Stahlbeton
14 EPDM-Auflager



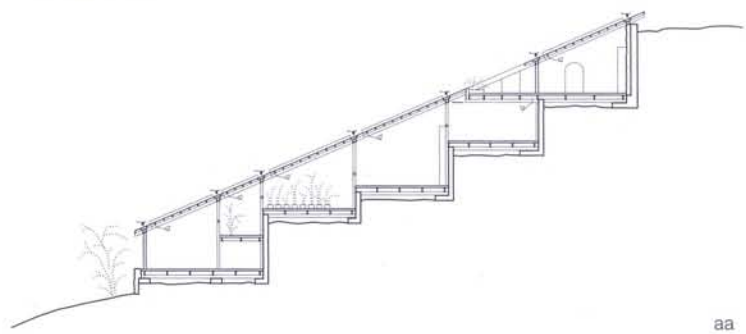
Forschungslabor und Architekturbüro

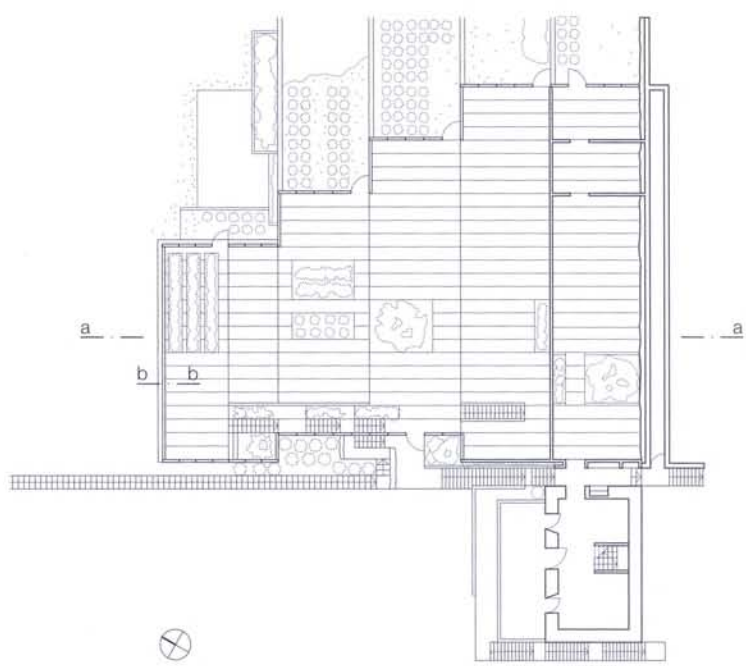
Genua, I 1991

Architekten:
Renzo Piano Building Workshop, Genua
Entwurfsteam:
R. Piano, M. Cattaneo, F. Marano, S. Ishida, M. Lusetti, M. Nouvion
Unterstützt von:
M. Carroll, O. Di Blasi, R. V. Truffelli, M. Varratta
Tragwerksplanung:
P. Costa, Genua

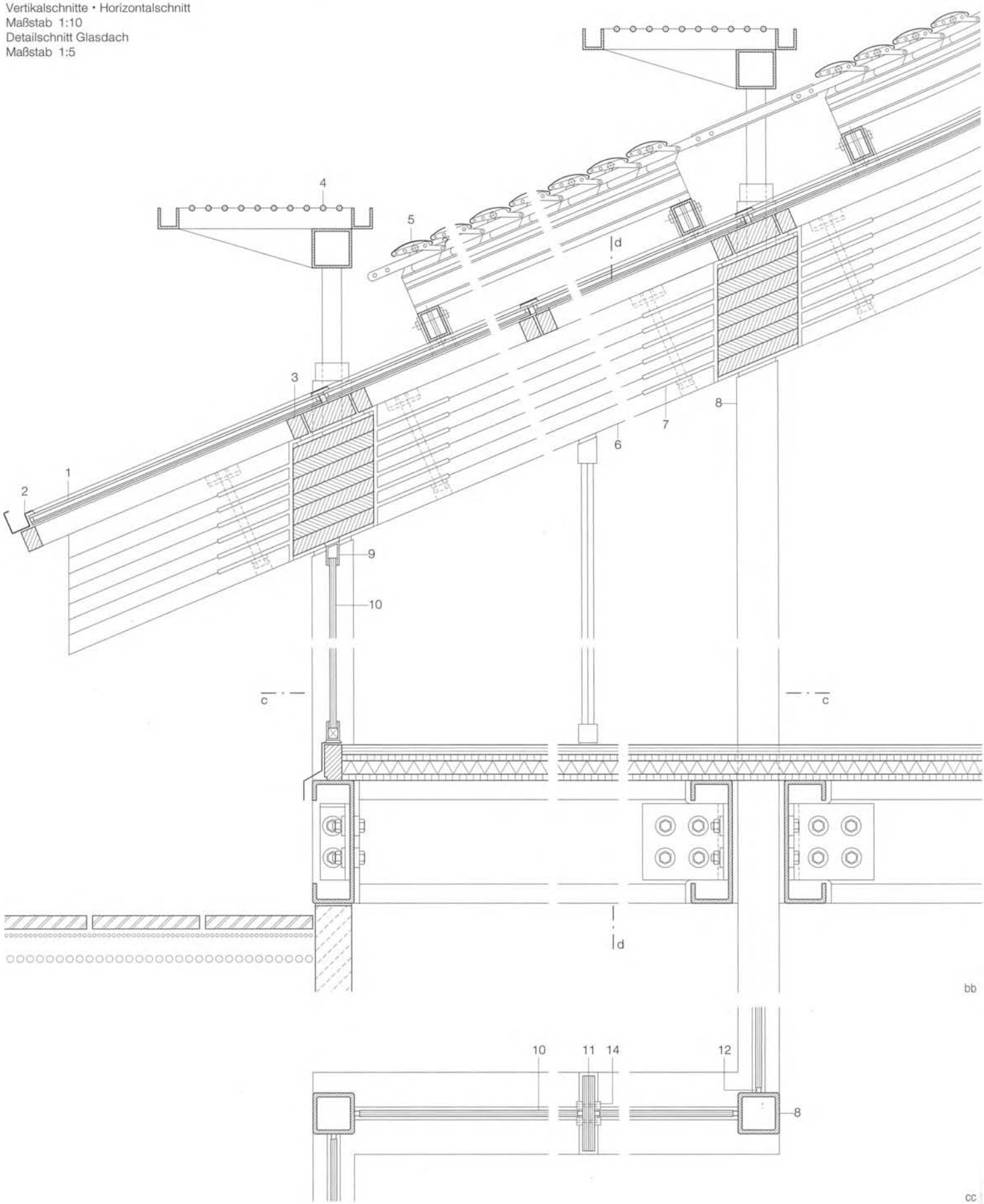
Das an einem steilen, terrassierten Hang am Golf von Genua gelegene Gebäude beherbergt neben dem Büro des Renzo Piano Building Workshop ein von der UNESCO finanziertes Laboratorium zur Erforschung der Konstruktionsprinzipien natürlicher Materialien. Den überwiegenden Teil des Gebäudes mit seinem großen parallel zum Gelände verlaufenden Glasdach nimmt ein einziger zusammenhängender Raum ein, dessen Boden entsprechend den Hangterrassen abgestuft ist.
Bereits der Zugang zum Gebäude ist inszeniert: Ein vollkommen verglaster Schrägaufzug bietet während der Fahrt phantastische Ausblicke auf das Meer. Im Innenraum bleiben wegen des gläsernen Dachs und der Ganzglaswände die Landschaft und der Himmel weiterhin erlebbar.
Konstruktion und Materialien des Hauses sind reduziert und verbinden örtliche Tradition – die Formensprache nimmt Bezug auf die Gewächshäuser der Umgebung – mit modernster Technik. Das Dach wird von Schichtholzbalken getragen, die auf Stahlstützen aufliegen. Die einzelnen Glastafeln sind auf Holzrahmen geklebt, die Stöße mit Silikon verfugt. Bei entsprechender Sonneneinstrahlung wird der von Solarzellen gesteuerte Lamellen-Sonnenschutz automatisch geschlossen. Die Holzträger sind so dimensioniert, dass mit keiner nennenswerten Durchbiegung zu rechnen ist. Aus diesem Grund können die Ganzglasfassaden ohne Gleitfugen anschließen. Ihre Aussteifung erfolgt durch filigrane, beidseitig angeordnete Glasrippen.
Das Gebäude beherbergt nicht nur Forschungseinrichtungen, sondern wird selbst als Forschungsprojekt aufgefasst. Deshalb konnte sowohl mit der Konstruktion der Dachverglasung als auch mit dem Raumklima experimentiert werden. Die Erfahrung der ersten Jahre zeigt, dass es trotz Klimaanlage und Sonnenschutz an heißen Sommertagen – unter anderem auch wegen der fehlenden thermisch wirksamen Speichermasse – oftmals zu einer zu starken Erwärmung des Innenraums kommt. Dieser Nachteil wird allerdings aufgrund der hohen gestalterischen Qualitäten und des gelungenen Zusammenwirkens der Materialien Glas und Holz in Kauf genommen.

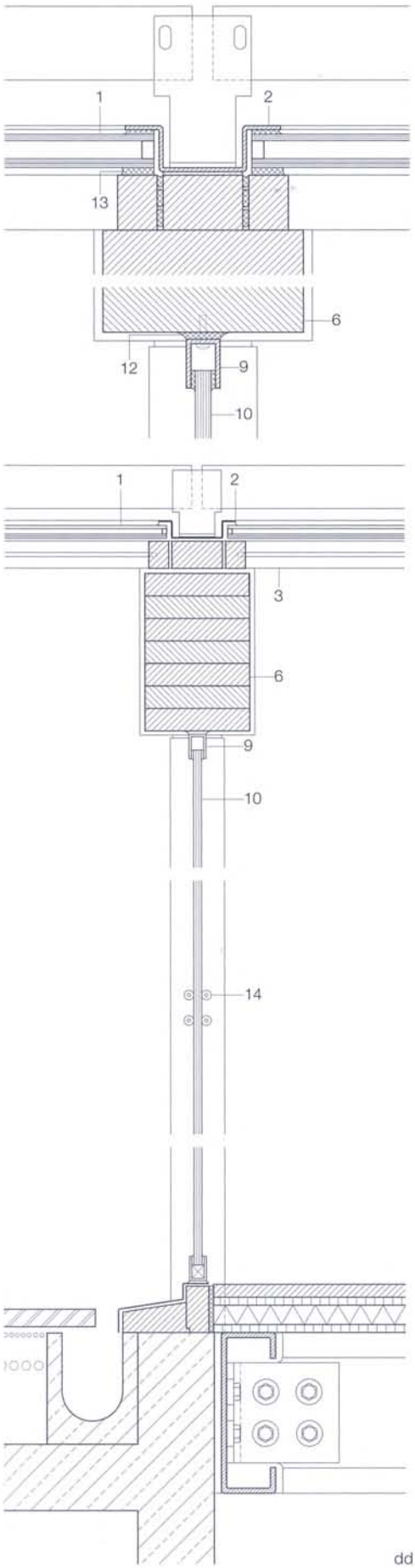
Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:500





Vertikalschnitte • Horizontalschnitt
Maßstab 1:10
Detailschnitt Glasdach
Maßstab 1:5





dd

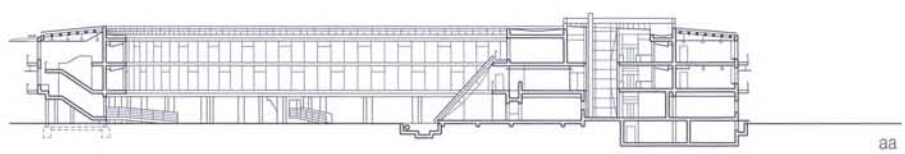
1 Isolierverglasung 6 + SZR 15 + VSG 6 mm
2 Entwässerungsrinne Edelstahlblech
3 Holzrahmen 34/45 mm
4 Wartungssteg Stahl feuerverzinkt
5 verstellbare Aluminium-Sonnenschutzlamelle
6 Leimschichtholzträger 160 × 240 mm
7 Stahlknoten aus Flachstahl verschweißt
8 Stütze Stahlrohr Ø 85/85 mm
9 Aluminiumprofil
10 ESG 10 mm
11 Glasschwert
12 dauerelastische Verfugung
13 Silikon-Klebeverbindung
14 Acrylglashalter beidseitig auf Glasschwert mit Schraubbefestigung

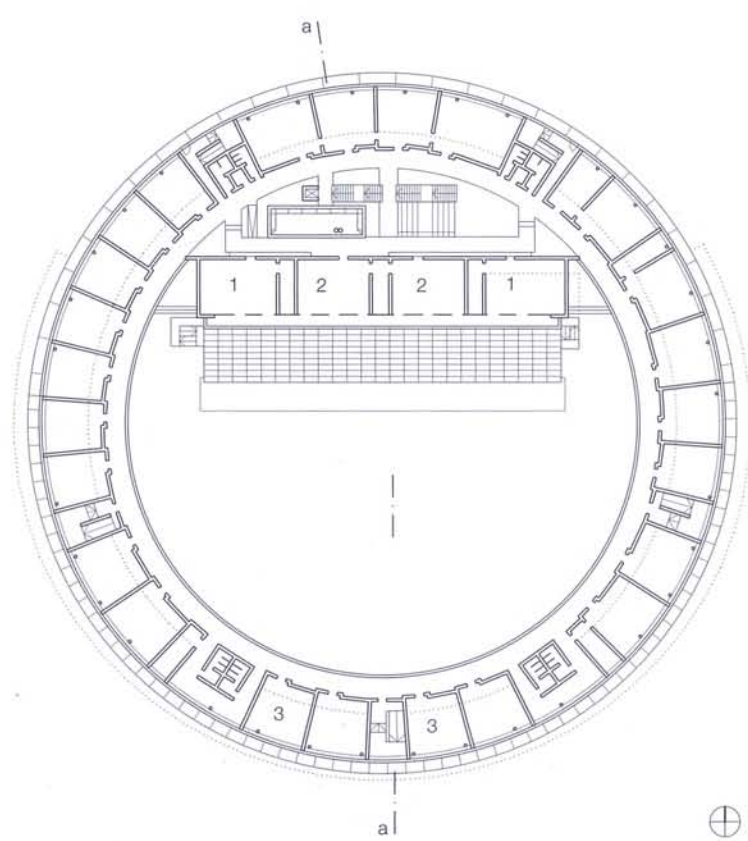
Gymnasium

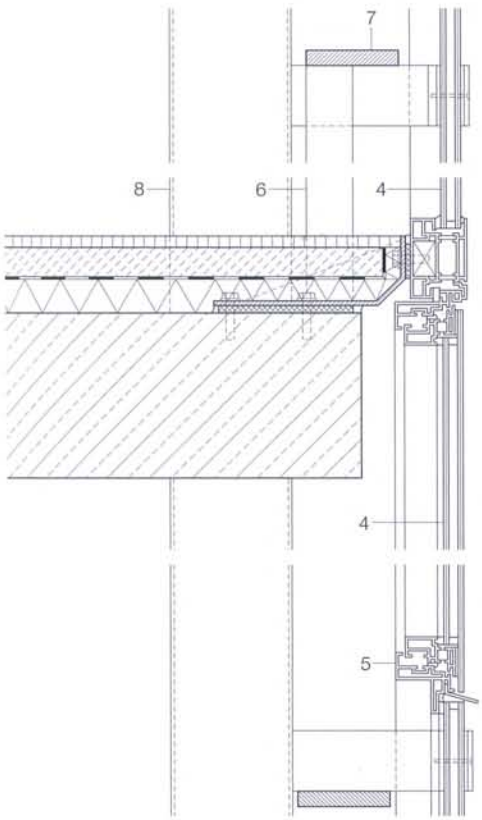
Flöha, D 1996

Architekten:
Allmann Sattler Wappner Architekten, München
Mitarbeiter: Karin Hengher, Robinson Pourroy, Detlev Böwing, Katharina Duer, Kilian Jokisch, Astrid Jung, Anita Moum, Susanne Rath, Jan Schabert, Dominikus Stark
Tragwerksplanung:
Obermeyer Albis Bauplan, Chemnitz
Ingenieurgesellschaft Hagl, München
Fassadenberatung:
Richard Fuchs, München

Das neue Gymnasium befindet sich in einer bisher weitgehend ungestörten Auenlandschaft am Rande einer Kleinstadt in Sachsen. Um die Landschaft so wenig wie möglich zu beeinträchtigen, schwebt das Gebäude größtenteils als aufgeständerter Ring 4 m über dem Gelände. Gleichzeitig ist die Kreisform Ausdruck für die Gemeinschaft der Schüler.
Die Organisation des Schulgebäudes ist einfach. Im südlichen Teil des zweigeschossigen Rings sind die Klassenzimmer, im nördlichen Teil Fachräume untergebracht. Das Erdgeschoss belegen Lehrerzimmer und Verwaltung. In einem schräg ansteigenden, verglasten Baukörper innerhalb des Rings sind die Pausenhalle und Sonderfunktionen untergebracht. Die Fassaden im aufgeständerten Bereich sind als vorgehängte Metall-Glaskonstruktionen ausgeführt. Während sie am Außenring durch weit auskragende Sonnenschutzelemente und Fluchtbalkone stark profiliert sind, sind die zum Innenhof gerichteten Fassaden flächig ausgebildet, ohne Deckleisten und vertikale Profile. Die Grenze zwischen innen und außen löst sich hier auf. Die Druck- und Soglasten der 3 m hohen Scheiben werden von innen liegenden Flachstahlprofilen aufgenommen. Eine Besonderheit stellt das mit einem Gefälle von 4,5 % ausgebildete filigrane Glasdach über der Pausenhalle dar. Schmalformatige Isolierglastafeln sind mittels gelenkig ausgebildeter Punkhalter von der außen liegenden Stahlkonstruktion abgehängt. Die filigrane Verglasung bewegt sich an der Grenze des technisch Machbaren, denn die zusätzlich auf die Scheiben einwirkenden Lasten aus klimabedingten Druckschwankungen im Luftzwischenraum der Isoliergläser sind bei dieser Konstruktion nicht unerheblich und mussten im statischen Nachweis berücksichtigt werden. Um den Randverbund des Isolierglases zu belüften, sind die Fugen nur oberseitig mit Silikon geschlossen. Der notwendige Sonnenschutz wird durch die außen liegende Stahlkonstruktion und durch eine keramische Bedruckung der Gläser erreicht.

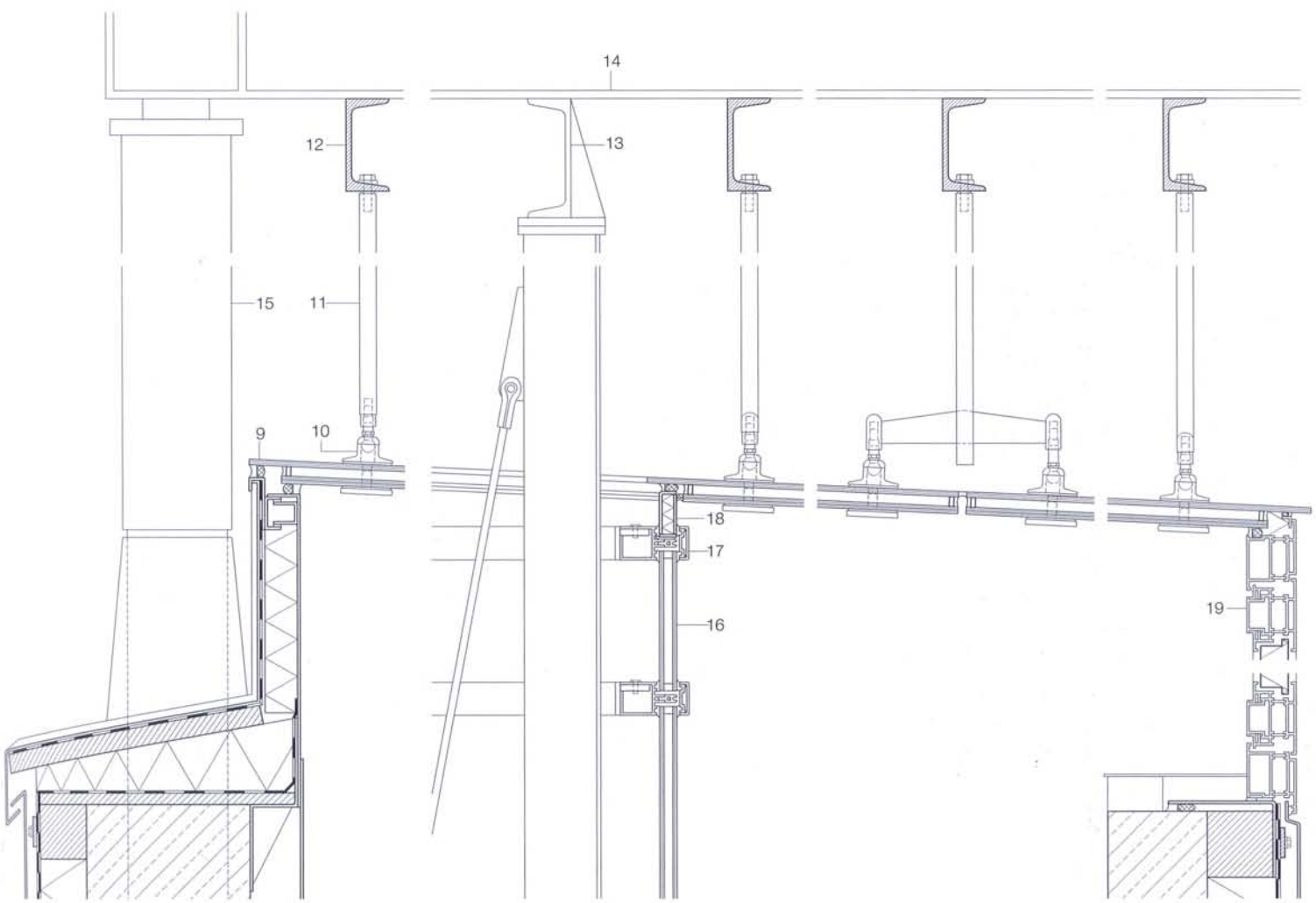






Grundriss 2. Obergeschoss • Schnitt
Maßstab 1:1000
Detailschnitt Regelfassade Pausenhof • Glasdach
Maßstab 1:10

1 Kunstsaal
2 Musikzimmer
3 Klassenzimmer
4 Isolierfestverglasung ESG 8 + SZR 12 + 8 mm
5 Aluminiumfenster mit Isolierverglasung
6 Stahlrohr Ø 60/20 mm
7 Flachstahl ▱ 120/20 mm
8 Stahlrohr Ø 159 mm
9 Isolierverglasung ESG 12 + SZR 12 + VSG 16 mm aus 2x 8 mm TVG
10 Edelstahl-Punkthalter
11 Stahlrohrabhängung Ø 16 mm
12 Träger Stahlprofil ⊔ 140
13 Randträger Stahlprofil ⊔ 180
14 IPE 360/600 mm
15 Stütze Stahlrohr Ø 165 mm
16 Isolierverglasung 6 + SZR 14 + 6 mm
17 Aluminium-Pressleiste
18 Paneel, gedämmt
19 Rauchabzugsklappe



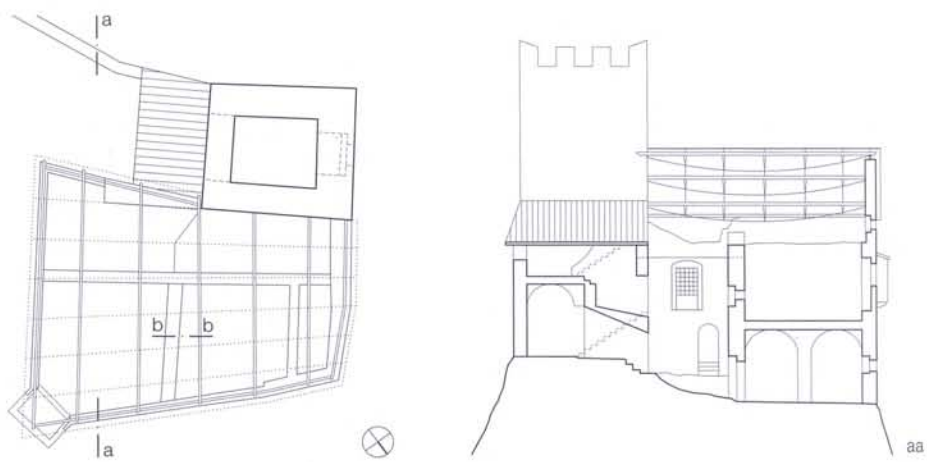
Glasdach Schloss Juval

Schnalstal im Vinschgau, I 1996

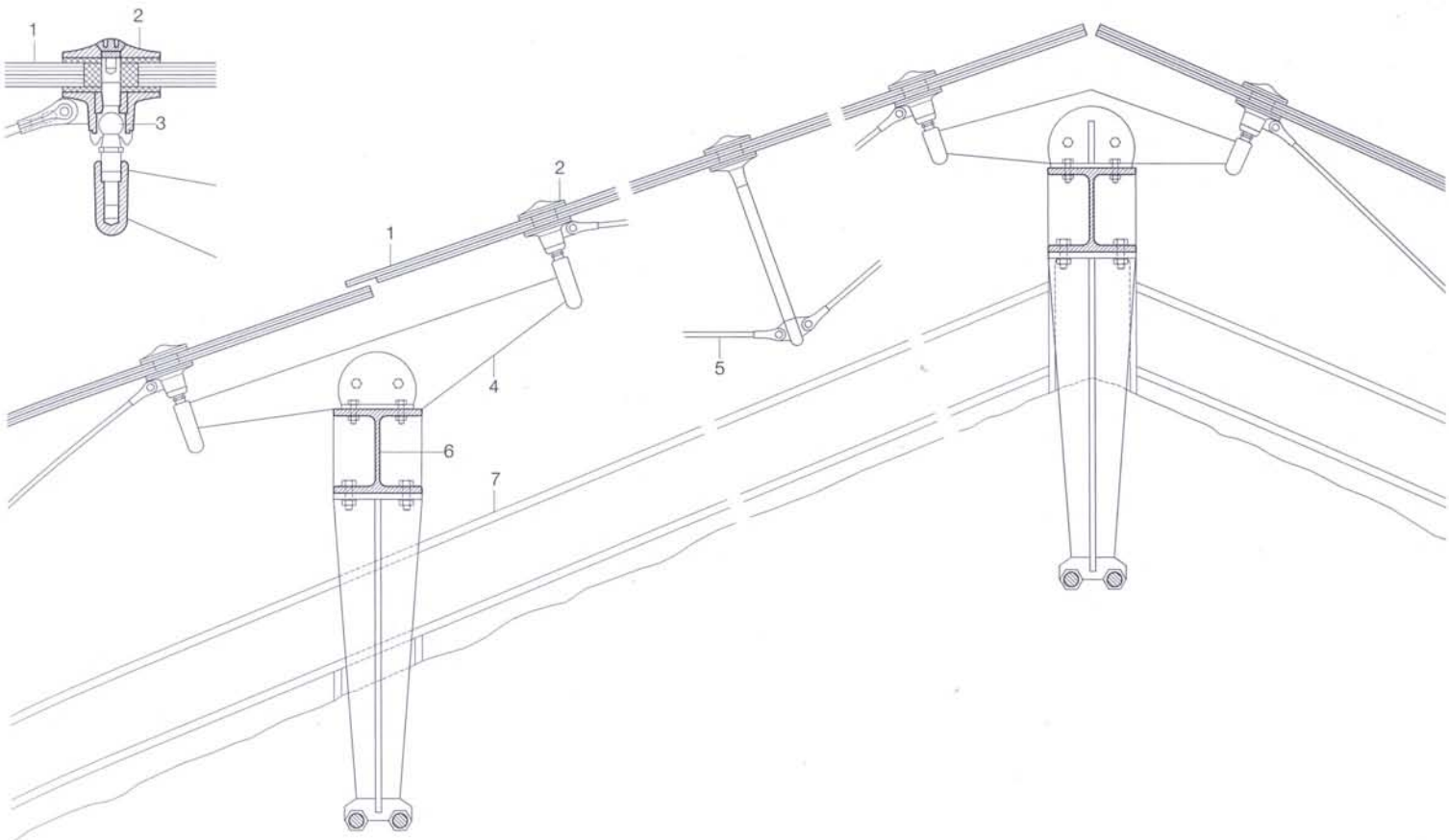
Architekt:
Robert Danz, Schönaich
Bauleitung:
Konrad Bergmeister, Brixen
Tragwerksplanung:
Delta-X, Stuttgart
Albrecht Burmeister, E. Ramm, Stuttgart

Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:400
Detailschnitt Glasdach
Maßstab 1:10
Detail Punkthalter
Maßstab 1:5

1 VSG 16 mm aus 2× 8 mm ESG
2 Edelstahl-Punkthalter
3 Kugelgelenk
4 Waagbalken Flachstahl ▱ 8 mm
5 Stahlzugstab Ø 6 mm längenjustierbar
6 unterspannter Stahlträger HEA 120
7 Randträger Stahlprofile HEB 120



Schloss Juval, auf einem Felsrücken in knapp 1000 m Höhe gelegen, wachte im Mittelalter über den Zugang zum Schnalstal im Vinschgau. Nach häufig wechselnden Besitzern wurde es 1983 von Reinhold Messner erworben und anschließend nach und nach saniert. Den Abschluss der Instandsetzungsarbeiten bildet nun die Überdachung der Ruine neben dem Bergfried. Diese soll die alten Mauern vor dem weiteren Verfall schützen und den Raum zur Ausstellung von Skulpturen nutzbar machen. Aus denkmalpflegerischen Gründen wurde ein Glasdach gewählt, das mit seinen wenigen Auflagerpunkten über dem Gebäude zu schweben scheint. In seiner Form nimmt es die Umrisse der ehemaligen Dachkonstruktion auf. Der Dachüberstand beträgt zwischen 25 und 40 cm. Um den Eindruck eines räumlichen Abschlusses zu erzielen, wurde für die untere VSG-Tafel Grün gewählt. Die Glastafeln sind in Richtung der Dachneigung unterspannt und über gelenkige Punkthalter und Waagbalken auf die in Firstrichtung verlaufenden Hauptträger aufgelegt. Der statischen Bemessung liegt eine Lastannahme von 1,85 kN/m² für Schnee und Eigengewicht zugrunde. Aufgrund des trapezförmigen Grundrisses sind die Glastafeln strahlenförmig angeordnet.
Das bewirkt, dass alle Glastafeln unterschiedliche Abmessungen besitzen. Die Zuschnitte und Bohrungen erfolgten elektronisch mit den zuvor bei der Planung mit CAD ermittelten Daten.

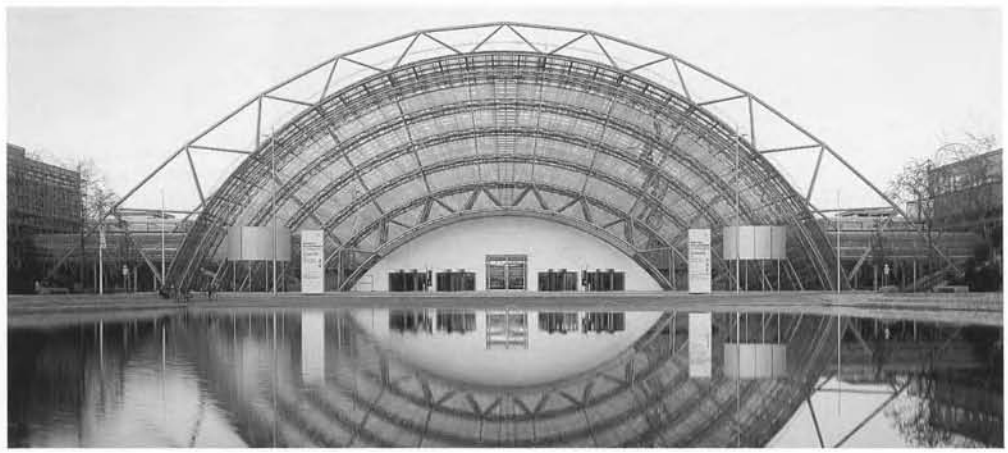


bb

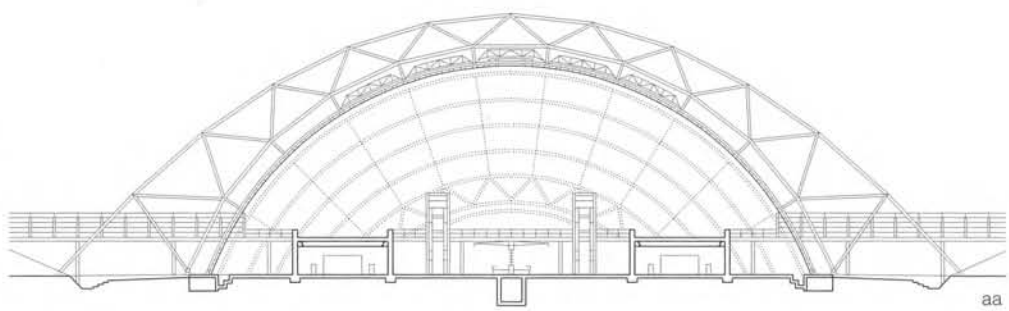
Neue Messe

Leipzig, D 1996

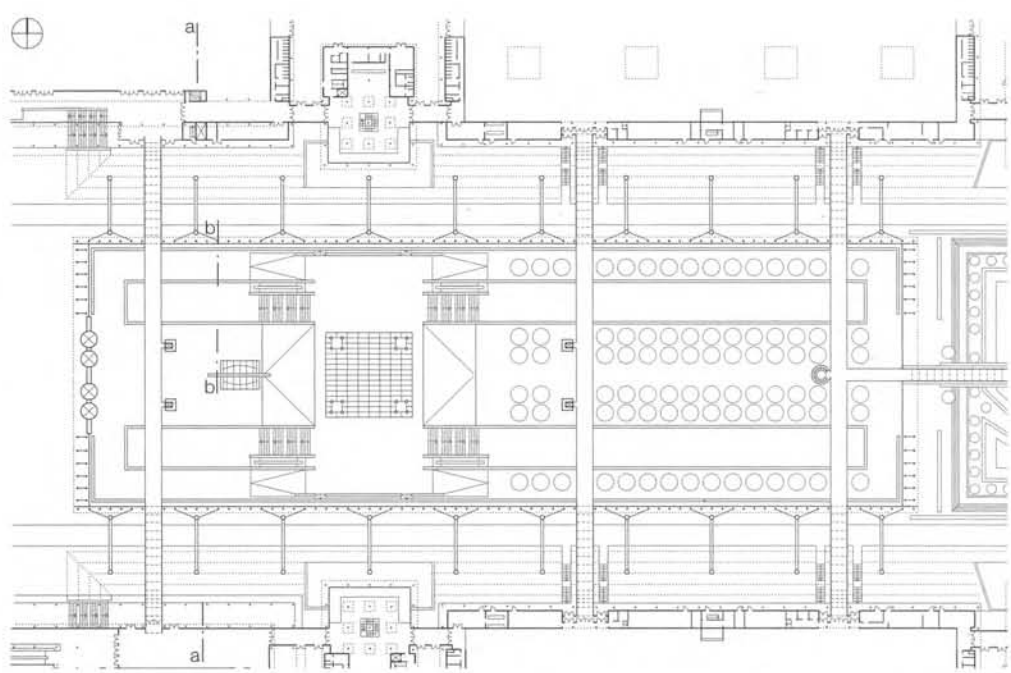
Architekten:
von Gerkan, Marg + Partner, Aachen / Leipzig
Entwurf:
Volkwin Marg
Projektleitender Partner:
Hubert Nienhoff
Tragwerksplanung:
Polónyi + Partner, Köln
Stahl-/Glas-Strukturen zentrale Halle:
von Gerkan, Marg + Partner, Leipzig
in Kooperation mit
Ian Ritchie Architects, London

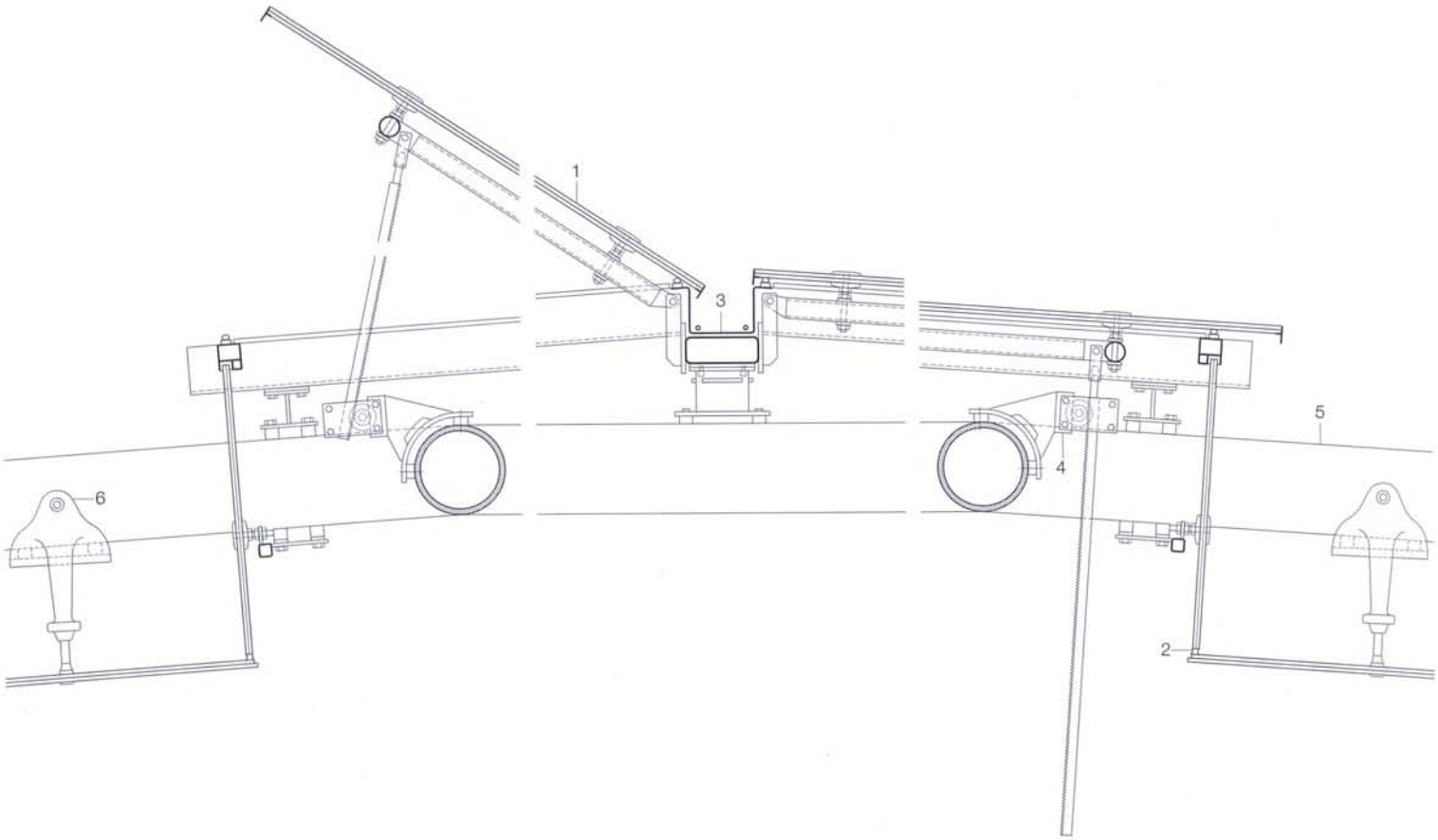


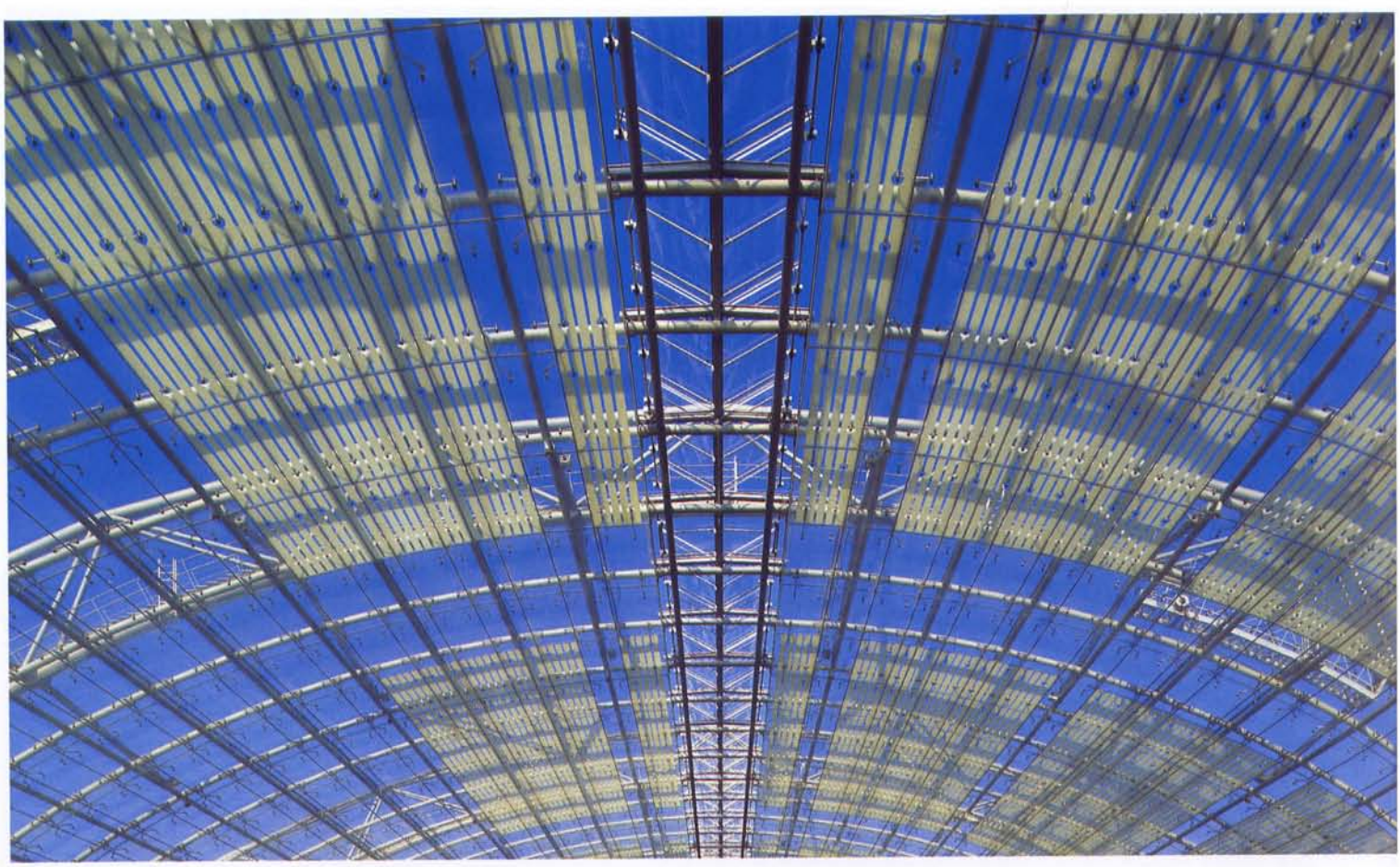
Das Zentrum der Neuen Messe bildet eine große lichtdurchflutete Glashalle, die dem Empfang, der Orientierung und der Erschließung dient. Die Tragkonstruktion besteht aus zehn Gitterrohrträgern im Abstand von jeweils 25 m, die die Gitternetzstruktur aus Stahl stabilisieren. An den Querrohren dieser Struktur befinden sich die Stahlgussarme, von denen die Glashaut als Raum abschließende Schicht abhängt. Die beiden selbsttragend ausgeführten Giebelfassaden der Halle entlasten die gewölbte Konstruktion. Um die Verformungen des außen liegenden Tragwerks sowie der Einzelscheiben kompensieren zu können, musste eine zwängungsfreie Glaslagerung gewährleistet werden. Das in der Scheibenebene liegende Kugelgelenk reicht hierfür nicht aus. Deshalb wurden drei unterschiedliche Ausführungen der Punkthalter eingesetzt, die verschiedene Freiheitsgrade ermöglichen. Während der erste Haltertyp in der Scheibenebene fest fixiert ist, lässt der zweite durch ein einfaches Achsgelenk Verformungen in einer Richtung der Scheibenebene zu. Der dritte Haltertyp ermöglicht durch ein Kugelgelenk alle Verformungen in der Scheibenebene, d.h. er fixiert die Scheibe nur senkrecht. Die Abmessungen der VSG-Tafeln betragen 1524 x 3105 mm, wobei die obere der beiden Scheiben umlaufend 10 mm kleiner ist. In die entstehende Glasstufe sind elastische Fugenschlaufen geklebt, die die im Mittel 20 mm breiten Fugen schließen und kalkulierte Bewegungen von ± 8 mm aufnehmen. Die Kreuzungspunkte der Fugenschlaufen sind mit Formstücken überlappend verklebt, der Übergang zum Glas ist mit spritzbarem Silikon abgedichtet. Eine Überhitzung im Sommer wird durch natürliche Belüftung ausgeschlossen. Frische Luft tritt an den bis zu einer Höhe von 2,5 m durchlaufenden Glaslamellen ein, die erwärmte Luft wird nach oben geschoben und entweicht durch gläserne Öffnungsflügel im First, die im Brandfall als Rauchabzug dienen. Daneben reduziert eine keramische Bedruckung des Glases im kritischen Bereich die Sonneneinstrahlung. Das außen liegende Tragwerk verschattet ca. 15 % der bestrahlten Fläche. An besonders heißen Tagen besprüht eine äußere Scheibenwaschanlage die Glasflächen mit entkalktem Wasser, wodurch Verdunstungskälte entsteht.

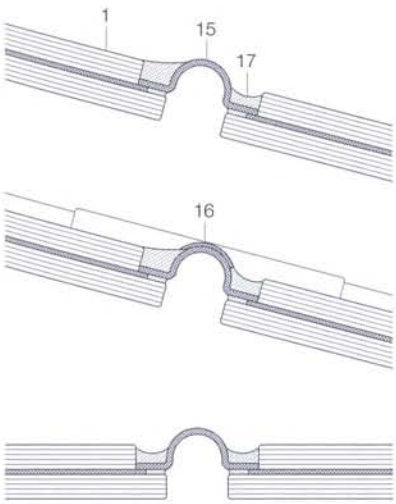


Schnitt
Maßstab 1:1000
Grundriss
Maßstab 1:2500



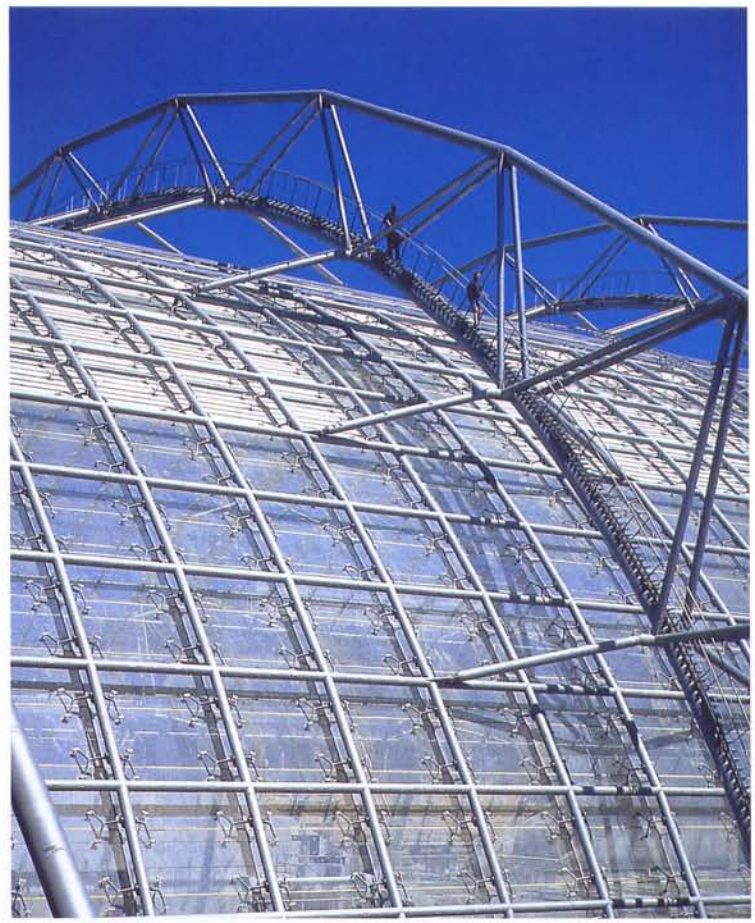

1
3
6
4
5
2

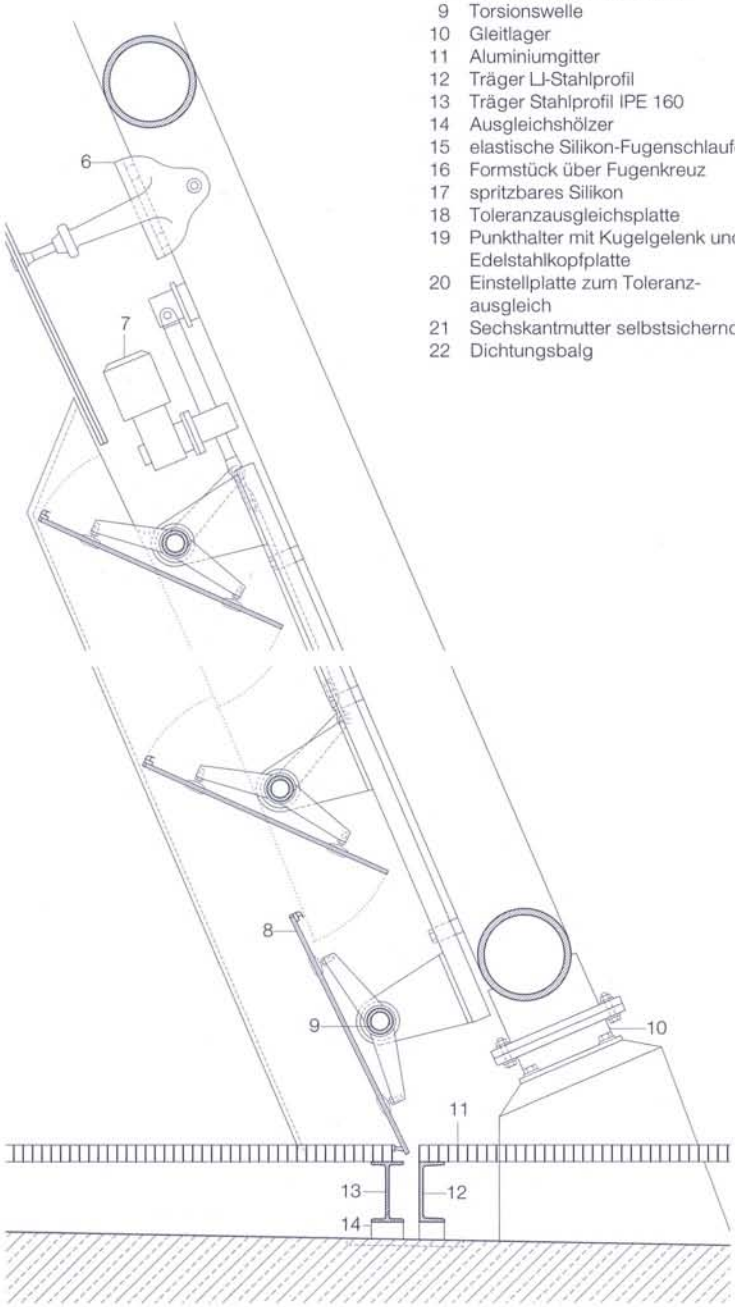


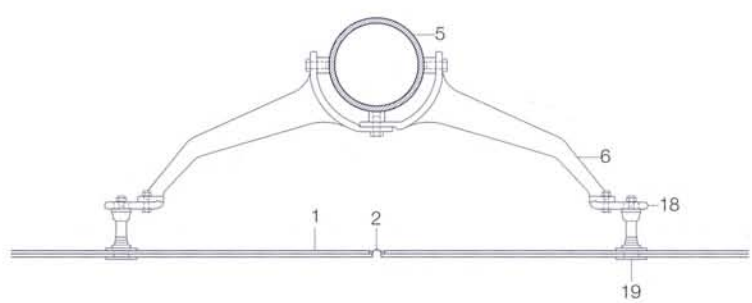


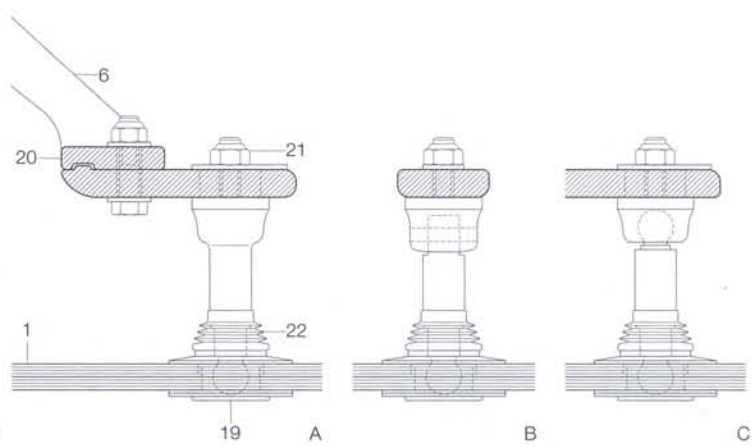
Vertikalschnitte •
Horizontalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitt Glashalterung
Maßstab 1:5
A starr
B in einer Richtung beweglich
C in beide Richtungen beweglich
Details Glasfuge
Maßstab 1:2,5

1 Verglasung VSG aus 2× 8 mm ESG dazwischen PVB-Folie 1,52 mm
2 Silikonfuge
3 First-Regenrinne
4 Spindelmotor
5 Stahlrohr Ø 244,5 × 8 mm
6 Gussarm (Frogfinger) mit Punkthalter
7 Motorantrieb für Glaslamellen
8 Glaslamellen ESG 10 mm
9 Torsionswelle
10 Gleitlager
11 Aluminiumgitter
12 Träger LJ-Stahlprofil
13 Träger Stahlprofil IPE 160
14 Ausgleichshölzer
15 elastische Silikon-Fugenschlaufe
16 Formstück über Fugenkreuz
17 spritzbares Silikon
18 Toleranzausgleichsplatte
19 Punkthalter mit Kugelgelenk und Edelstahlkopfplatte
20 Einstellplatte zum Toleranz-ausgleich
21 Sechskantmutter selbstsichernd
22 Dichtungsbalg





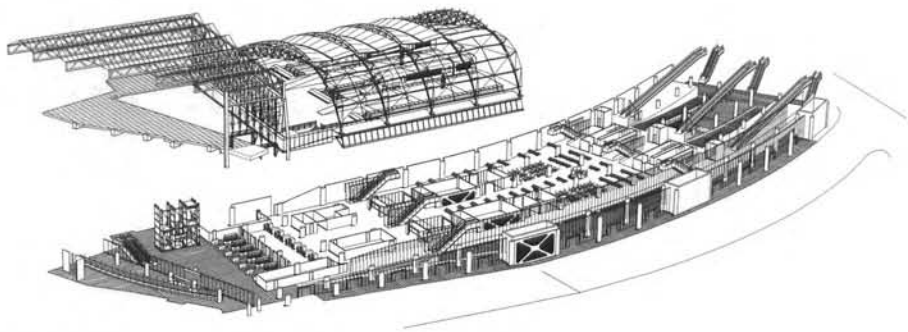




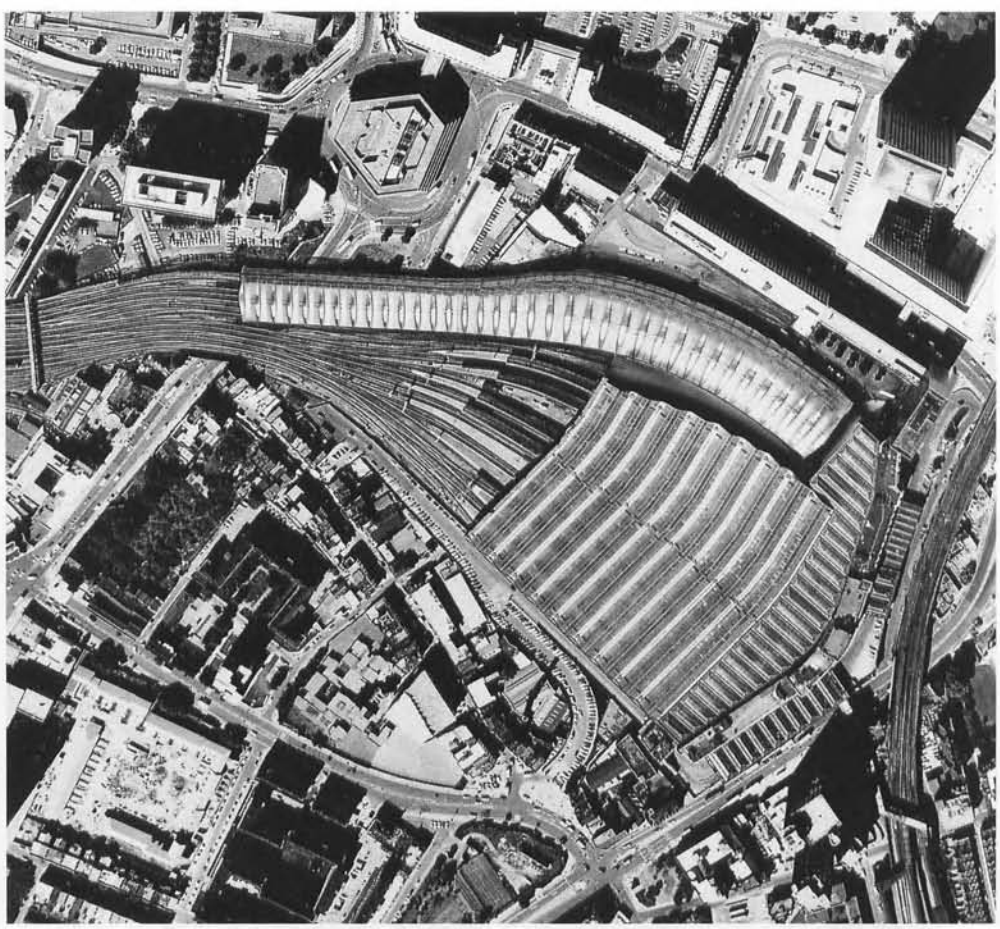
Waterloo International Terminal

London, GB 1994

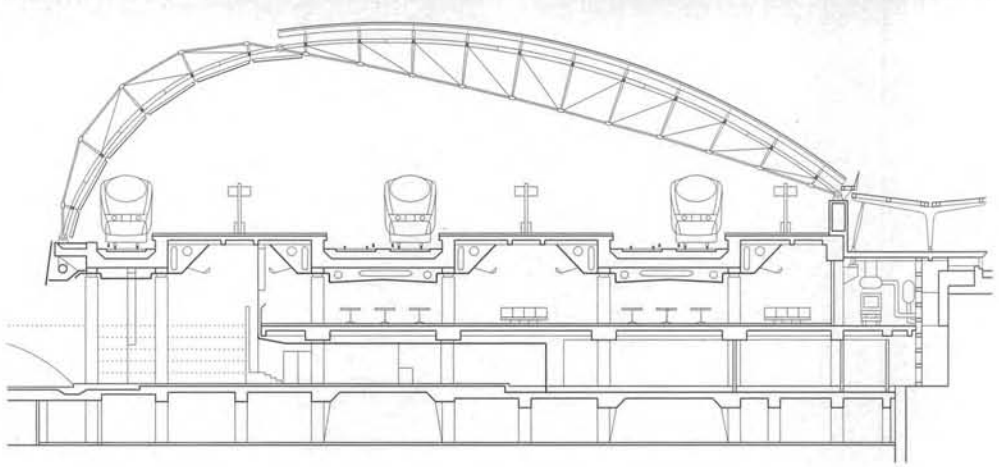
Architekten:
Nicholas Grimshaw and Partners, London
Nick Grimshaw, Neven Sidor,
David Kirkland, Ursula Heinemann
Tragwerksplaner:
Anthony Hunt Associates, Cirencester
Tony Hunt, Alan Jones, Mike Otlet,
David Dexter

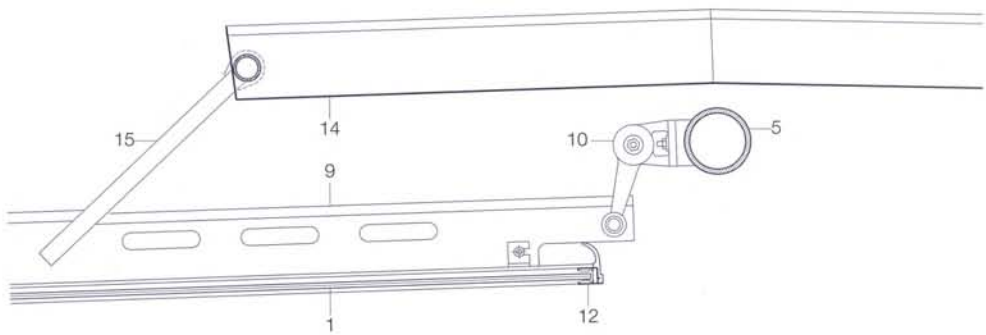


Isometrie ohne Maßstab
Schnitt Maßstab 1:500

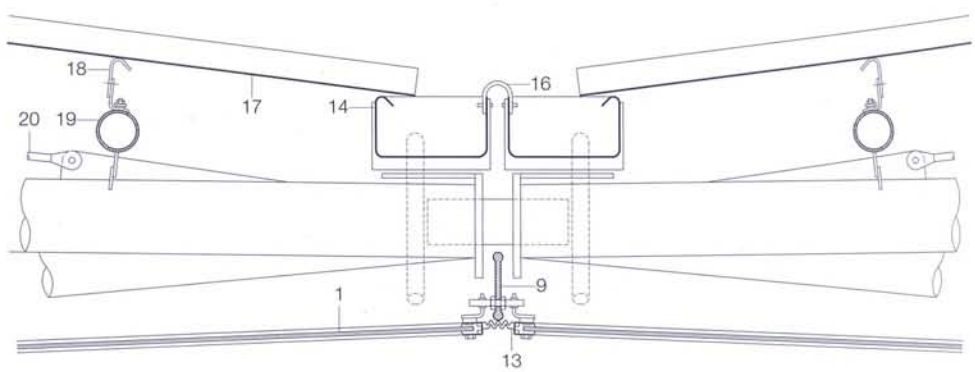


Charakteristisch für den Kopfbahnhof ist das gebogene, lichtdurchflutete Dach, das entscheidend vom Material Glas geprägt wird. Die 400 m lange Anlage folgt schlangenförmig dem Verlauf der Schienenstränge, was zu Spannweite des Daches zwischen 32 und 48 m führt. Dessen filigranes Tragwerk besteht aus abgeflachten, in Zug- und Druckstäbe aufgelösten Dreigelenkbögen. Ursache für die asymmetrische Form ist ein Gleis am westlichen Rand des Terminals. In diesem Bereich das Dach für die Durchfahrt der Züge steiler aufragen muss. In diesem Bereich liegt die Tragkonstruktion, außerhalb der Dachhaut, der Querschnitt des jeweils druckbelasteten Gurtes ändert sich entsprechend dem Kräfteverlauf. Während sich bei der Dachhaut auf der flacheren Seite geschlossene Felder mit Oberlichtbändern abwechseln, ist die steilere vollkommen transparent. Die schuppenförmige Verglasung der in zwei Richtungen gekrümmten Form erfolgte mit einer einzigen Standardscheibengröße. Die Glashalteprofile sind an gelenkigen Verbindungsteilen aus Edelstahl befestigt, die gleichzeitig die Bewegung der Dachhaut ermöglichen. Seitlich sind die Sicherheitsgläser durch EPDM/APTK-Teile verbunden, die sich den unterschiedlichen Abständen anpassen und die Bewegungen aufnehmen. Die Aussteifung zwischen den Hauptträgern erfolgt auf der steileren Westseite über diagonal angebrachte Zugstäbe.
Der zweigeschossige öffentliche Raum entlang der Westseite wird von den Warteräumen durch eine rahmenlose, hängende Verglasung getrennt. Ebenso wie die ähnlich konstruierte Straßenfassade muss diese Glaswand unterschiedliche, teilweise erhebliche Bewegungen und Toleranzen aufnehmen – die thermische Ausdehnung der tragenden Stahlbetonkonstruktion beträgt über die Gesamtlänge bis zu 55 mm und die Durchbiegung der Kassettendecke bei jedem einfahrenden Zug etwa 11 mm. Vierpunkt-Glasverbinder aus Stahlguss ermöglichen mittels Edelstahl-Gelenkbolzen die Bewegung jeder einzelnen Glastafel. Die obersten Tafeln sind jeweils einmal mittig von der Decke abgehängt und tragen über die Vierpunktverbinder das Gewicht aller darunter liegenden Scheiben. Die Aussteifung der Glaswand erfolgt über abgehängte Glasschwerter.

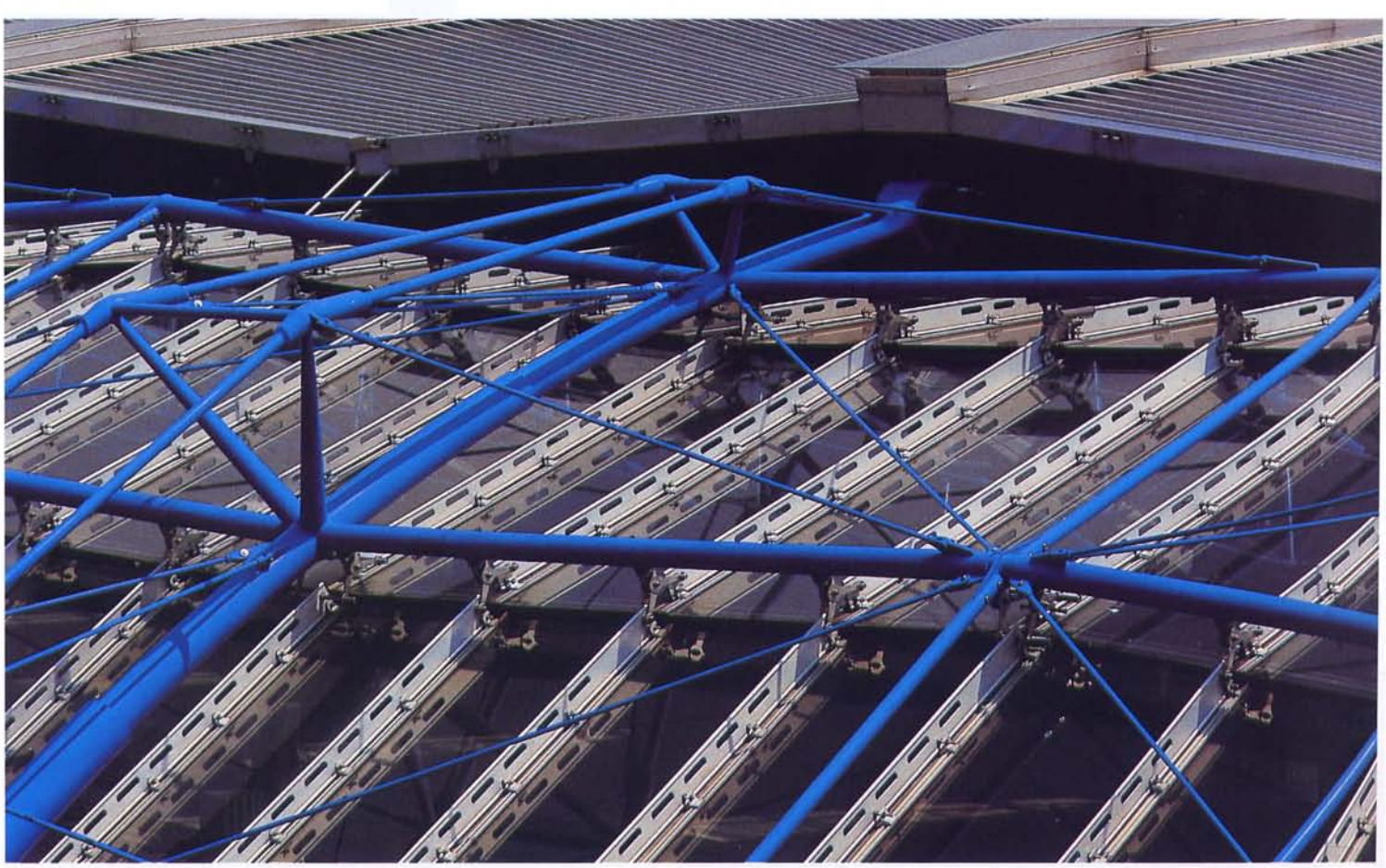


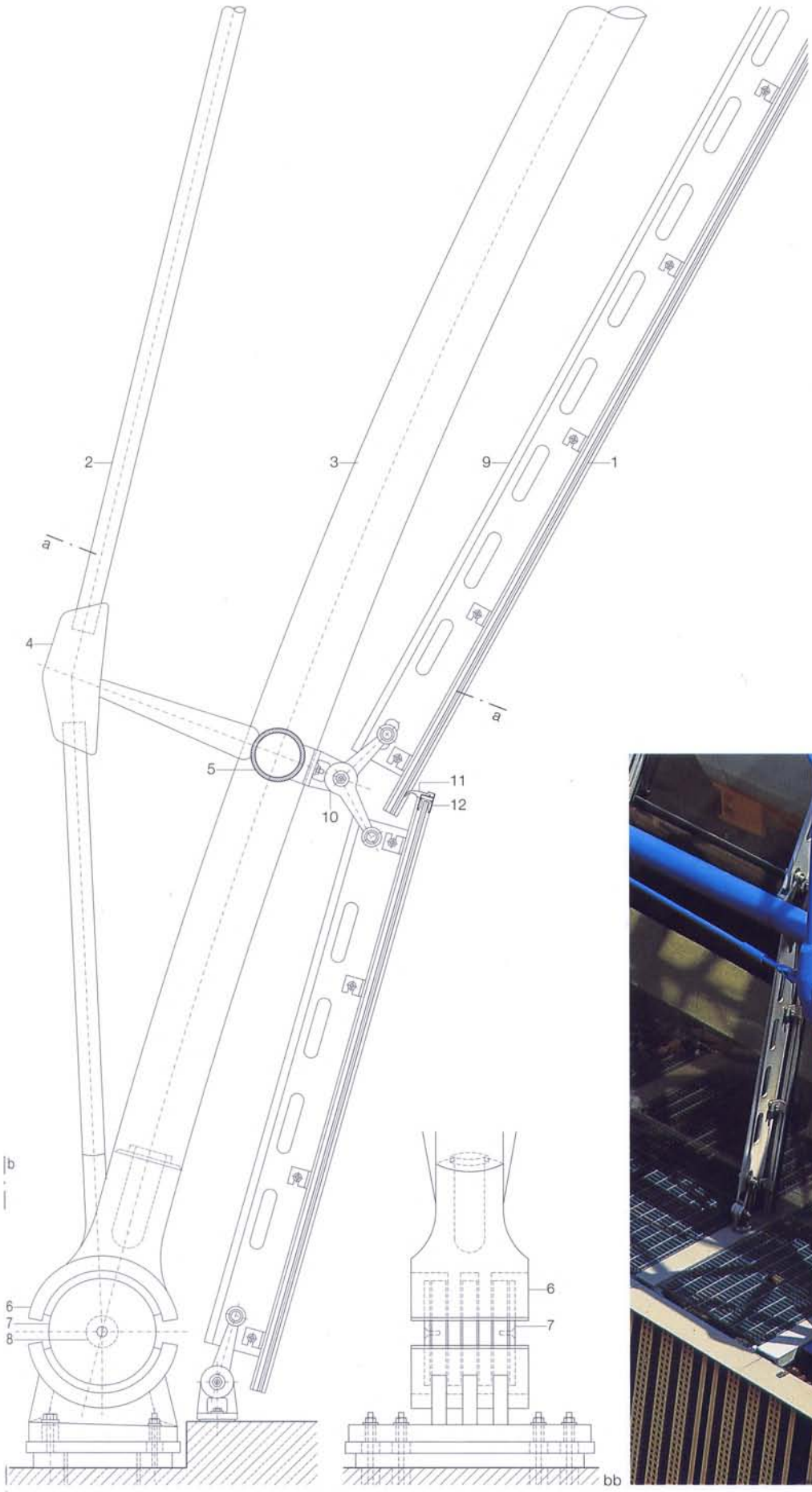


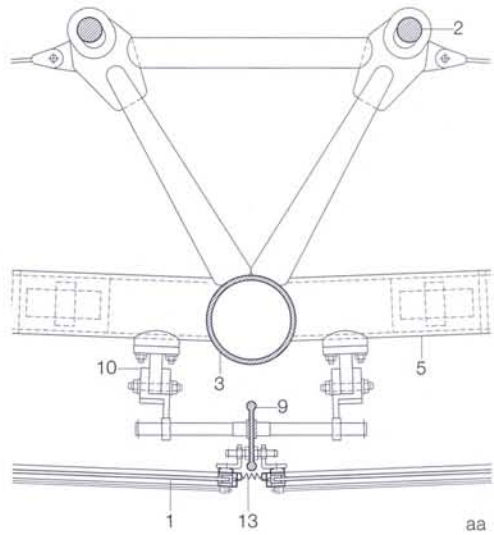
Vertikalschnitte Rinne •
Tragwerk • Fußpunkt •
Horizontalschnitt
Maßstab 1:20



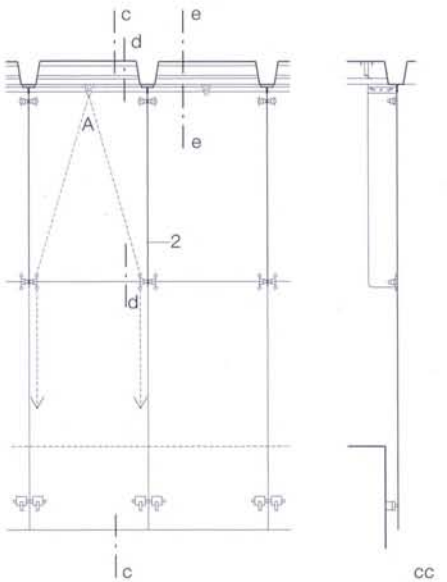
1 ESG 10mm
2 Stahlstab Ø 75 mm
3 Stahlrohr Ø 228 mm
4 Knoten Stahlguss
5 Stahlrohr Ø 168 mm
6 Gelenk Stahlguss
7 Abdeckplatte Edelstahl, d = 15 mm
8 Gelenkbolzen Edelstahl Ø 100 mm
9 Aluminium-Strangpressprofil, perforiert

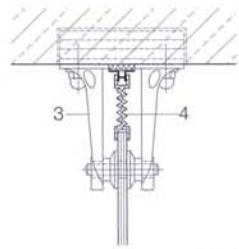


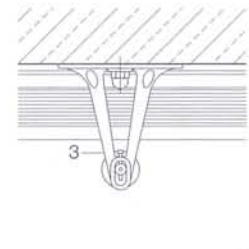


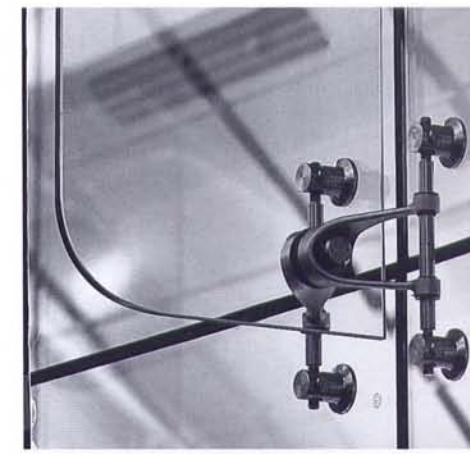


10 Gelenk Edelstahlguss
11 EPDM-Dichtprofil
12 Glashalteprofil Aluminium
13 EPDM-Fugenprofil
14 Rinne aus Edelstahlblech d = 2 mm
15 Edelstahlabflussrohr
16 EPDM-Fugenprofil
17 Edelstahltrapezblech
18 höhenverstellbare Edelstahlschiene
19 Stahlrohr Ø 114 mm
20 Stahlstab Ø 23 mm

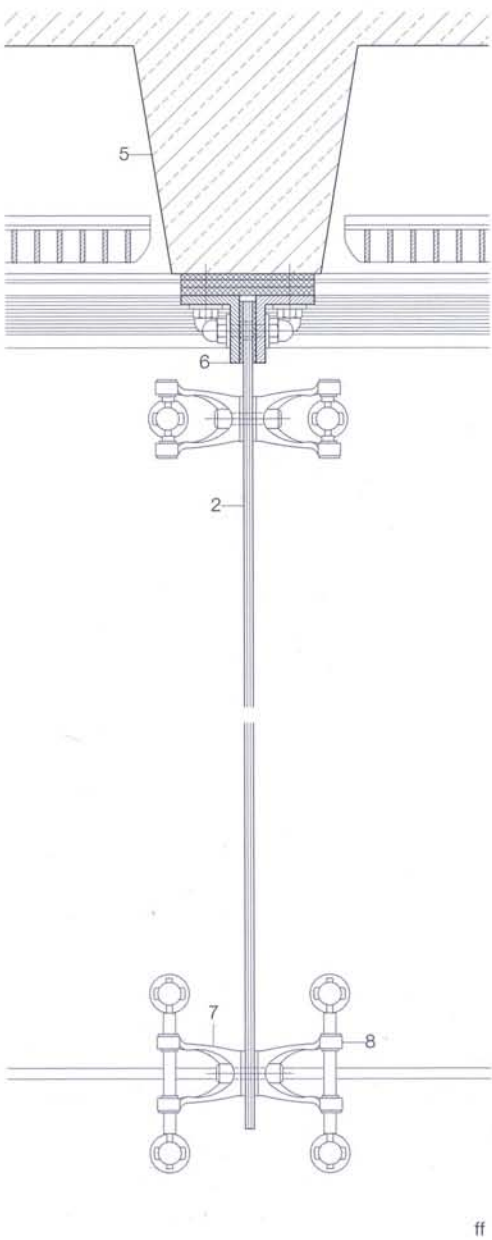


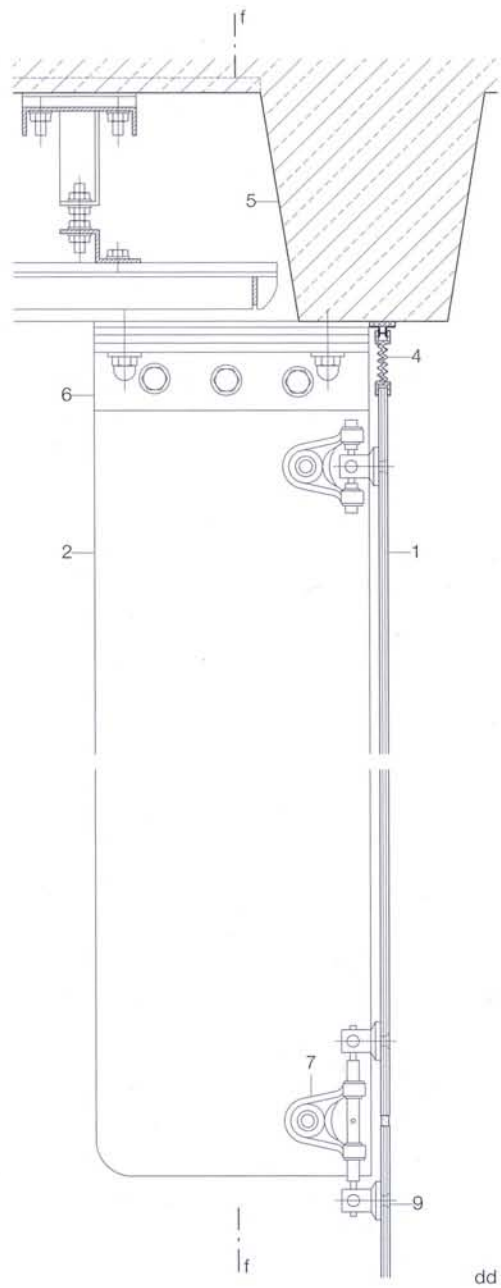






Schnittübersicht •
Vertikalschnitt
Maßstab 1:100
Detailschnitte
Maßstab 1:10





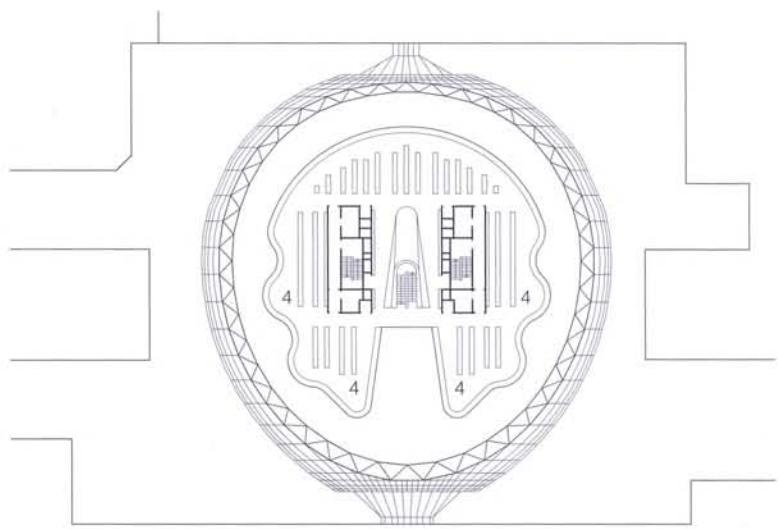
1 ESG 12 mm
2 Glasschwert ESG 12 mm
3 Edelstahlgussteil zur Glasabhängung
4 flexible EPDM-Dichtung
5 Stahlbeton-Kassettendecke
6 Edelstahlwinkel L 65/85/12 mm zur Glasschwert-Abhängung
7 Edelstahlguss-Vierpunktverbinder
8 Edelstahl-Gelenkbolzen
9 Punkthalter flächenbündig

Universitätsbibliothek

Berlin, D 2005

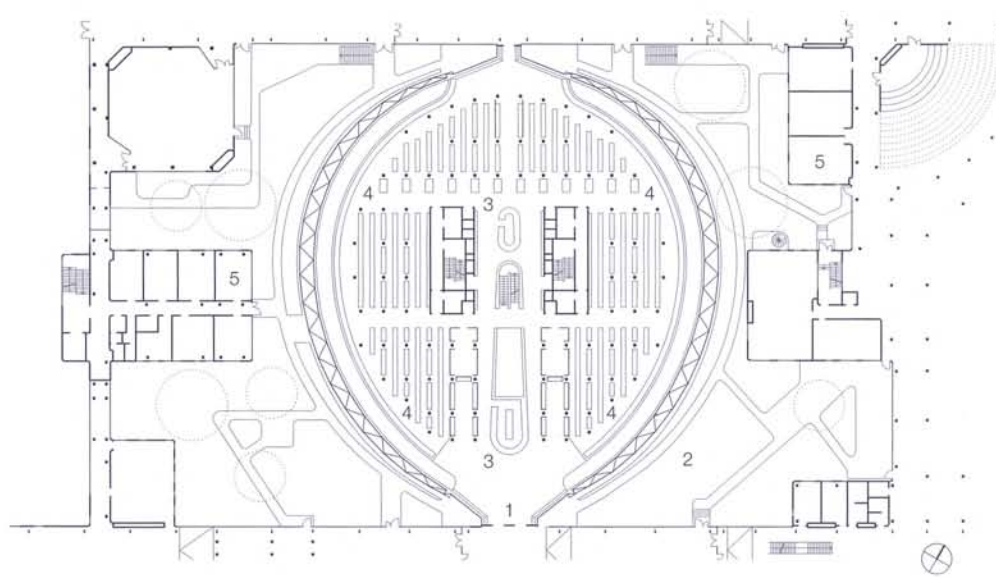
Architekten:
Foster and Partners, London
Norman Foster, David Nelson,
Stefan Behling, Christian Hallmann,
Ulrich Hamann, Ingo Pott
Tragwerksplaner:
Pichler Ingenieure, Berlin

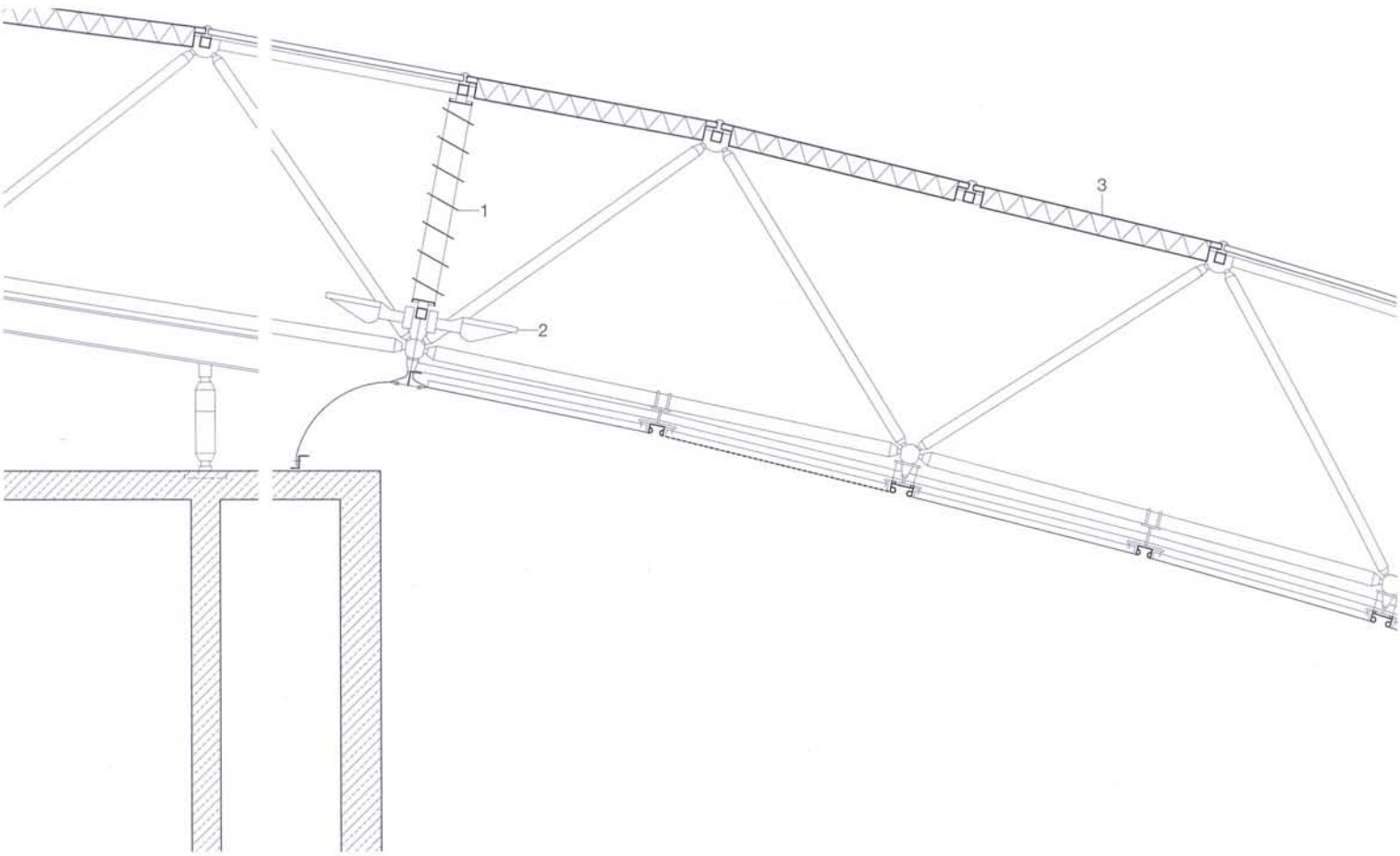
Der Neubau der Philologischen Bibliothek schließt die Sanierung und Umstrukturierung des 1973 fertig gestellten Hauptgebäudes der Freien Universität Berlin, der so genannten Rostlaube, mit seiner von Jean Prouvé entwickelten Fassade aus Wetterfestem Baustahl ab. Die Anlage von Josic, Candilis, Woods (mit Greig und Schiedhelm), die dem Ideal einer offenen, flexiblen Struktur ohne Monumentalität folgt, war im Laufe der Jahre zunehmend verfallen. Die Architekten restaurierten den Altbau mit großem Respekt und ersetzten die Fassaden durch bauphysikalisch zeitgemäße Bronzeelemente, die sich formal eng an der ursprünglichen Ausführung orientieren. Für die Bibliothek, die elf frühere Teilbibliotheken zusammenfasst, wählten sie eine in den Bestand integrierte Lösung. Sie fügten auf der Fläche zweier früherer Höfe einen blasenförmigen Baukörper ein, der sich als eigenständiges Element innerhalb der vorhandenen Struktur behauptet und einen Schwerpunkt setzt. Dabei verwirklichten sie erstmals, was das Konzept des Altbaus vorsah: Teile der bestehenden Struktur wurden demontiert und nach Einfügung der Bibliothek an anderer Stelle wieder aufgebaut. Über zwei schleusenartige, farblich abgesetzte Übergänge dockt die Bibliothek an den Altbau an. Ein elementiertes Raumtragwerk aus Stahlrohren trägt ihre doppelschalige Gebäudehülle. Die Außenseite ist abwechselnd mit silbrigen Aluminiumpaneelen und Isolierverglasungen bekleidet, die Innenseite ist bis auf einige Fenster mit weissem, silikonbeschichtetem Gewebe bespannt. Dieses dämpft das einfallende Tageslicht und verteilt es gleichmäßig diffus, wodurch im Innenraum eine ruhige, konzentrierte Atmosphäre herrscht, die sich je nach Wetterlage verändert. Frei in die Hülle eingestellt, bieten die auskragenden Decken der Obergeschosse Platz für Bücherregale und über 600 Leseplätze entlang ihrer geschwungenen Brüstungen. Durch die von Geschoss zu Geschoss gegenläufige Schwingung entstehen lichterfüllte, doppelgeschossige Arbeitsbereiche und spannungsvolle Blickbeziehungen. Ein umlaufender Lichtgraben versorgt das unterste Geschoss mit Tageslicht. Das Tragwerk der Gebäudehülle ist zusätzlich auf den Betonkernen zu beiden Seiten der zentralen offenen Haupttreppe abgestützt.



Grundrisse
Erdgeschoss ·
2. Obergeschoss
Maßstab 1:1000

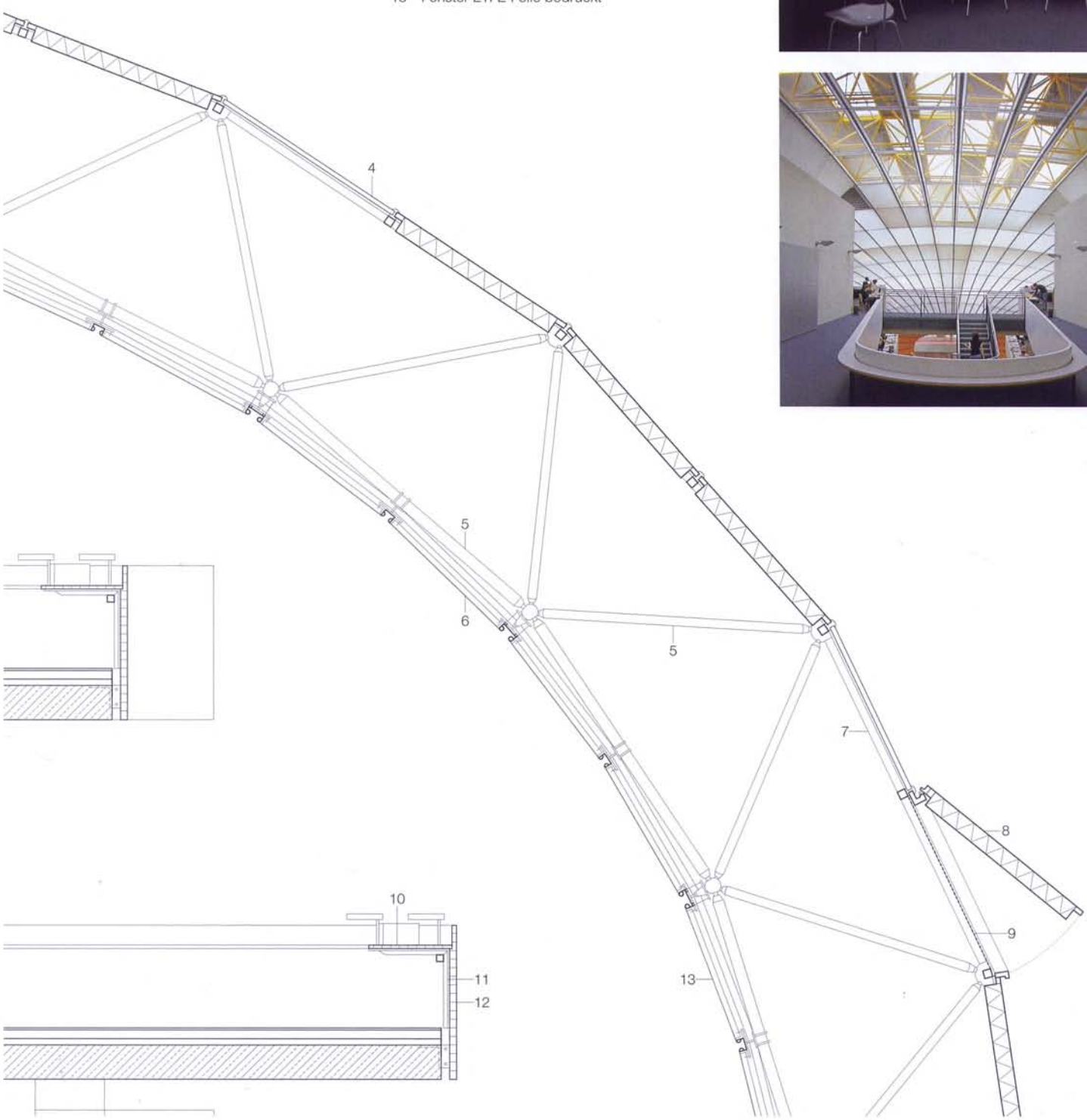
1 Eingang
2 Hof
3 Information
4 Leseplätze
5 Institute (Bestand)




1
2
3

Vertikalschnitt Maßstab 1:50

1 Lüftungsklappe Aluminiumprofil
2 Deckenfluter
3 Aluminiumpaneel wärmegedämmt 145 mm
4 Isolierverglasung betretbar 40 mm
5 Raumfachwerk-Element Stahlrohr Ø 89–114 mm
6 Bespannung Glasfasergewebe silikonbeschichtet
7 Obergurt Stahlrohr ⍁ 90/90/5 mm
8 Lüftungsklappe Aluminiumpaneel 145 mm
9 Insektennetz Edelstahlgewebe
10 Tischplatte MDF beschichtet 30 mm
11 Konsole Stahlprofil T 70/70/8 mm
12 Brüstung Dreischichtplatte lackiert 32 mm
13 Fenster ETFE-Folie bedruckt



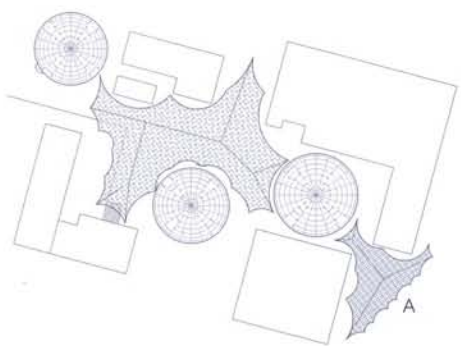
Detailschnitt Fassade
Maßstab 1:10

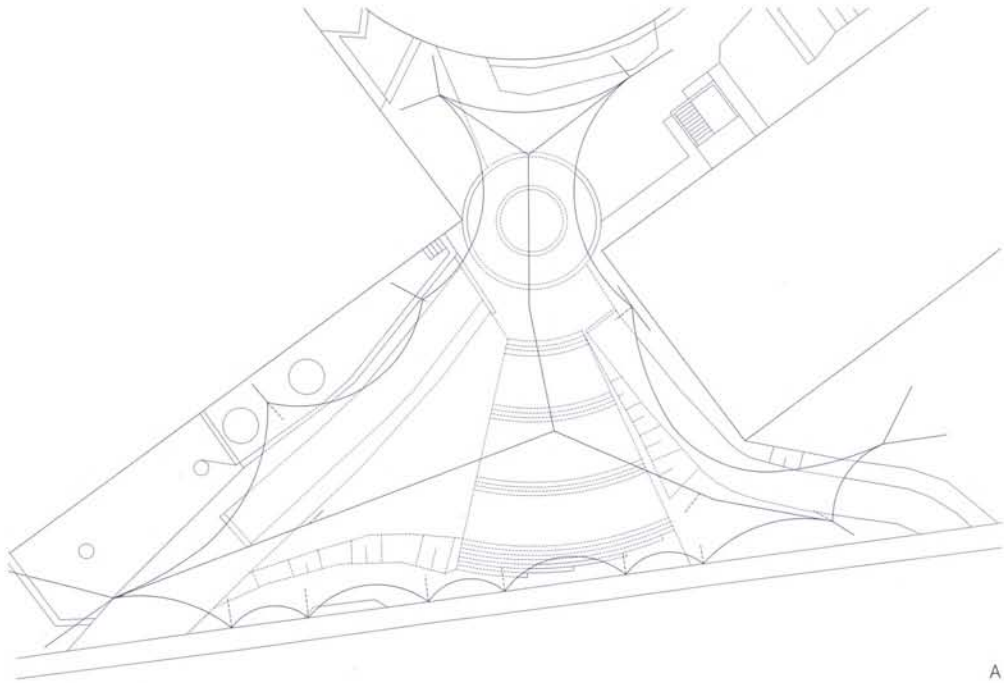
1 Stahlprofil T 50/50/5 mm
2 Sprinklerleitung Ø 60,3 mm
3 Aluminiumpaneel wärmegedämmt pulverbeschichtet 145 mm
4 Isolierverglasung ESG 8 + SZR 18 + VSG 12 mm
5 Raumfachwerk-Element Stahlrohr Ø 89 114 mm
6 Glasfasergewebe silikonbeschichtet
7 Obergurt Stahlrohr ▯ 90/90/5 mm
8 Lüftungsklappe Aluminiumpaneel pulverbeschichtet 145 mm
9 Glashalteprofil EPDM
10 Aluminiumprofil mit Klettband
11 Knoten Mero-Raumfachwerk Stahl Ø 132 mm
12 Stahlunterkonstruktion dreidimensional verstellbar
13 Spannfeder Gewebe

Verglastes Seilnetz am Rhön-Klinikum

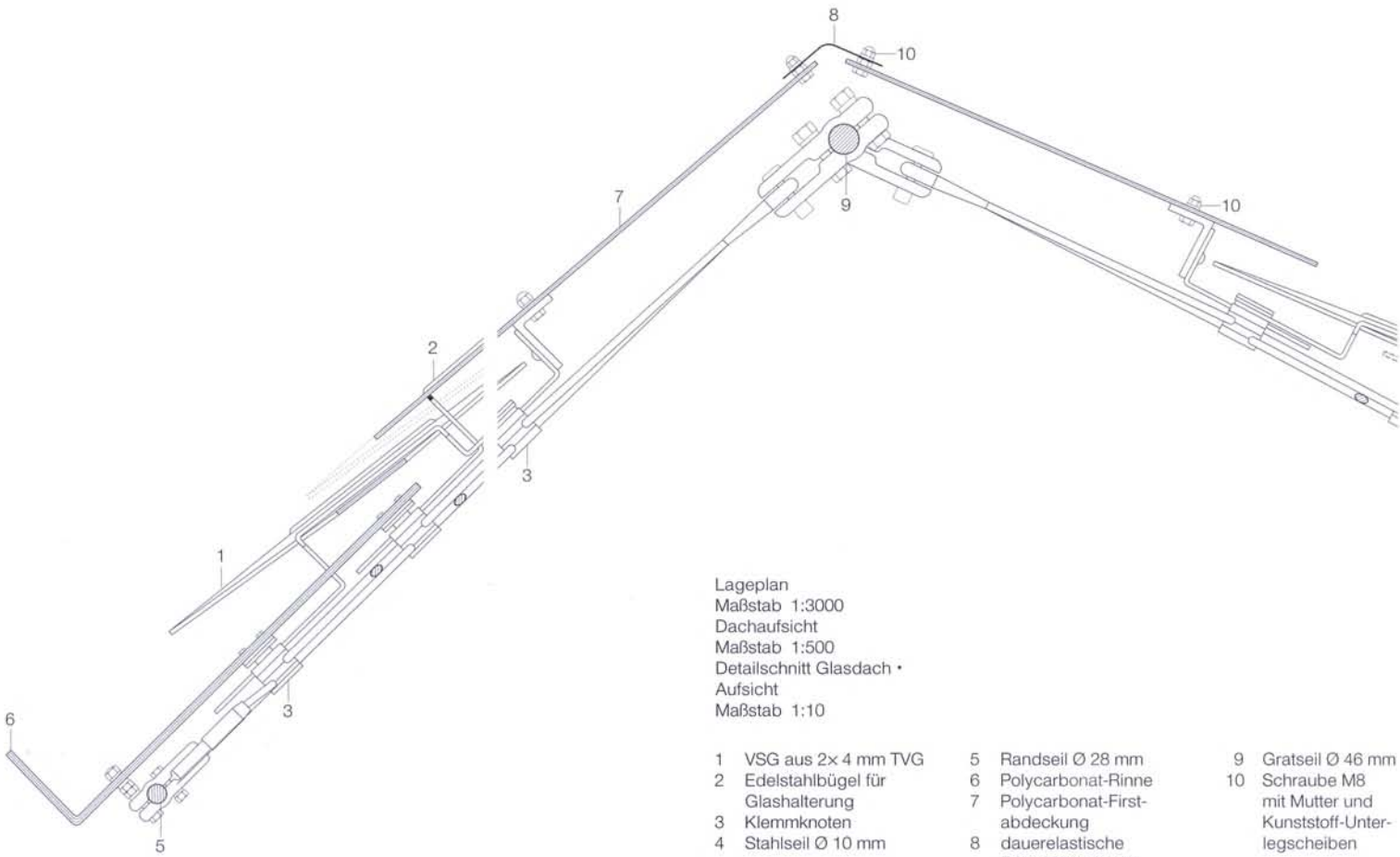
Bad Neustadt, D 1999

Architekten:
Lamm Weber Donath und Partner, Stuttgart
Mitarbeiter:
Günther Lamm, Volker Donath, Jürgen Früh, Manfred Steinle, Rochus Wollasch
Tragwerksplanung / Tragwerksentwurf:
Sobek und Rieger, Stuttgart
Werner Sobek, Josef Linder, Theodor Angelopoulos, Eduard Ganz, Harald Meckelburg, Alfred Rein, Jürgen Schreiber, Viktor Wilhelm


A

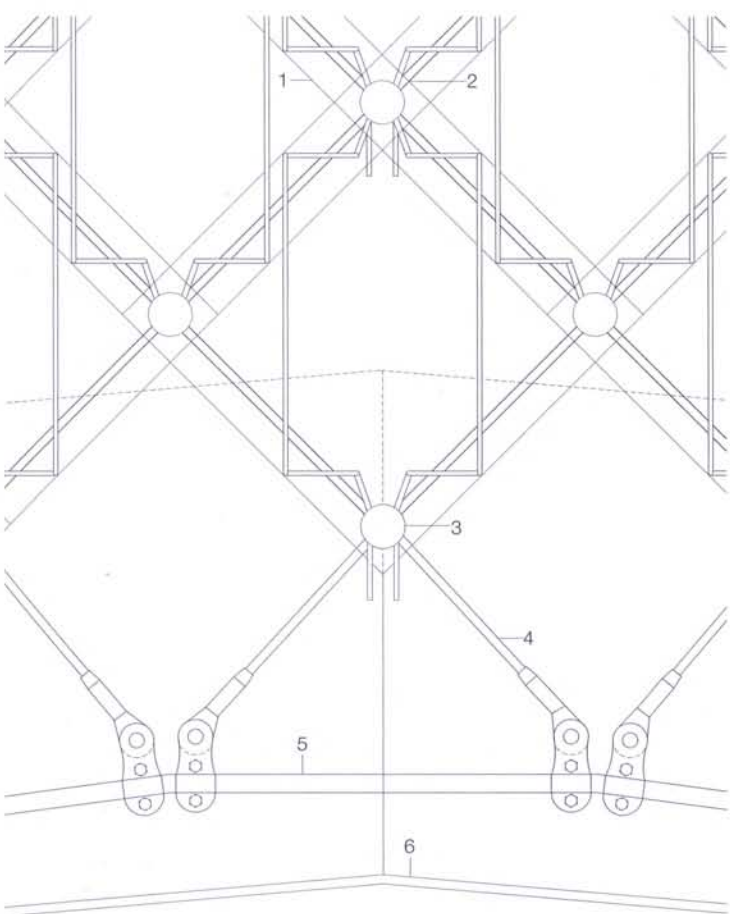

A

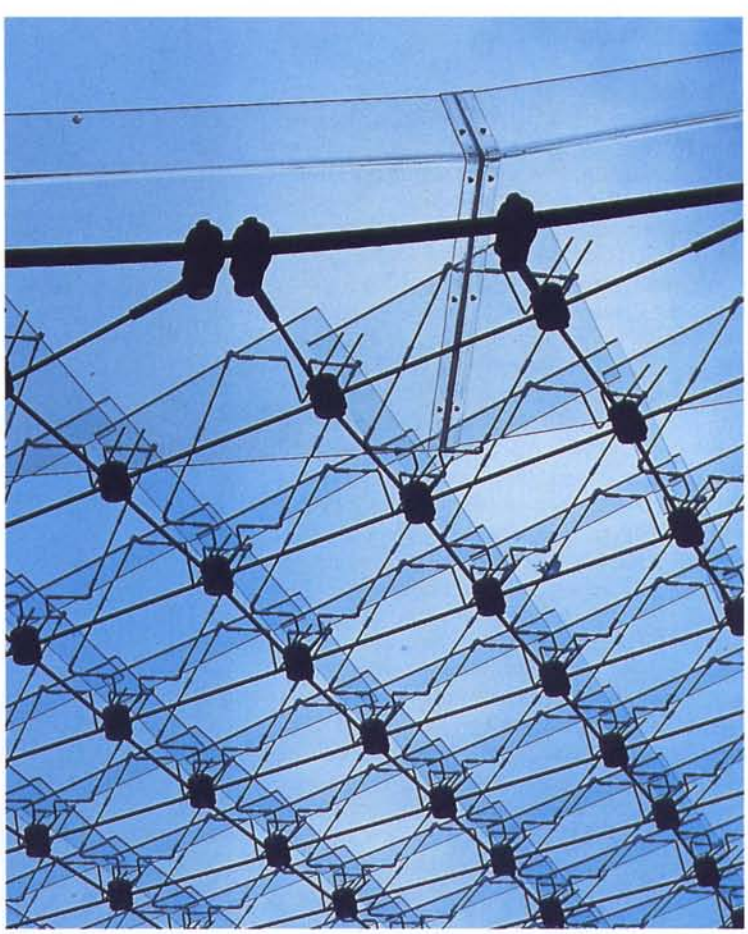
Der zeltartige Pavillon zwischen den Klinikgebäuden ist weltweit die erste mit Glas eingedeckte Seilnetzkonstruktion. Der Realisierung liegt eine von den Ingenieuren entwickelte Methode zugrunde, die es ermöglicht, Glasplatten stets gleicher Größe in einem Schindelprinzip mithilfe von standardisierten Edelstahlbügeln auf ein Seilnetz zu montieren, dessen Maschen alle eine unterschiedliche Geometrie aufweisen.
Das Seilnetz, dessen gekrümmte Form mit computergestützten Formfindungsberechnungen festgelegt wurde, besteht aus hochfesten verzinkten Drahtseilen. Es wird von Stahlseilen berandet, die die Kräfte aus der Konstruktion in hölzerne Druckstützen bzw. zugbeanspruchte Seilabspannungen einleiten. Die Druckstützen bestehen aus verleimten und anschließend formgefrästen Brettschichtholzelementen von bis zu 12 m Länge. Entsprechend der auf die Knickstabilität hin optimierten Form verjüngen sich die Querschnitte zu den Enden hin. Konusförmige Endbeschläge aus Stahlguss leiten die Kräfte aus den Holzstützen über eine Stahlkugel, die die Gelenkigkeit garantiert, in die Fundamente.
Bei der Montage der Glasschindeln aus Verbundsicherheitsglas wurden die metallischen Haltebügel am Boden um die Glasscheibe geclipst. Anschließend wurde diese Einheit auf die Knotenpunkte des Seilnetzes gesteckt. Die Abdeckungen im Firstbereich und die Regenrinnen entlang der Ränder bestehen aus transparentem Polycarbonat.



Lageplan
Maßstab 1:3000
Dachaufsicht
Maßstab 1:500
Detailschnitt Glasdach • Aufsicht
Maßstab 1:10

1 VSG aus 2× 4 mm TVG
2 Edelstahlbügel für Glashalterung
3 Klemmknoten
4 Stahlseil Ø 10 mm
5 Randseil Ø 28 mm
6 Polycarbonat-Rinne
7 Polycarbonat-Firstabdeckung
8 dauerelastische Fugenabdeckung
9 Gratseil Ø 46 mm
10 Schraube M8 mit Mutter und Kunststoff-Unterlegscheiben

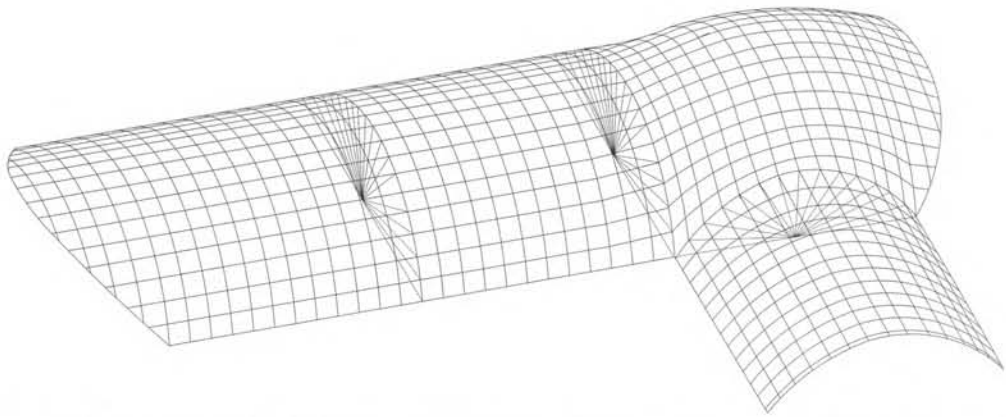




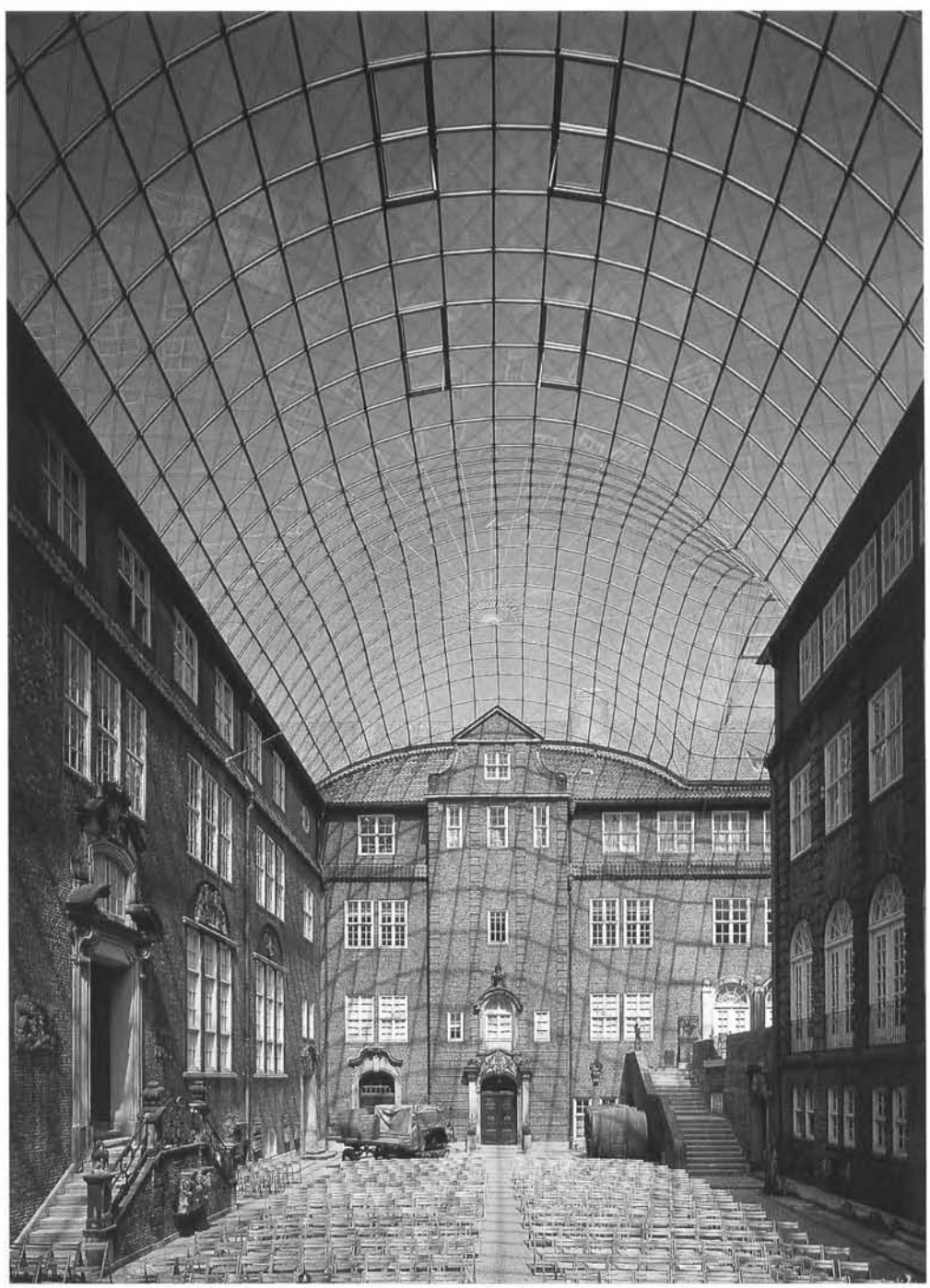
Innenhofüberdachung des Museums für Hamburgische Geschichte

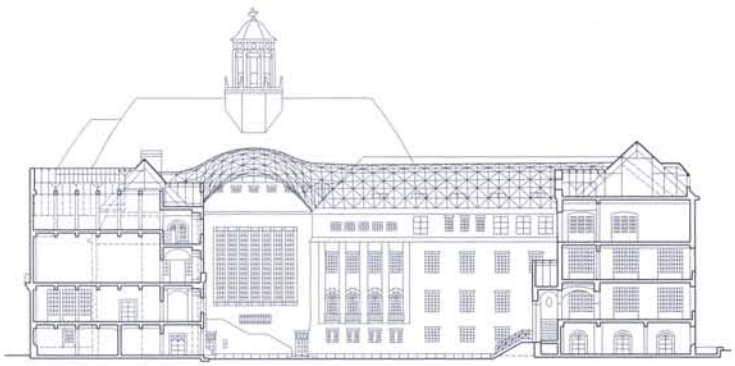
Hamburg, D 1989

Architekten:
von Gerkan, Marg + Partner, Hamburg
Mitarbeiter:
Klaus Lübbert
Tragwerksplanung:
Schlaich, Bergermann + Partner, Stuttgart
Mitarbeiter: Karl Friedrich
Entwurf: Volkwin Marg, Jörg Schlaich

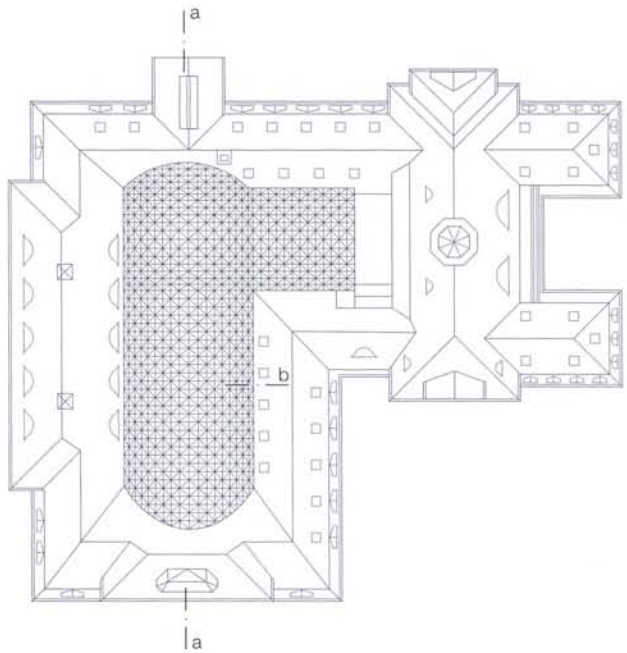


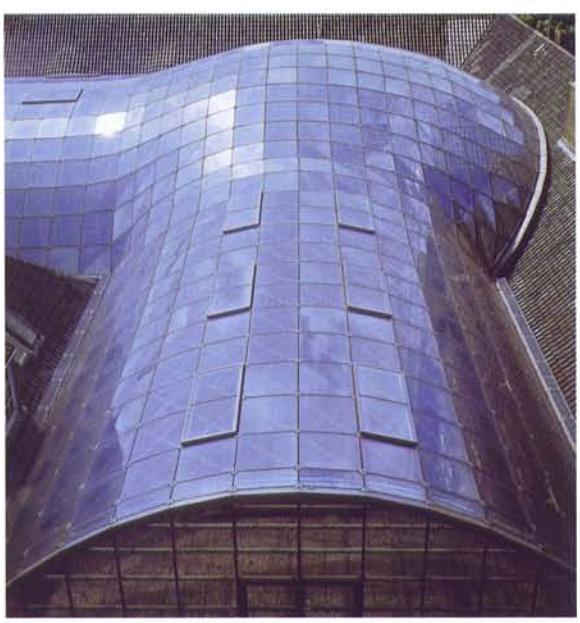
Um den L-förmigen Innenhof des von Fritz Schumacher 1914–26 errichteten Museums für Hamburgische Geschichte besser nutzen zu können, erhielt dieser eine Überdachung aus Glas. Aus Gründen des Denkmalschutzes kam nur eine sehr leichte und transparente Konstruktion infrage.
Das Tragwerk besteht aus einer Gitterschale – zwei Tonnen sind dabei durch eine Kuppel verbunden. Ihre Geometrie mit fließenden Übergängen zwischen den drei Hauptelementen ist das Ergebnis einer Optimierung, Dachlasten weitgehend über Schalenmembrandruckkräfte abzutragen und Biegebeanspruchungen zu vermeiden. Die Reduzierung auf Membrankräfte bedeutet eine Minimierung der erforderlichen Querschnitte der Schale. Die Tragstruktur der Schale besteht aus Flachstahlprofilen von 60 × 40 mm; das entspricht der für die Glaseindeckung erforderlichen Minimalabmessung. Diese Profile werden zu einem orthogonalen Tragnetz mit gleich bleibender Maschenweite zusammengesetzt und am Knotenpunkt mit einer Schraube drehbar verbunden. Da sich die Rechteckmaschen bei drehbaren Knotenpunkten zu Rhomben verformen lassen, sind Diagonalen erforderlich, die die Vierecke in Dreiecke verwandeln und eine nicht verschiebbare, steife Schalentragwirkung erzeugen. Um eine möglichst filigrane Konstruktion zu erhalten, werden die Diagonalen aus Seilen gebildet. Sie sind in beide Richtungen angeordnet, so dass immer eine der Diagonalen auf Zug wirken kann. Die Verglasung aus 10 mm starkem Einscheibensicherheitsglas ist auf die Flachstahlprofile aufgelegt und wird punktförmig mit Tellern im Knotenbereich gehalten.
Es handelt sich um die erste direkt verglaste Dachkonstruktion ohne zusätzliche Sprossen für die Verglasung. Entlang des Dachrands verläuft ringsum ca. 70–90 mm oberhalb des vorhandenen Dachs ein steifer Randträger aus Profilstahl, der punktförmig durch dieses hindurch auf die Stahlbetondecken bzw. -wände abgestützt wird. Um Kondenswasserbildung zu verhindern, wurde ein Heizdraht zwischen Glasauflager und Stahlprofil eingelegt. Durch Sonneneinstrahlung erwärmte Luft kann über den Dachrand und über öffenbare Lüftungsklappen entweichen.





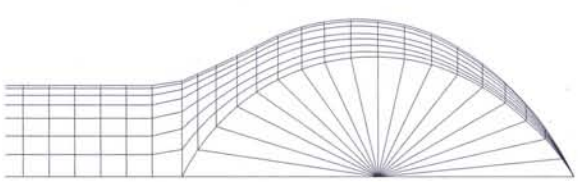
aa

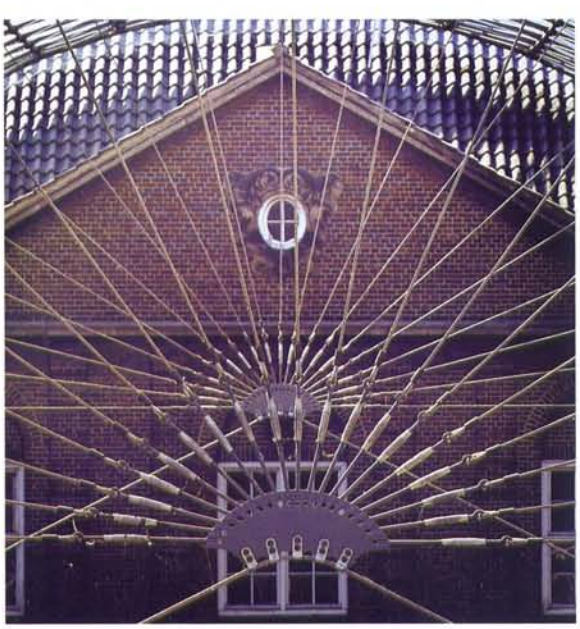


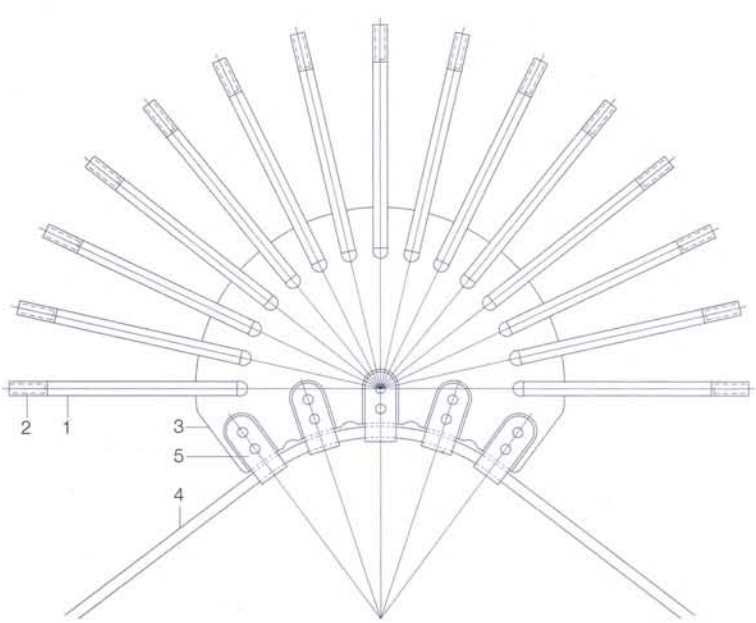


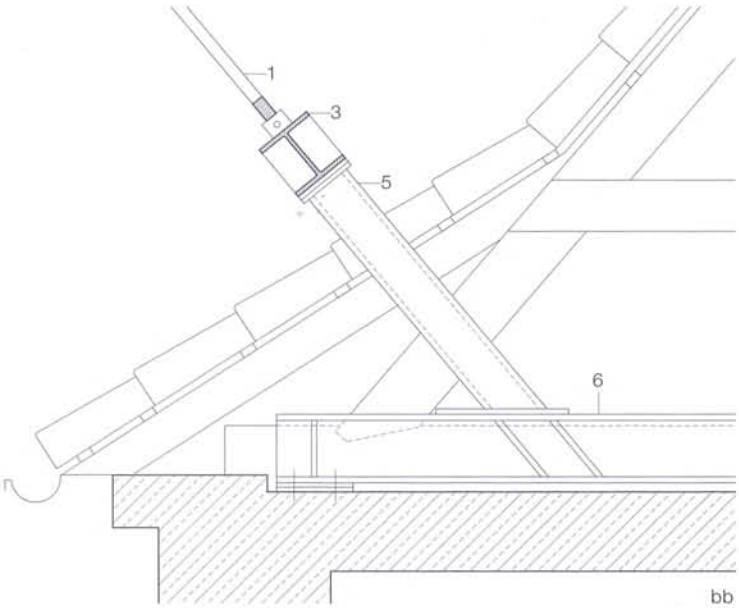
Räumliche Struktur des Gitterschalentragwerks • Schnitt durch die Nabe ohne Maßstab
Schnitt, Teilansicht • Dachaufsicht Maßstab 1:1000
Detailschnitt Nabe Maßstab 1:10

1 Speichen Edelstahl Ø 16 mm
2 Gewinde M 16 links 50 mm
3 Knotenblech d = 20 mm
4 Zugseil Edelstahl Ø 16 mm
5 Klemmschelle 40/4 mm





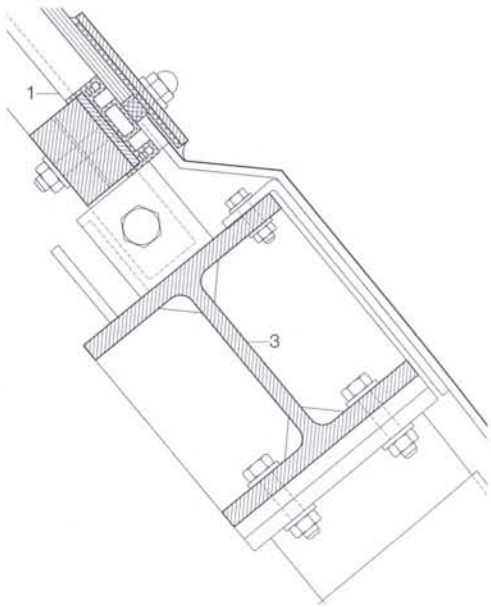


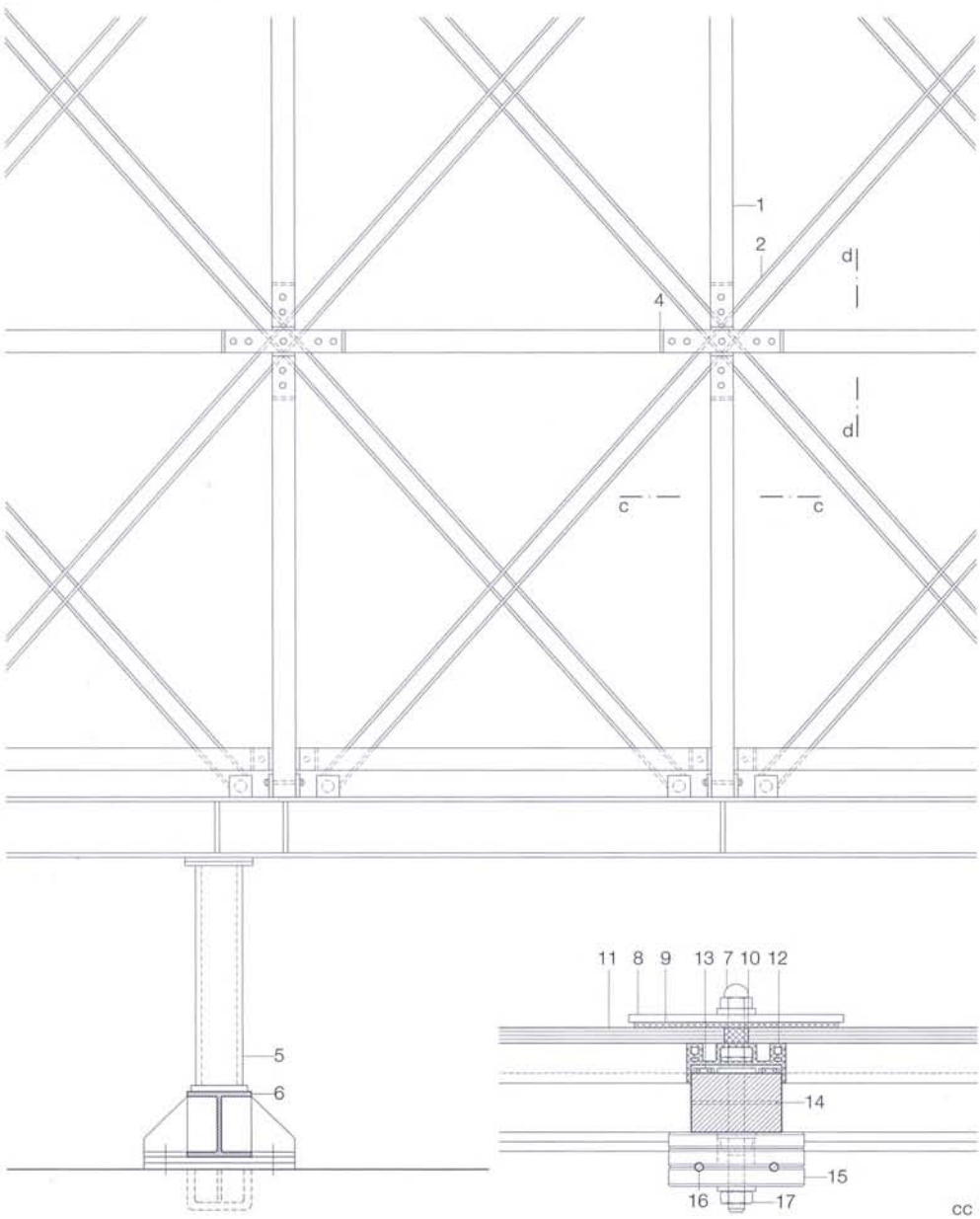


bb

Vertikalschnitt •
Horizontalschnitt
Maßstab 1:20
Detailschnitte
Glashalterung •
Dachanschluss
Maßstab 1:5

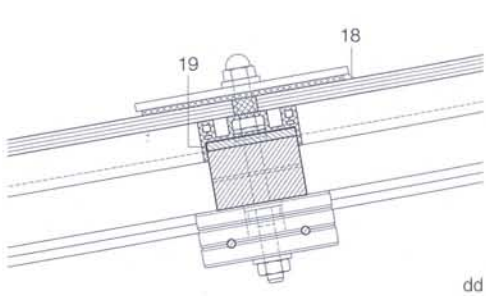
1 Stahlrohr ▱ 60/40 mm
2 Diagonalzugseile
3 Stahlprofil HEB 160
4 Stoßlasche
▱ 60/20 mm
5 Stahlrohr Ø 126/10 mm
6 Stahlprofil HEA 180





7 Hutmutter Edelstahl M 12
8 Außenteller Ø 140/5 mm
9 APTK-Dichtung
10 dauerelastische Verfugung
11 VSG Kristallglas 11 mm
12 APTK-Auflager- und Dichtprofil
13 Heizdraht
14 Flachstahl ▱ 40/60 mm
15 Klemmhalter für Diagonalseile Edelstahl Ø 90 mm
16 Diagonalseile Edestahl Ø 6 mm
17 Gewindebolzen M 12
18 Silikondichtung
19 Abstandhalter 4,5 mm

cc



dd

Verordnungen, Richtlinien, Normen

Baurechtliche Anforderungen
Technische Normen, Verordnungen und Richtlinien dienen dazu, Grundlagen für die Konstruktionen zu schaffen und Anforderungen zu stellen. Sie ergeben sich aus Erfahrungen und sollten laufend überarbeitet werden, Euronormen (EN) müssen alle fünf Jahre überarbeitet werden.
Normen und Richtlinien, die Bestandteil des Baurechts sind, müssen eingehalten werden. Abweichungen können erfolgen, wenn entsprechende Nachweise für die Gebrauchstauglichkeit erbracht werden. Das gleiche Sicherheitsniveau muss erreicht werden.
Technische Regeln geben dem Anwender Hinweise zu Konstruktionen und Methoden, die sich aus der Erfahrung heraus bewährt haben. So kann gleicher Erfolg mit anderen Methoden und Materialien, bei Erfüllung der Anforderungen, erreicht werden. Damit wird der Weg frei für neue Konstruktionen.
Freiwillige Vereinbarungen über das strikte Einhalten von Normen, die nicht baurechtlich gefordert werden, sowie zusätzliche Eigenschaften und Anforderungen müssen vertragsrechtlich vereinbart werden. Der Hinweis in Verträgen, dass alle Normen einzuhalten sind, ist sinnlos und kann in Zukunft nicht mehr gelten. Es muss unbedingt festgelegt werden, welche Normen einzuhalten sind und welche Einzelheiten aus den Normen bei eventuellen Anforderungsstufen gelten sollen, um Widersprüche zu vermeiden.
Die nachfolgende Aufstellung soll eine Hilfe sein, optimiert und projektbezogen zu planen. Die Aufstellung kann nicht allumfassend und endgültig sein, sie besitzt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Grundsätzlich gilt stets die neueste Version der Norm. Die neuen europäischen Normen werden in absehbarer Zeit die nationalen Normen ablösen. Es ist klar zwischen den europäischen Produktnormen CEN, den Anwendungsnormen und den Prüfnormen CEN zu unterscheiden. Beim Vergleich von Materialien ist darauf zu achten, dass die Werte auf gleicher Rechen- oder Prüfmethode beruhen. Für Glas ist dies besonders für die strahlungsphysikalischen Daten und den U-Wert entscheidend.
Das Ü-Zeichen (Übereinstimmungszeichen für bauaufsichtliche Normen und Richtlinien) gibt an, dass Produkte, für die bauaufsichtliche Anforderungen oder baurechtlich eingeführte Normen bestehen, die Richtlinien erfüllen. Die entsprechenden Normen sind in der Bauregelliste aufgeführt. Das CE-Zeichen wird später das Ü-Zeichen ersetzen.

Wärmeschutz
Abhängig von Bauweise, Nutzung und geometrischer Struktur werden an die gesamte Gebäudehülle Anforderungen an den Wärmeverlust gestellt. Dabei sind Mindestwerte für den U-Wert der einzelnen Bauteile einzuhalten. Für Glas kann je nach Himmelsrichtung ein solarer Gewinn berücksichtigt werden. Dies erfolgt mit dem äquivalenten U-Wert der Verglasung. Der gesamte U-Wert des Fensters ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Glas und Rahmen. Die entsprechenden U-Werte beinhaltet DIN 4108 Teil 4, die durch EN 10077 Teil 1 und 2 abgelöst wird.

Schallschutz
Den notwendigen Schallschutz im Hochbau regelt DIN 4109. Beispiele für den Fensterbereich sind im Beiblatt aufgeführt.
Regionale Schallschutzanforderungen wie z.B. im Bereich von Flughäfen und Durchfahrtsstraßen müssen im Einzelfall nachgefragt und eingehalten werden. Mit einfachen Glaskombinationen lässt sich zusätzlich zum Wärmeschutz auch Schallschutz erreichen. Die Glasdicken besitzen einen entscheidenden Einfluss auf die Schalldämmung. Verbund- bzw. Verbundsicherheitsgläser mit Folien, die für Schallschutz optimiert sind, erhöhen die Schalldämmung. Die Auswahl der Glasdicke sollte nicht nur nach statischen, sondern auch nach schalltechnischen Gesichtspunkten erfolgen. Das Gas SF_6 darf nicht mehr verwendet werden.

Sicherheit
Verglasungen mit Anforderungen zum Schutz gegen Absturz müssen in ESG (TVG) oder VSG ausgeführt werden, wobei die Glasdicke unter Ansatz der normalen Verkehrslast und der Auflagebedingungen ermittelt werden muss. Gegebenenfalls sollten Versuche nach EN 12600 – Pendelschlagversuch, weicher Stoß – durchgeführt werden.
Bei Dachverglasungen in Räumen zum dauernden Aufenthalt von Personen muss die zum Raum zeigende Scheibe aus VSG sein. Gleiches gilt für innen liegende Staubdecken.
Brandschutzanforderungen sind in jedem Fall vorher abzuklären und einzuhalten. Hier gelten besondere Anforderungen an Fluchtwege und an Räume mit hohen Brandlasten. Bei Nutzungsänderungen in Gebäuden können weitere Anforderungen an den Brandschutz entstehen. Im Fassadenbereich ist der Brandüberschlag zu beachten.

Privatrechtliche Anforderungen
Zusätzlich zu den baurechtlichen können weitere vertragsrechtliche Anforderungen vereinbart werden. Besonders wichtig ist dies für die strahlungsphysikalischen, mechanischen und optischen Eigenschaften der Gläser. Die Glasbearbeitung für sichtbare Kanten muss definiert werden – auch für die Ecken.
Ein Bezug zu Normen empfiehlt sich ebenso für die Toleranzen in Abmessungen und Funktionsdaten.
Bei besonderen, aus optischen Gründen gewählten Verglasungen ist es wichtig, vorab Musterscheiben in der tatsächlich geplanten Ausführung anfertigen zu lassen. Damit ist der zu erwartende Toleranzbereich festzulegen. Dies gilt hauptsächlich für Farbe und Muster von Verglasungen mit Siebdruck. Jede Fertigung weist Toleranzen auf, die zwar minimiert aber festgelegt werden sollten.

CE-Zertifizierung
Die europäische Bauproduktenrichtlinie (1989/105/EWG) regelt die grundsätzlichen Anforderungen an Bauprodukte, Zulassungsverfahren und Kennzeichnung. In Deutschland erfolgt die Umsetzung der Richtlinie durch das Bauproduktengesetz (BauPG) sowie durch die Bauordnungen der Länder. Bauprodukte, die durch harmonisierte europäische Normen beschrieben sind, dürfen nur mit Konformitätsbescheinigung auf den europäischen Markt gebracht werden. Diese kann durch eine Konformitätserklärung des Herstellers (s.u.) oder durch ein Konformitätszertifikat einer Zertifizierungsstelle erfolgen. Mit der Konformitätsbescheinigung wird bestätigt, dass ein Produkt den Anforderungen der Norm entspricht und damit auch in Einklang mit der Bauproduktenrichtlinie steht.
Dies bewirkt, dass auch nicht so bekannte Produkte in entsprechenden Normen erfasst werden müssen. Das gesetzlich vorgeschriebene Konformitätszeichen ist die CE-Kennzeichnung, die gewährleistet, dass das Produkt den Anforderungen der harmonisierten Normen entspricht und somit in den europäischen Ländern als solches eingesetzt werden kann. Zusätzliche nationale Anforderungen an das Produkt dürfen danach nicht mehr gestellt werden, da laut Bauproduktenrichtlinie Produkte mit CE-Zeichen im freien Warenverkehr nicht behindert werden dürfen.
Normen sollen den geltenden technischen Stand darstellen. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, die europäischen Normen nach fünf Jahren zu revidieren und sie evtl. verbesserten Herstellungsmethoden und Anforderungen anzupassen. Außerdem können Erfahrungen aufgenommen werden, die mit den Normen in der Anwendung gemacht wurden.
Die europäischen Normen unterscheiden zwischen einfachen und harmonisierten Produktnormen. Harmonisierte Normen beinhalten auch die Eigenschaften zu den wesentlichen Anforderungen der Bauproduktenrichtlinien, wobei diese entsprechend der vorgegebenen Konformitätslevels nachgewiesen werden müssen. Obwohl die Glasindustrie selbst einen höheren Konformitätslevel forderte, wurde dieser von den entscheidenden Stellen auch in Deutschland und der Kommission auf den Level 3 – Konformitätsnachweis des Herstellers – reduziert, d.h. der Hersteller selbst bestätigt mit Hilfe eigener Prüfungen die Konformität des Produktes mit der harmonisierten Norm. Zur Erfüllung dieses Verfahrens gibt es in den harmonisierten Produktnormen einen zusätzlichen Teil, der die Anforderungen für einen Konformitätsnachweis festgeschreibt (wie z.B. die Dokumentation, Erstprüfungen und die regelmäßigen werkseigenen Prüfungen). Durch diesen zusätzlichen Teil der einzelnen Produktnormen besteht die Pflicht, jedes Produkt mit dem CE-Kennzeichen auszustatten. Wie das erfolgt, z.B. auf dem Produkt oder in den Lieferdokumenten, regeln die entsprechenden Produktnormen.

Material Glas
DIN EN 572 Basiserzeugnisse aus Kalknatronsilikatglas
- Teil 1 Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften
- Teil 2 Floatglas
- Teil 3 Poliertes Drahtglas
- Teil 4 Gezogenes Flachglas
- Teil 5 Ornamentglas
- Teil 6 Drahtornamentglas
- Teil 7 Profilbauglas mit oder ohne Drahteinlage
- Teil 8 Liefermaße und Festmaße
- Teil 9 Konformitätsbewertung/Produktnorm

DIN EN 1036 Spiegel aus silberbeschichtetem Floatglas für den Innenbereich
DIN EN 1051 Glas im Bauwesen – Glassteine und Betongläser
- Teil 1 Begriffe und Beschreibungen

DIN EN 1096 Beschichtetes Glas
- Teil 1 Definitionen und Klassifikation
- Teil 2 Anforderungen an und Prüfverfahren für die Beschichtungen der Klassen A, B und S
- Teil 3 Anforderungen an und Prüfverfahren für Beschichtungen der Klassen C und D
- Teil 4 Konformitätsbewertung/Produktnorm

DIN EN 1279 Teil 1–6 Mehrscheiben-Isolierglas
DIN EN 1748 Spezielle Basiserzeugnisse
- Teil 1 Borosilikatgläser
- Teil 2 Spezielle Basiserzeugnisse – Glaskeramik

DIN EN 1863 Teilvorgespanntes Kalknatronglas
DIN EN 12 150 Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas
DIN EN 12 337 Chemisch vorgespanntes Kalknatronglas
DIN EN 13024 Thermisch vorgespanntes Borosilikat-Einscheibensicherheitsglas
DIN EN 14178 Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Erdalkalisilikatglas
- Teil 1 Floatglas

DIN EN 14179 Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas
DIN EN 14321 Thermisch vorgespanntes Erdalkalisilikat-Einscheibensicherheitsglas
DIN EN 14449 Verbundglas und Verbundsicherheitsglas; Konformitätsbewertung/Produktnorm
DIN EN ISO 12543 Verbundglas und Verbundsicherheitsglas
- Teil 1 Definitionen und Beschreibung von Bestandteilen
- Teil 2 Verbundsicherheitsglas
- Teil 3 Verbundglas
- Teil 4 Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit
- Teil 5 Maße und Kantenbearbeitung
- Teil 6 Aussehen

DIN 1259 Glas –
- Teil 1 Begriffe für Glasarten und Glasgruppen
- Teil 2 Begriffe für Glaserzeugnisse

DIN 11 525 Gartenbauglas; Gartenblankglas, Gartenklarglas
DIN 12 116 Prüfung von Glas – Beständigkeit gegen eine siedende wässrige Salzsäurelösung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung
DIN ISO 695 Glas; Beständigkeit gegen eine siedende wässrige Mischlauge; Prüfverfahren und Klasseneinteilung
DIN ISO 719 Glas; Wasserbeständigkeit von Glasgrieß bei 98 °C; Prüfverfahren und Klasseneinteilung
DIN ISO 9385 Glas und Glaskeramik; Härteprüfung nach Knoop

Wärmeschutz
DIN EN 673 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Berechnungsverfahren
DIN EN 674 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Verfahren mit dem Plattengerät
DIN EN 675 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Wärmestrommesser-Verfahren
DIN EN 12664 Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplattengerät – Trockene und feuchte Produkte mit mittlerem und niedrigem Wärmedurchlasswiderstand
DIN EN 12758 Glas im Bauwesen – Glas und Luftschalldämmung – Definitionen und Bestimmung der Eigenschaften
DIN EN 12 898 Bestimmung des Emissionsgrades
DIN EN ISO 7345 Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen
DIN EN ISO 10077 Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmeduchgangskoeffizienten
Teil 1 Vereinfachtes Verfahren
DIN 4108 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 2 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
DIN 4701 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden
VDI 2078 Richtlinie zur Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume

Schallschutz
DIN EN 20140 Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen
Teil 3 Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen
DIN EN ISO 140 Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen
DIN 4109 Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise
VDI-Richtlinie 2719 Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen

Sonnenschutz, strahlungsphysikalische Daten
DIN EN 410 Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen
DIN EN 13363 Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades
Teil 1 Vereinfachtes Verfahren
DIN EN ISO 14438 Bestimmung des Energiebilanzwertes – Berechnungsverfahrung

Sicherheit
DIN EN 356 Sicherheitssonderverglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes gegen manuellen Angriff
DIN EN 1063 Sicherheitssonderverglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes gegen Beschuss
DIN EN 10204 Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen
DIN EN 12150 Glas im Bauwesen – Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas
Teil 1 Definition und Beschreibung
DIN EN 12600 Pendelschlagversuch – Verfahren für die Stoßprüfung und die Klassifizierung von Flachglas
DIN EN 12603 Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas – Schätzverfahren und Bestimmung der Vertrauensbereiche für Daten mit Weibull-Verteilung
DIN EN 13541 Sicherheitssonderverglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes gegen Sprengwirkung
DIN V ENV 1627 Fenster, Türen, Abschlüsse; Einbruchhemmung, Anforderungen und Klassifizierung
DIN V ENV 1628 Fenster, Türen, Abschlüsse; Einbruchhemmung, Prüfverfahren für die Ermittlung der Widerstandsfähigkeit unter statischer Belastung
DIN V ENV 1629 Fenster, Türen, Abschlüsse; Einbruchhemmung, Prüfverfahren für die Ermittlung der Widerstandsfähigkeit unter dynamischer Belastung
DIN V ENV 1630 Fenster, Türen, Abschlüsse; Einbruchhemmung, Prüfverfahren für die Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen manuelle Einbruchversuche
DIN 52337 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Pendelschlagversuche
DIN 52338 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas

Brandschutz
DIN EN 357 Brandschutzverglasungen aus durchsichtigen oder durchscheinenden Glasprodukten – Klassifizierung des Feuerwiderstandes
DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Teil 1 Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
DIN 18095 Türen; Rauchschutztüren
Teil 1 Begriffe und Anforderungen
Teil 2 Bauartprüfung der Dauerfunktionstüchtigkeit und Dichtheit
Teil 3 Rauchschutzabschlüsse; Anwendung von Prüfergebnissen

Statik, Festigkeit
DIN EN 1288 Glas im Bauwesen –Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas
Teil 1 Grundlagen
Teil 2 Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit großen Prüfflächen
Teil 3 Prüfung von Proben bei zweiseitiger Auflagerung (Vierschneiden-Verfahren)
DIN EN 12150 Glas im Bauwesen –Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas
Teil 1 Definition und Beschreibung
DIN EN 12207 Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung
DIN EN 12208 Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Klassifizierung
DIN EN 12210 Fenster und Türen – Widerstandsfähigkeit bei Windlast – Klassifizierung
DIN EN 12600 Glas im Bauwesen – Pendelschlagversuch – Verfahren für die Stoßprüfung und Klassifizierung von Flachglas
DIN EN 13022 Glas im Bauwesen – Geklebte Verglasungen
Teil 1 Glasprodukte für SSG-Systeme – Einfach- und Mehrfachverglasungen mit und ohne Abtragung des Eigengewichtes
DIN prEN 13050 Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Laborprüfung mit wechselndem Luftdruck und Besprühen mit Wasser
DIN EN 13051 Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Feldversuch
DIN EN 13116 Vorhangfassaden – Widerstand gegen Windlast –Leistungsanforderungen
DIN EN 13474 Glas im Bauwesen – Bemessung von Glasscheiben
Teil 1 Allgemeine Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung
DIN EN ISO 12543 Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbundsicherheitsglas
Teil 1 Definitionen und Beschreibungen von Bestandteilen
Teil 2 Verbundsicherheitsglas
Teil 3 Verbundglas
Teil 4 Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit
Teil 5 Maße und Kantenbearbeitung
Teil 6 Aussehen
für die CE-Kennzeichnung der in der Normenreihe EN ISO 12543 behandelten Produkte gilt DIN EN 14449 Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbundsicherheitsglas –Konformitätsbewertung/Produktnorm
DIN 1055 Einwirkungen auf Tragwerke
Teil 1 Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen
Teil 2 Bodenkenngrößen
Teil 3 Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten
Teil 4 Windlasten
Teil 5 Schnee- und Eislasten
Teil 7 Temperatureinwirkungen
Teil 100 Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln
DIN 11535 Gewächshäuser
Teil 1 Grundsätze für Berechnung und Ausführung
DIN 18056 Fensterwände; Bemessung und Ausführung
DIN 18516 Außenwandverkleidungen, hinterlüftet
Teil 1 Anforderungen, Prüfungsgrundsätze
Teil 4 Einscheibensicherheitsglas; Anforderungen, Bemessung, Prüfung
DIN 32622 Aquarien aus Glas – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN 52338 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas
ANSI Z97.1-2004 Approved American National Standard – Safety Glazing Materials used in Buildings – Safety Performance Specifications and Methods of Test
ASTM E 1300 Standars Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings
EOTA (European Organisation for Technical Approvals) Guideline for European Technical Approval for Structural Sealant Glazing Systems (SSGS)
ETAG 002 Part 1 Supported and unsupported Systems
ETAG 002 Part 2 Coated Aluminium Systems
ETAG 002 Part 3 Systems incorporating profiles with a thermal barrier
LBO Landesbauordnungen der einzelnen Bundesländer
MBO Musterbauordung
Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen (TRAV), Fassung 2003
Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV), Fassung 1998/ Entwurfsfassung 2005
Technische Regeln für die Bemessung und Ausführung punktförmig gelagerter Verglasungen (TRPV), Entwurfsfassung 2005

Andere Fachgebiete
DIN EN 843 Hochleistungskeramik – Monolithische Keramik – Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur
Teil 1 Bestimmung der Biegefestigkeit
DIN EN 1279 Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas
Teil 3 Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Gasverlustrate und Grenzabweichungen für die Gaskonzentration
DIN prEN 12488 Glas im Bauwesen – Anforderungen an die Verglasung –Verglasungsrichtlinien
DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen
Teil 1 Allgemeine Anforderungen
Teil 2 Grundlagen
Teil 3 Berechnung
Teil 4 Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume
Teil 5 Messung
Teil 6 Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen
DIN 7863 Nichtzellige Dichtprofile im Fenster- und Fassadenbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 18360 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Metallbauarbeiten
DIN 18361 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Verglasungsarbeiten
DIN 18545-1 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen; Anforderungen an Glasfalze
DIN 51110 Teil 3 Prüfung von keramischen Hochleistungswerkstoffen; 4-Punkt-Biegeversuch. Statistische Auswertung. Ermittlung der Weibull-Parameter
DIN 52313 Prüfung von Glas – Bestimmung der Temperaturwechselbeständigkeit von Glaserzeugnissen
DIN 52455 Prüfung von Dichtstoffen für das Bauwesen – Haft- und Dehnversuch
Teil 1 Beanspruchung durch Normalklima, Wasser oder höhere Temperaturen
DIN 52452 Prüfung von Dichtstoffen für das Bauwesen – Verträglichkeit der Dichtstoffe Verträglichkeit mit anderen Baustoffen
DIN 52460 Fugen- und Glasabdichtungen – Begriffe
DIN 68121 Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Maße, Qualitätsanforderungen
DIN ISO 7991 Glas – Bestimmung des mittleren thermischen Längenausdehnungskoeffizienten
DIN V 11535-1 Gewächshäuser; Grundsätze für Berechnung und Ausführung

Literatur

Allgemeine Glasliteratur und Baugeschichte

Banham, Reyner, Die Revolution der Architektur, Hamburg 1964
Banham, Reyner, The Architecture of the Well-tempered Environment, Chicago 1969
Bartetzko, Dieter, Die Konsequenz der Moderne, in: Der Architekt 1998/05
Behling, Sophia und Stefan, Sol Power, München 1996
Behne, Adolf, Die Wiederkehr der Kunst, Leipzig 1919
Behnisch / Hartung, Eisenkonstruktionen des 19. Jahrhunderts in Paris, Darmstadt 1984
Behnisch/Hartung, Glas- und Eisenkonstruktionen des 19. Jahrhunderts in Großbritannien, Darmstadt 1984
Benevolo, Leonardo, Geschichte der Architektur des 19. und 20. Jahrhunderts, Band 1 u. 2, München 1978
Binding, G.; Mainzer, U.; Wiedenau, A., Kleine Kunstgeschichte des deutschen Fachwerkbaus, Darmstadt 1989
Blaser, Werner, Chicago Architecture – Holabird & Root 1880–1992, Basel 1992
Blaser, Werner, Ludwig Mies van der Rohe – Less is more, Zürich 1986
Blondel, Nicole, Le Vitrail, Paris 1993
Bluestone, Daniel, Constructing Chicago, New Haven/London 1991
Boissière, Olivier, Jean Nouvel, Basel 1996
Borsi, Franco; Goddi, Ezio, Pariser Bauten der Jahrhundertwende – Architektur und Design der französischen Metropole um 1900, Stuttgart 1990
Cali, François, Das Gesetz der Gotik, München 1965
Camesasca, Ettore (Hrsg.), Geschichte des Hauses, Berlin 1986
Camille, Michele, Die Kunst der Gotik, Köln 1996
Chadwick, George F., The Works of Sir Joseph Paxton, London 1961
Cohen, Jean-Louis, Ludwig Mies van der Rohe, Basel 1995
Compagnie de Saint-Gobain 1665–1965, hrsg. von der Compagnie de Saint-Gobain, Paris 1965
Compagno, Andrea, Die intelligente Glashaut, in: Bauwelt 1994/26
Condit, Carl W., The Chicago School of Architecture, Chicago 1964
Curtis, William J.R., Modern Architecture since 1900, London 1996
Davies, Mike, A Wall for all Seasons, in: RIBA Journal, February 1981
Davies, Mike, Eine Wand für alle Jahreszeiten, in: Arch+ 104, Juli 1990
Der Westdeutsche Impuls. Die Deutsche Werkbund-Ausstellung Cöln 1914, Ausstellungskatalog Kölnischer Kunstverein, Köln 1984
Duby, Georges, Die Zeit der Kathedralen, Frankfurt/M. 1991
Dupré, Judith, Wolkenkratzer, Köln 1996
Elliot, L.W., Structural News: USA, in: The Architectural Review, April 1953
Engel, Heinrich, Measure and Construction of the Japanese House, Rutland / Vermont 1985
Fischer, Wend, Geborgenheit und Freiheit, Krefeld 1970
Ford, Edward R., Das Detail in der Architektur der Moderne, Basel 1994
Forter, Franziska, Die Kraft des Unsichtbaren, in: Fassade 1998/02
Foster, Norman, Buildings and Projects of Foster Associates – Volume 2, 1971–1978, Volume 3, 1978–1985, Berlin 1989
Foster, Norman, Buildings and Projects of Team 4 and Foster Associates – Volume 1, 1964–1973, Berlin 1991
Frampton, Kenneth, Grundlagen der Architektur – Studien zur Kultur des Tektonischen, München / Stuttgart 1995
Frampton, Kenneth, Villen in Amerika, Stuttgart 1995
Friemert, Chup, Die gläserne Arche. Kristallpalast London 1851 und 1854, München 1984
Glass – History, Manufacture and its Universal Application, hrsg. von Pittsburgh Plate Glass Company, Pittsburgh 1923
Geist, Johann Friedrich, Passagen. Ein Bautyp des 19. Jahrhunderts, München 1978
Giedion, Sigfried, Bauen in Frankreich. Bauen in Eisen. Bauen in Eisenbeton, Berlin/Leipzig 1928
Giedion, Sigfried, Raum, Zeit, Architektur, Zürich 1978
Ginsburger, Roger, Neues Bauen in der Welt, Wien 1930
Gössel, Peter; Leuthäuser, Gabriele, Architektur des 20. Jahrhunderts, Köln 1990
Graefe, Rainer (Hrsg.), Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989
Handbuch der Architektur 4. Teil., 2. Halbband, Heft 2 (Geschäfts- und Kaufhäuser, Warenhäuser und Messplätze, Passagen und Galerien), Stuttgart 1902
Hannay, Patrick, Gläserne Amöbe – Hauptverwaltung von Willis Faber Dumas in Ipswich, in: Deutsche Bauzeitung 1997/04
Heinz, Thomas A., Frank Lloyd Wright – Glass Art, London/Berlin 1994
Hennig-Schefold, Monica; Schmidt-Thomsen, Helga, Transparenz und Masse, Köln 1972
Herzog, Thomas; Krippner, Roland; Lang, Werner, Fassaden Atlas, München/Basel 2004
Hildebrand, Grant, The Wright Space, Washington 1991
Hindrichs, Dirk U.; Heusler, Winfried, Fassaden – Gebäudehüllen für das 21. Jahrhundert, Basel 2004
Hitchcock, Henry-Russell, In the Nature of Materials, New York 1942
Hix, John, The Glasshouse, London 1996
Hofrichter, Hartmut (Hrsg.), Fenster und Türen in historischen Wehr- und Wohnbauten, Marksburg/Braubach 1995
Hütsch, Volker, Der Münchner Glaspalast 1854–1931, Berlin 1985
Interpane (Hrsg.), Gestalten mit Glas, Lauenförde 1997
Jaeggi, Annemarie, Adolf Meyer, Berlin 1994
Jelles, E. J., Duiker 1890–1935, Amsterdam 1976
Jencks, Charles, Die Sprache der Postmodernen Architektur, Stuttgart 1980
Joedicke, J.; Plath, Ch., Die Weißenhofsiedlung, Stuttgart 1977
Joedicke, Jürgen, Geschichte der modernen Architektur, Stuttgart 1958
Kaltenbach, Frank (Hrsg.), Transluzente Materialien, Glas Kunststoff Metall, München 2003
Kimpel, Dieter; Suckale, Robert, Die gotische Architektur in Frankreich 1130–1270, München 1985
Kohlmaier, Georg; Sartory, Barna von, Das Glashaus, München 1988
Koppelkamm, Stefan, Künstliche Paradiese – Gewächshäuser und Wintergärten des 19.-Jahrhunderts, Berlin 1988
Korn, Arthur, Glas im Bau und als Gebrauchsgegenstand, Berlin 1929
Krampen, Martin; Schempp, Dieter, Glasarchitekten. Konzepte, Bauten, Perspektiven, Ludwigsburg 1999
Krewinkel, Heinz W., Glasarchitektur, Basel 1998
Kuhnert, Nikolaus; Oswalt, Philipp, Medienfassaden, in: Arch+ 108, 1991
Lang, Werner, Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas, in: Detail 1998/07
Lerner, Franz, Geschichte des Deutschen Glaserhandwerks, Schorndorf 1981
Male, Emile, Die Gotik, Stuttgart 1994
Marrey, Bernard, Le Fer à Paris – Architectures, Paris 1989
Marrey, Bernard; Ferrier, Jacques, Paris sous Verre, Paris 1997
Martin Wagner 1885–1957, Ausst. Kat. Akademie der Künste Berlin, Berlin 1985
McCarter, Robert (Hrsg.), Frank Lloyd Wright – A Primer on Architectural Principles, New York 1991
McGrath, Raymond; Frost, A.C., Glass in Architecture and Decoration, London 1961
McKean, John, Crystal Palace, London 1994
Meyer, Alfred Gotthold, Eisenbauten. Ihre Geschichte und Ästhetik, Esslingen 1907
Neuhart, Marilyn und John, Eames House, Berlin 1994
Neumann, Dietrich, Prismatisches Glas, in: Detail 1995/01
Norberg-Schulz, Christian, Vom Sinn des Bauens, Stuttgart 1979
Norberg-Schulz, Christian, Roots of Modern Architecture, Tokio 1988
Ogg, Alan, Architecture in Steel. The Australian Context, Australien 1989
Patterson, Terry L., Frank Lloyd Wright and the Meaning of Materials, New York 1994
Pehnt, Wolfgang, Die Architektur des Expressionismus, Stuttgart 1998
Perrault Dominique, Bibliothèque nationale de France 1989–1995, Basel 1998
Petzold, Armin; Marusch, Hubert; Schramm, Barbara, Der Baustoff Glas, Schorndorf 1990
Pevsner, Nikolaus, Europäische Architektur, München 1994
Phleps, Hermann, Deutsche Fachwerkbauten, Königstein im Taunus 1951
Phleps, Hermann, Holzbaukunst. Der Blockbau, Karlsruhe 1981
Piano, Renzo, Renzo Piano 1987–1994, Basel 1995
Platz, Gustav Adolf, Die Baukunst der neuesten Zeit, Berlin 1930
Posener, Jukius, Aufsätze und Vorträge 1931–1980, Braunschweig 1981
Rice, Peter; Dutton, Hugh, Transparente Architektur, Basel 1995
Rice, Peter, An Engineer Imagines, London 1994
Ritchie, Ian, Architektur mit (guten) Verbindungen, London/Berlin 1994
Ronner, Heinz, Öffnungen. Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens, Basel 1991
Rowe, Colin; Slutzky, Robert; Hoesli, Bernhard, Transparenz, Basel 1989
Scheerbart, Paul, Glasarchitektur, Berlin 1914
Schild, Erich, Zwischen Glaspalast und Palais des Illusions, Braunschweig 1983
Schittich, Christian, Die neue Glasarchitektur – nicht nur gebaute Transparenz, in: Detail 2000/03
Schittich, Christian (Hrsg.), Gebäudehüllen. 2. erweiterte Auflage, München/Basel 2006
Schittich, Christian (Hrsg.), Solares Bauen. Strategien Visionen Konzepte, München/Basel 2003
Schmidt-Brümmer, Horst, Alternative Architektur, Köln 1983
Schneck, Adolf, Fenster aus Holz und Metall, Stuttgart 1942
Schulze, Franz, Ludwig Mies van der Rohe, Berlin 1986
Schulze, Konrad Werner, Glas in der Architektur, Stuttgart 1929
Singer, Charles; Holmyard, E. J.; Hall, A. R.; Williams, T. I., A history of Technology, Oxford, Vol. II 1956, Vol. III 1957, Vol. IV 1958
Strike, James, Construction into Design, Oxford 1991
Taut, Bruno, Die Stadtkrone, Jena 1919
Taut, Bruno, Die neue Wohnung, Leipzig 1924
Taut, Bruno, Die neue Baukunst in Europa und Amerika, Stuttgart 1929
Taylor, Brian Brace, Pierre Chareau – Designer and Architect, Köln 1992
Tegethoff, Wolf, Ludwig Mies van der Rohe – Die Villen und Landhausprojekte, Essen 1981
The Contribution of the Curtain Wall to a New Vernacular, in: The Architectural Review, May 1957
Thiekötter, Angelika u.a., Kristallisationen, Splitterungen, Bruno Tauts Glashaus, Basel 1993
Ullrich, Ruth-Maria, Glas-Eisenarchitektur – Pflanzenhäuser des 19. Jahrhunderts, Worms 1989
Vavra, J.-R., Das Glas und die Jahrtausende, Prag 1954
Völckers, Otto, Glas und Fenster, Berlin 1939
Völckers, Otto, Glas als Baustoff, Eberswalde/Berlin/Leipzig 1944
Völckers, Otto, Bauen mit Glas, Stuttgart 1948
Von der Waldhütte zum Konzern, hrsg. von Flachglas AG, Schorndorf 1987
Welsh, John, Das moderne Haus, Berlin 1995
Wigginton, Michael, Glass in Architecture, London 1996
Yoshida, Tetsuro, Das Japanische Wohnhaus, Tübingen 1969
Zukowsky, John (Hrsg.), Chicago Architecture 1872–1922, München 1987

Technik

Achilles, Andreas; Braun, Jürgen; Seger, Peter; Stark, Thomas; Volz, Tina, Glasklar. Produkte und Technologien zum Einsatz von Glas in der Architektur, München 2003

Balkow, Dieter; Bock, Klaus von; Krewinkel, Heinz W.; Rinkens, Robert, Technischer Leitfaden Glas am Bau, Stuttgart 1990

Balog, Valentin; Jetzt, Christian; Lutz, Martin, Der Post-Tower in Bonn – Filigrane Fassadenplanung im Detail, in: Detail 2004/10

Bauen mit Glas. Transparente Werkstoffe im Bauwesen, VDI-Berichte/VDI-Tagungsbände, Band Nr. 1933, Baden-Baden 29./30.05.2006

Beckmann, William A.; Duffie, John A., Solar Engineering of the Thermal Processes, New York 1991

Behling, Sophia und Stefan, Glass. Konstruktion und Technologie in der Architektur, München 1999

Blank, Kurt, Thermisch vorgespanntes Glas, Glastechnische Berichte 52 (1979) Nr. 1

Blank, Kurt, Thermisch vorgespanntes Glas, Teil 2, Glastechnische Berichte 52 (1979) Nr. 2

Blank, Kurt, Dickenbemessung von rechteckigen Glasscheiben unter gleichförmiger Flächenlast, in: Bauingenieur 68 (1993)

Blank, Kurt; Grüters, Hugo; Hackl, Klaus, Contribution to the size effect on the strength of float glass, in: Glastechnische Berichte 63 (1990), Nr. 5

Bosshard, Walter, Tragendes Glas?, in: Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 27/28, 3. Juli 1995

Braun, Peter; Merko, Armin, Thermische Solarenergie an Gebäuden, ISE Frauenhofer Institut Solare Energiesysteme, Berlin 1997

Brookes, Alan J.; Grech, Chris, Das Detail in der High-Tech-Architektur, Basel 1991

Button, David; Pye, Brian (Hrsg.), Glass in building, Oxford 1993

Charlier, Hermann, Bauaufsichtliche Anforderungen an Glaskonstruktionen, in: Der Prüfingenieur, 11. Oktober 1997, S. 44–54

Compagno, Andrea, Der Baustoff Glas und seine Verwendungsmöglichkeiten, in: Detail 2000/03

Compagno, Andrea, Intelligente Glasfassaden. Material Anwendung Gestaltung, Basel 2002

Compagno, Andrea, Tragende Transparenz, in: Fassade 02/1998

Conference Proceedings – Glass Processing Days 2001; 2003; 2005 Tampere

Daniels, Klaus, Technologie des ökologischen Bauens, Basel/Boston/Berlin 1995

Durchholz, Michael; Goer, Bernhard; Helmich, Gerd, Method of reproducibly predamaging float glass as a basis to determine the bending strength, in: Glastechn. Berichte, Glass Sci. Technol. 68 (1995), Nr. 8

Ehm, H., Wärmeschutzverordnung '95. Grundlagen, Erläuterungen und Anwendungshinweise. Der Weg zu Niedrigenergiehäusern, Wiesbaden/Berlin 1995

Fahrenkrog, Hans-Hermann, Mehrscheiben-Isolierglas. Geschichte und Entwicklung, in: Deutsches Architektenblatt 1995/09

Feist, Wolfgang, Passivhäuser in Mitteleuropa, Diss., Universität Kassel 1993, Darmstadt 1993

Feldmeier, Franz, Zur Berücksichtigung der Klimabelastung bei der Bemessung von Isolierglas bei Überkopfverglasung, in: Stahlbau 65 1996/08

Fisch, M. Norbert, Solartechnik I, Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Abt. Rationelle Energienutzung, SS 1990

Freiman, S.W., Fracture mechanics of glass, in: Glass. Science and Technology, Vol. 5, hrsg. von D.R. Uhlmann, N.J. Kreidel, New York 1980

Führer, Wilfried; Knaack, Ulrich, Konstruktiver Glasbau 1, Aachen 1995

Glas im Bauwesen, OTTI Technologiekolleg, hrsg. von Ostbayerisches Technologie Transfer Insitut e.V. Regensburg, Regensburg 1997

Glas und Praxis, Kompetentes Bauen und Konstruieren mit Glas 1994, hrsg. von Glas Trösch AG, Bützberg 1994

Glashandbuch 1997, hrsg. von Pilkington Flachglas, Gelsenkirchen 1997

Grimm, Friedrich, Energieeffizientes Bauen mit Glas. Grundlagen, Gestaltung, Beispiele, Details, München 2004

Hess, Rudolf, Bemessung von Einfach- und Isolierverglasungen unter Anwendung der Membranwirkung bei Rechteckplatten großer Durchbiegung,HBT-Bericht Nr. 13, Institut für Hochbautechnik, ETH Zürich 1986

Hess, Rudolf, Stahl und Glas – Bemessung, Konstruktion und Anwendungsgebiete, in: Baukultur 1995/01–02

Hlavác, Jan, Glass Science and Technology. The Technology of Glass and Ceramics. An Introduction, Amsterdam/Oxford/New York 1983

Humm, Othmar, Niedrigenergiehäuser. Innovative Bauweisen und neue Standards, Staufen bei Freiburg 1997

Humm, Othmar; Toggweiler, Peter, Photovoltaik und Architektur. Photovoltaics in Architecture, Basel/Boston/Berlin 1993

IEA Passiv Solar Commercial and Institutional Buildings, A Sourcebook of Examples and Design Insights, Task 11, Chichester 1994

IEA Solar Heating and Cooling Programme, Frame and Edge Seal Technology, A State of the Art Survey Task, 18 Advanced Glazing and Assoziated Materials for Solar and Building Applications, 1994

Jetzt, Christian, Kombi-Gläser zwischen Funktion und Außenwirkung – »Street Appeal« als Komplement, in: Detail 2004/10

Kerkhof, F.; Richter, H.; Stahn, D., Festigkeit von Glas in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und -verlauf, in: Glastechnische Berichte, Nov. 1991

Klimke, Herbert; Walochnik, Wolfgang, Wann trägt Glas?, in: glasforum 02/1993

Kutterer, M.; Görzig, R., Glasfestigkeit im Bohrungsbereich, IL-Forschungsbericht FB 01/97

Lehmann, Raimund, Auslegung punktgehaltener Gläser, in: Stahlbau 1998/04

Lotz, Stefan, Untersuchungen zur Festigkeit und Langzeitbeständigkeit adhäsiver Verbindungen zwischen Fügepartnern aus Floatglas, Diss., Kaiserslautern 1995

Loughran, Patrick, Falling glass. Glasschäden und Lösungen in der neueren Architektur, Basel 2003

Marusch, H.; Petzold, A.; Schramm, B., Der Baustoff Glas. Grundlagen, Eigenschaften, Erzeugnisse, Glasbauelemente, Anwendungen, Berlin/Schorndorf 1990

Mecholsky, J. J.; Rice, R. W.; Freiman, S. W., Prediction of fracture energy and flaw size in glasses from measurements of mirror size, in: J. Am. Ceram. Soc. 57 (1974), S. 440–443

Minor, Joseph E.; Reznik, Patrick L., Failure Strengths of Laminated glass, in: J. of Structural Engineering 116 (4)/1990

Nijsse, Rob, Tragendes Glas. Elemente Konzepte Entwürfe, Basel 2003

Oswalt, Philipp, Wohltemperierte Architektur. Neue Techniken des energiesparenden Bauens, Köln 1994

Pottgiesser, Uta, Fassadenschichtungen – Glas. Mehrschalige Glaskonstruktionen. Typologie, Energie, Konstruktionen, Projektbeispiele. Mit Auswahlkriterien und Entscheidungshilfen, Berlin 2004

Pottgiesser, Uta; Tasche, Silke; Weller, Bernhard, Kleben im Bauwesen – Glasbau, in: Detail 2004/10

Produkt Information Handbook, hrsg. von Transsolar und National Observatory of Athens, The European Commission – Directorate General for Energy 1997

Rathert, Peter, Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagen-Verordnung, Köln 1995

Rawson, Harold, Glass Science and Technology 3 – Properties and Applications of Glass, Amsterdam 1980

Recknagel, Hermann; Schramek, Rudolf; Sprenger, Eberhard, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, München/Wien 1995

Reiß, Johann; Wenning, Martin; Erhorn, Hans; Rouvel, Lothar, Solare Fassadensysteme. Energetische Effizienz – Kosten – Wirtschaftlichkeit, Stuttgart 2005

Rice, P.; Dutton, H., Transparente Architektur, Basel/Boston/Berlin 1995

Richter, H., Langsame Rissausbreitung und Lebensdauerbestimmung. Vergleich zwischen Rechnung und Experiment, in: Bericht Deutsche Keramische Gesellschaft 57 (1980) Nr. 01, S. 10–12

Robbins, Claude I., Daylighting Design and Analysis, New York 1986

Schlaich, J.; Schober, H., Verglaste Netzkuppeln, in: Bautechnik 69 (1992), Heft 01, S. 3–10

Schneider, Jens; Siegele, Klaus, Glasecken. Konstruktion, Gestaltung, Beispiele, München 2005

Scholze, H., Glas: Natur, Struktur und Eigenschaften, Berlin/Heidelberg 1988

Schulz, Christina; Seger, Peter, Großflächige Verglasungen, in: Detail 1991/01

Schulz, Christina; Seger, Peter, Glas am Bau 1+2 – Konstruktion von Glasfassaden, in: Deutsches Architektenblatt 03/1993 und 05/1993

Sedlacek, G.; Blank, K.; Güsgen, J., Glass in Structural Engineering, in: The Structural Engineer, Vol. 73, No 02/17 January 1995

Sedlacek, Gerhard; Blank, Kurt; Laufs Wilfried; Güsgen, Joachim, Glas im Konstruktiven Ingenieurbau, Berlin 1999; überarbeitete Neuauflage geplant für März 2007

Sobek, Werner, Glass Structures, in: The Structural Engineer, Vol. 83, Nr. 7 (05/04/2005)

Techen, H., Fügetechnik für den konstruktiven Glasbau, Diss., Bericht Nr. 11 – TU Darmstadt, Institut für Statik 1997

Treberspurg, Martin, Neues Bauen mit der Sonne, Wien/New York 1994

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.; Messe Düsseldorf GmbH, Glass. Glasherstellung – Glasveredelung. Prozesse und Technologien, Essen-Kettwig 2002

Wagner, Ekkehard, Glasschäden. Oberflächenbeschädigungen, Glasbrüche in Theorie und Praxis. Ursachen, Entstehung, Beurteilung, Stuttgart 2005

Witte, Friedrich, Recycling von Flachglas, in: Glastechn. Berichte, Glass Sci. Technol. 68 (1995) Nr. 08, 107

Wörner, Johann Dietrich; Shen, X., Sicherheitskonzept für Glasfassaden, Bauingenieur 69 (1994) S. 33–36

Wörner, Johann Dietrich; Pfeiffer, Rupert; Schneider, Jens; Shen, Xiaofeng, Konstruktiver Glasbau, in: Bautechnik 75 (1998), Heft 05

Wörner, Johann-Dietrich; Schneider, Jens; Fink, Andreas, Glasbau. Grundlagen, Berechnung, Konstruktion, Berlin 2001

Sachregister

Abluftfassade → 154
Abminderungsfaktor → 121, 123
Absorption → 121
Abstandhalter → 98, 125, 128f.
  thermisch verbesserter → 173
Adapterrahmen → 85, 88, 166
Adhäsionskräfte → 94
Adhäsionsversagen → 166
Alumosilikatglas → 62
Aquariumverglasung → 84
Atrium → 141, 149ff.
Ätzung → 65
Ausdehnungskoeffizient → 123
  linearer → 123
  volumetrischer → 123

Benetzbarkeit → 86
Bernstein → 10
Beschichtung → 63ff.
  Infrarotstrahlung reflektierende Low-E-Beschichtung → 149, 274
  Low-E-Beschichtung → 125f., 242ff.
  Offline Beschichtung → 64
  Online Beschichtung → 64
Beschichtungsprozess → 64f.
  chemischer → 64f.
  physikalischer → 64
Biegezugspannung → 100, 171
Blendschutz → 80
Blendungsindex → 144
Blockbauweise → 17
Bogenkonstruktion → 18
Borosilikatglas → 62
Brandschutzgläser → 80f.
Brechungsindex → 122
Bruchbild → 68, 92
Bruchverhalten → 90f.
Brüstungen → 83

Case Study Programms → 35
Curtain Wall → 22, 30ff., 50ff.

Dachflächenfenster → 180
  Eindeckrahmen → 180
Dachverglasung → 81f.
Dampfdruckausgleich → 71, 87, 164, 172f.
Delamination → 97
Dichtprofil → 73, 95f., 163f., 172
  Geschichte → 50
Dichtstoffe → 98
  spritzbar → 172
Dichtung → 94
  Anschlagsdichtung → 178
  Mitteldichtung → 178
Doppelfassade → 47f., 153f., 290ff.
Drahtglas poliert → 62
Drahtspiegelglas → 28
Drainage → 73, 87, 96, 164, 172
Drainagesystem → 172
Dreifach-Isolierverglasung → 72f., 125, 129, 173, 178
D-Wert → 122

Eckstöße rahmenlose → 73
Einscheibensicherheitsglas (ESG) → 66f., 92, 100
  ESG Doppelbrechung → 67
  ESG heißgelagert thermisch vorgespannt → 67
  ESG heißgelagert → 66
  ESG-H → 92
Eisen-Glas-Konstruktion → 17
Emaillierung → 65
Emissionsvermögen → 122
Energiebilanz → 146
Energieeinsparverordnung → 137
Energiegewinne → 133
Energietransmissionsgrad → 120
EPDM (Ethylen-Propylen-Dien Typ M) → 96
Erdalkaliglas → 62

Facettenfläche → 110
Fachwerkbau → 15, 17
Fail-Safe-Concept → 100
Falz
  dichtstofffreier Falz → 71
  Falz mit Kittfase → 96
Falzgrund → 163f.
Falzraum → 95f., 163f., 172f.
Falzraumbelüftung → 98
Farbwiedergabe-Index → 122
Fenster → 131, 163, 176ff.
  Aluminiumfenster → 163, 176
  Holz-Aluminiumfenster → 163
  Holzfenster → 163, 176
  Kastenfenster → 47, 124
  Kunststofffenster → 163, 177
  Lamellenfenster → 181
  mit mittiger Drehachse → 179
  Passivhausfenster → 178
  Schwingfenster → 180
  Senkklappfenster → 179
  Stahlfenster → 163, 177
Fensterbänder → 33
Fensterglas → 61f.
Fensterrahmen → 130f.
Fensterwärmedurchgangskoeffizient → 129
Finite Elemente → 99
Flachglas → 11
Floatglas → 61, 91, 100, 123
Floatprozess → 30, 50
Floatverfahren → 12, 60
Folien → 41, 69f., 79f., 236ff.
Fugendurchlässigkeit → 131f.
Fügung → 94f.
Funktionsgläser → 141

Ganzglasgebäude → 227ff., 230ff.
Ganzglaskonstruktion → 56ff.
Ganzglastüranlagen → 83
Gasdichtigkeit → 71
Gasfüllung → 73, 77, 126f.
Gauß'sche Krümmung → 115
Geländer → 83
Gesamtenergiebedarf → 144
Gesamtenergiedurchlass → 120
Gesamtenergiedurchlassgrad → 76, 121
Gesamtwärmedurchlasskoeffizient → 123
Gewächshaus → 18, 39, 317
Gießharz → 69f., 74, 101, 172, 308
Gitterschale → 39, 340ff.
Glas
  Abdichtung → 95
  Baustoff → 60ff.
  bedruckt → 40f.
  beheizbares → Glas71
  Bemessung → 99ff., 103
  Beschichtung → 40, 63ff.
  Bohrung → 93
  chemisch vorgespanntes Glas → 68f.
  chrome Gläser → 139
  Einscheibensicherheitsglas (ESG) → 66f., 92, 100
  Festigkeit → 91f.
  Folien → 41, 69f., 79f.
  gebogenes Glas → 65, 110
  gefärbtes Glas → 41
  gewölbtes Glas → 202
  Glas und Energie → 46ff., 119ff.
  Glas und Farbe → 40f.
  keramisch bedrucktes Glas → 320f., 325ff.
  Korrekturfaktoren → 74
  Lagerungsmöglichkeiten → 163ff.
  Licht lenkende Gläser → 80
  Licht streuende Gläser → 80
  Platten → 107
  Selbstreinigung → 89, 98
  teilvorgespanntes Glas (TVG) → 68, 92, 100
  thermisch behandelt → 65ff.
  transluzentes Glas → 90, 221ff.
  transparentes Glas → 90
  Trennwände → 83
  trope Gläser → 13
  Verbundsicherheitsglas (VSG) → 69f., 91, 94, 101, 107
  Verklebung → 164
  verspiegeltes Glas → 33
  vorgespanntes Glas (ESG) → 66f., 92, 100
Glasaufhängung → 169
Glasbaustein → 12
Glasbefestigung → 163
  profillose Glasbefestigung → 224ff.
Glasboden → 265ff.
Glasbohrung → 169ff.
  Hülsen → 169
Glasbrücke → 210f., 306f.
Glasdach → 39, 277, 298ff.,302ff., 314ff.,317ff., 322ff., 338f.,340ff.
  abgehängtes Glasdach → 285ff.
  First → 198
  gewölbtes Glasdach → 285ff.
  Glas-Stahldach → 282ff.
  oberer Anschluss an aufgehendes Bauteil → 199
  Satteldach → 298ff.
  seitlicher Anschluss an aufgehendes Bauteil → 199
  Traufe → 198
  zweischaliges Glasdach → 156
Glasdachkonstruktionen → 198f.
Glasecke → 73, 173, 208f., 223, 238
Glaseisenbeton → 12
Glaserker → 260ff.
Glasfalz → 71, 95, 130f.
Glasfassade → 30ff., 184ff., 215ff., 282ff., 317ff.
  gerasterte Glasfassade → 32
  hinterspannte Glasfassade → 36
Glasfestigkeit → 91f.
  Belastungsdauer → 90
  Risstiefe → 90
Glasfliesen → 252f.
Glasfuge → 172
Glashalle → 325ff.
Glashalteleiste → 163
Glashalter gelenkig → 282ff.
Glashaus → 34f., 149ff.
  Glashaus-Effekt → 119
Glasherstellung → 10
Glaskeramik → 62
Glaslamellen → 181, 215ff., 239ff., 296f., 302ff., 325ff.
Glasmacherpfeife → 10
Glasoberfläche Korrosion → 60
Glasoberflächen → 92
Glaspuffer → 126
Glaspyramide → 37
Glasrampe → 265,268
Glasrippen → 317ff.
Glasrohre → 105
Glasscheibe
  beheizte Glasscheibe → 126
  Glasscheibe mit Aufdruck → 245ff.
  transluzente Glasscheibe → 221ff.
Glasschiebetür → 262f.
Glasschindeln → 115f., 170
  Glasschindeln VSG → 338f.
Glasschwert → 105f., 169, 265ff., 311ff., 328ff.
  abgehängtes Glasschwert → 279
Glasstäbe → 105
Glassteg → 210f., 306f.
Glassteine → 63, 175, 260ff.
Glassteindecke → 175
Glassteinmauerwerk → 175
Glasstütze → 57
Glasträger → 57, 106, 306f., 310
Glastrennwand → 172
Glastreppe → 84, 208f.
Glasunterzug → 310
Glasverwindungen → 114
Glaswand → 224ff., 245ff., 278ff., 314ff., 317ff., 328ff.
  Geschichte → 56
  geschuppte Glaswand → 254ff.
Globalstrahlung → 119, 134f.
Globalstrahlungsleistung → 135
Gradtagszahl → 135
Griffith-Risse → 90
Guss- und Strecktechnik → 10
Gussglas → 62, 100
Gusskonstruktion → 114
Gusswalzverfahren → 11
g-Wert → 120

Halte- und Distanzklötze → 93
Hard-Coating → 126
Heat Soak Test → 92
Hinterschnittanker → 97, 171
Hochhaus → 31ff.
Horizontalverglasung → 98

Industrieverglasung → 163
Infrarotstrahlung reflektierende Low-E-Beschichtung → 149
Integralprofil → 52, 97, 165
Interferenzen → 85
Internationaler Stil → 32
Isolierglas → 71ff., 83, 108, 114, 124
  Aus- und Einbauchen → 85
  Randverbundsysteme → 72
  Trennwandanschluss → 172
Isolierglas-Randverbund → 166
Isolierverglasung → 98, 129, 164
  Bemessung → 103
  Dreifach-Isolierverglasung → 72f., 125, 129, 173, 178

Kalk-Natron-Glas → 60, 91
Kältestrahlung → 148
Kantenbearbeitung → 65
Kathetereffekt → 108
Kathodenstrahlverfahren (Sputtering) → 64
Kepplersches Glasbetonverfahren → 25
Kerbeffekte → 91
Kleben im Glasbau → 88, 94, 97
Klebstoffe → 94
  SSG-Klebstoff → 166
Klemmhalter → 168f.
  Vierpunkt-Klemmhalter → 170
Klemmteller → 93,97
Klima → 133ff., 135
Kohäsionskräfte → 94
Kohäsionsversagen → 166
Komfort → 148
Kondensat → 86
Kondensation → 147
Kontaktverbindung → 93
Kontaktdichtung → 95
Konvektionsbarriere → 127f.
Konvektionsbremse → 128
Krafteinleitung → 93
Kristallpalast → 12, 19, 21
Kuppelkonstruktion → 17, 38
  Netzkuppeln → 114

Lagerung
  lineare Lagerung → 163f.,166,168
  Linienlagerung → 96

punktförmige Lagerung → 168, 170f.
punktförmige Lagerung in der Fuge → 170
Libbey-Owens-Verfahren → 12
Lichtausbeute → 145
Lichtdach → 272f.
Lichtdurchlässigkeit → 120
Lichtgraben → 333ff.
Lichtlabor → 145
Lichtlenkung → 80, 142ff., 296f.
Acrylglasprismen → 272f.
Lichttransmissionsgrad → 76, 120
Lightpipe → 144f.
Lightshelf → 143
Lochlaibungsverbindung → 169
Lotuseffekt → 89,98
Low-E-Beschichtung → 125f., 242ff.
Luftfüllung → 74, 127
Luftkollektor → 148, 159

Mechanische Sicherung → 85, 167, 183
Massivbau → 16
Mauerwerk transluzent → 12
Medienfassaden → 45
Mondglasverfahren → 11, 13, 60

Netze rotationssymmetrische → 115
Netzkuppeln → 114
Netzschalenkonstruktion → 55, 168
Nevada-Stein → 12
Normen → 344f.
Nullenergie-Gebäude → 230ff.

Oberflächenbehandlung → 65ff.
Oberflächenstruktur → 91
Oberlicht → 141, 180, 248ff., 257ff., 290ff.,
Oberlichtband → 328ff.
Ornamente → 44f.
Ornamentglas → 62

Passive Nutzung → 149
Pendellager → 169
Pendelschlagversuch → 67,102
Pfosten-Riegel-Fassade → 184ff., 236ff., 249ff., 285ff.
Brüstung → 188f.
Deckenanschluss → 192f.
diagonale Pfosten-Riegel-Fassade → 202ff.
Flachdachanschluss → 184f.
Fußpunkt → 194f.
Geschossdeckenanschluss → 186f.
Sockel → 196f.
Fassadenvor- und -rücksprünge → 190f.
zweischalige Pfosten-Riegel-Fassade → 302ff.
Pfosten-Riegel-Konstruktion → 112, 166f., 182f., 218ff., 269ff.
Photovoltaik PV-Module → 79, 159, 232
Polymethylmethacrylat (PMMA) → 115
Postmoderne → 33
Pressleiste → 93f., 96, 164, 215ff.
Pressleistenverglasung Öffnungsmöglichkeiten → 182
Primärversiegelung → 98
Prismenglas → 12
Profilbauglas → 63, 109, 174, 248ff., 257ff.
Punkthalter → 93f., 110, 170, 260ff.
Punkthalter mit Gelenk → 171, 322ff., 325ff.
Punkthalterung → 52ff.
Punktlagerung → 97
PVB (Polyvinyl-Butyral) → 94, 107
PVB-Folie → 69f., 101, 136ff.

Rahmen → 130f.
Randbereich → 128f.
Randverbund → 71ff., 103, 124, 128ff., 131, 147, 164, 166
Randverbundsysteme → 72
Butylrandverbund → 72
Ganzglasrandverbund → 72
Rasterfassade → 36
Reflexion → 42, 75f., 121f.
Reibung → 93
Reinigung und Wartung → 89
Resttragfähigkeit → 101ff.
Rezyklierbarkeit → 93
Risswachstum → 91
Ritzhärte (Mohs) → 60
RWA-Anlagen → 181
R-Wert → 122

Safe-Life-Concept → 100
Sandstrahlmattierung → 65
Schalen Gitterschalen → 113f.
Schalenkonstruktion → 55, 39, 110, 113
Schalldämmung → 73f.
Schallschutzglas → 73
Scheibenwaschanlage → 325ff.
Scheibenzwischenraum (SZR) → 71, 103, 108, 155ff.
Folien im SZR → 79
Photovoltaikmodule/-elemente im SZR → 79
Sonnenschutz im SZR → 79, 155ff.
Schrägaufzug verglast → 317ff.
Schrägverglasung → 81f., 88, 294
Schubsteifigkeit → 107
Schubverbund → 99
Seilbinder → 112f.
Seile → 112
Seilfassaden → 115ff.
Seilnetze → 115ff.
Seilnetzkonstruktion → 55, 117, 168, 338f.
Seilnetzwände → 116
Seitenlicht → 141
Sekundärabstrahlung → 121
Sekundärdichtung → 98
sekundärer Wärmeabgabegrad → 121
Selektivität → 120, 139
Selektivkennzahl → 121
SentryGlas Plus Interlayer → 101,108
Shore-A-Härte → 87,109
Sicherheitsglas
ESG → 66f., 92, 100
VSG → 69f., 91, 94, 101, 107
Siebdruckverfahren → 40, 45
solare Gewinne → 132, 136
Solarkamin → 157
Solarkonstante → 120
Solarnutzung → 149
Solarstrahlung → 133ff.
Solarzellen → 159
Sol-Gel-Verfahren → 64f.
Sonnenbahndiagramm → 135
Sonnenkollektor → 157ff.
Sonnenlaufbahn134
Sonnenschutz 76ff., 122, 138
geometrischer Sonnenschutz → 138
Sonnenschutz Glaselemente → 298ff.
Sonnenschutz Glaslamellen → 302ff.
Sonnenschutz im SZR → 79,155ff.
selektiver Sonnenschutz → 138
statischer Sonnenschutz → 143
strahlungsverdünnender Sonnenschutz → 138
Sonnenschutzbeschichtung → 311ff.
Sonnenschutzglas → 36, 77f., 121, 126, 308ff.
Sonnenschutzposition → 78f., 138
Sonnenspektrum → 121
Spannungsverteilung → 92
Speichenräder → 115
spezifische Wärmekapazität → 123
Spiegel → 13
Spiegelglas → 91, 100
Splitterbindung → 107
Stabilitätsversagen → 106
Stöße rahmenlose → 73
Stoßfugen → 87
Strahlung → 75, 119f., 134f.
Diffusstrahlung → 134f.
Direktstrahlung → 134
Globalstrahlung → 119, 134f.
Infrarotstrahlung → 75,119
sichtbare Strahlung → 75, 119
UV-Strahlung → 75, 119
Wärmestrahlung → 119f.
Strahlungsabsorption → 76
Strahlungsanteil → 73
Strahlungsaustausch → 123
Strahlungsbilanz → 121, 126
Strahlungsleitwert → 123
Strahlungsphysikalische Größen → 75
Strahlungsreflexion → 75f.
Strahlungsspektrum → 119
Strahlungssumme → 135
Strahlungstransmission → 76, 120
Strahlungstransmissionsgrad → 120
Strahlungsverlust → 124
Streck-Trans-Flächen → 114
Structural Sealant Glazing (SSG) → 33, 52, 85, 88, 94, 166f.
Structural-Sealant-Glazing-Fassaden → 167
Öffnungsmöglichkeiten → 183
Structural-Sealant-Glazing-Systeme → 167, 278ff.
Superglazing → 128f.

Tageslicht → 139ff., 145
Tageslichtnutzung → 141,144
Tageslichtquotient → 140
Tageslichttransmission → 120
Taupunkt-Nomogramm → 146
teilvorgespanntes Glas (TVG) → 68, 92, 100
Temperaturwechselbeständigkeit → 61
Tragwerke → 104ff., 111
arbeitsteilige Systeme → 104
hierarchische Systeme → 104
Primärtragwerk → 117
redundante Systeme → 104
Translationsflächen → 114
Transluzenz → 30, 42
Transmission → 119ff.,123
transparente Wärmedämmung (TWD) → 84
Transparenz → 30, 36, 119
TRAV → 102
Treibhauseffekt → 121
TRLV → 99ff., 103
Trombewand → 148
TRPV → 99ff.
Türen → 83
Glasdrehtür → 280f.
Glasschiebetür → 262f.,279

Überkopfverglasung → 100ff., 179ff., 308ff.
Unterkonstruktion → 111
UV-Transmissionsgrad → 120
U-Wert → 72f., 123, 129,131
effektiver U-Wert → 132

Vakuum-Röhren-Kollektor → 158
Vakuumverglasung → 127
Verbund stofflicher → 94
Verbundglas (VG) → 50, 68f., 94, 107
Verbundsicherheitsglas (VSG) → 69f., 91, 94, 101, 107
Verdampfung → 64
Verglasungen → 95ff.
absturzsichernde Verglasung → 102f.
begehbare Verglasung → 82, 103
betretbare Verglasung → 82, 103
durchbruchhemmende Verglasung → 70, 103
durchschusshemmende Verglasung → 70f., 103, 265ff.
durchwurfhemmende Verglasung → 70, 103
einbruchhemmende Verglasung → 270f.
elektrochrome Verglasung → 139ff.
elektrotrope Verglasung → 139
hängende Verglasung → 52ff.
Lagerung → 109
rahmenlose hängende Verglasung → 328ff.
rahmenlose Verglasung → 169
rautenförmige Verglasung → 202ff.
sprengwirkungshemmende Verglasung → 71
Verglasungshinweise → 86ff.
Verkittung → 95
Verklotzung → 87
Distanzklötze → 109
Halte- und Distanzklötze → 93
Klotzung → 109
Tragklötze → 109
Verrautung(»wracking«) → 116
Verschattungskoeffizient → 121, 139
Vertikalseilfassaden verglast → 117f.
Vertikalverglasung → 100ff.,111
Verwindung (»warping«) → 116
Vierpunktverbinder → 54, 328ff.
Vorhangfassade → 22, 32, 50f.
Vorspannkraft → 117
Vorspannung → 92
chemische Vorspannung → 68f.,92
thermische Vorspannung → 65f.,92

Waldglashütte → 10
Walzglasverfahren → 13
Wärmeabgabegrad sekundärer → 121
Wärmebrückenkoeffizient → 129
Wärmedämmung → 72f., 123ff.
lineare Wärmedämmung → 72
transparente/transluzente Wärmedämmung (TWD) → 84, 143, 149f.
Wärmedehnung123
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) → 72f., 123, 129,131
äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient → 124,132
Wärmedurchlasskoeffizient → 123f.
linearer Wärmedurchlasskoeffizient → 130
Wärmeenergiebilanz → 147
Wärmekapazität spezifische → 123
Wärmeleitfähigkeit → 122f.
Wärmeleitung → 73
Wärmeschutz mit Glas → 146ff.
Wärmeschutz
sommerlicher Wärmeschutz → 137
temporärer Wärmeschutz → 147
Wärmeschutzbeschichtung → 77, 125, 311ff.
Wärmeschutzglas → 36, 76, 125, 130, 255f., 258f., 296f., 302ff.
Wärmeschutznachweis → 137
Wärmestrahlung → 119f.
Wärmetransport → 124
Wärmeübergang → 73, 123
Wärmeübergangskoeffizient → 123
»warm edge« → 129
Wasserkollektor → 158f.
Wiegmann-Polonceau-System → 18
Windnadeln (Spreizen) → 112f.
Wolkenkratzer → 33

Zuluftfassade → 153
Zustimmung im Einzelfall (ZiE) → 85, 101f., 171
Zylinderstreckverfahren → 10ff., 60

Personenregister

Abt Suger → 13
Adjaye (David) Associates → 41, 236ff.
ADP → 106
Agricola, Georgius → 11
Allmann Sattler Wappner → 252f., 320f.
Alsop, Will → 40f.
Alsop & Störmer → 118
Amann & Gittel → 257ff.
Ando (Tadao) Architect & Associates → 218ff.
Anin, Jeromin, Fitilidis & Partner → 155
Arets, Wiel → 44
Arup (Ove) & Partners → 278ff., 282ff.
Arup Associates → 236ff.
Arup → 47, 105, 153, 239ff., 265ff.
Auer + Weber + Partner → 154
Auer, Weber & Partner → 155

Badger, Daniel → 19
Bartenbach, Christian → 269ff.
Baumschlager & Eberle → 155, 234f., 254ff.
Behnisch, Günter → 38, 40
Behnisch & Partner → 269ff., 274ff., 302ff.
Behnisch und Partner → 115, 157
Behnisch, Behnisch und Partner → 126
Bélanger, François Joseph → 17
Belluschi, Pietro → 32
Bembé + Dellinger → 227ff.
Benedictus, Edouard → 50
Benthem und Crouwel → 56
Benyon, Bage & Marshall → 19
Berger, Patrick → 113
Bernard, Henri → 53
Bicheroux, Max → 11f.
Bijvoet, Bernard → 28f.
Blondel, Henri → 17
Bogardus, James → 19
Bohlin Cywinski Jackson → 102f.
Boileau, Louis-Auguste → 17
Brinkmann, Johannes Andreas → 28f.
Brunel, Isambard Kingdom → 18
Brunet & Saunier → 57, 98
Brunet, François → 17
Burgee, John → 33
Buro Happold → 39, 55, 115
Burton, Decimus → 19

Carpenter, James → 42, 105
Cattani (Emmanuel) & Associés → 278ff.
Chaix Morel & Partner → 285ff.
Chareau, Pierre → 12, 28f., 30, 44
Chedanne, Georges → 21
Colburn, Irving → 12
Cornette, Benoît → 54

Danz, Robert → 108f.,322ff.
Decq, Odile → 54
Delta-X → 108, 322ff.
Design Antenna → 57, 308ff.
Dewhurst, Laurence → 56
Dewhurst Macfarlane and Partners → 102, 106, 308ff.
Di Blasi (Ottavio) Associates → 210f.
Diderot → 11
Digby, Matthew → 18
Duiker, Johannes → 28
Durth, Werner → 274ff.

Eames, Charles und Ray → 35
Eiermann, Egon → 28
Eiffel, Gustave → 17
Epstein, Glaiman et Vidal → 54, 113

Fainsilber, Adrien → 54, 116f.
Falconnier, Gustave → 12
Feichtinger, Dietmar → 116
Fink + Jocher → 46, 215ff.
Foster Associates → 52
Foster, Norman → 33, 48, 52ff.
Foster (Norman) & Partners → 155
Foster and Partners → 38f., 55, 105, 115, 208f., 333ff.
Fourcault, Emile → 12

Gagnebloc, O. → 153
Gebrüder Chance → 12
Giedion, Sigfried → 26
gmp (von Gerkan Marg & Partner) → 39, 55, 113, 115, 325ff., 340ff.
Grimshaw (Nicholas) and Partners → 328ff.
Gropius, Walter → 22, 30f.
Gruen, Victor → 33
Guimard, Hector → 12

Hahn, Otto → 52
Hardouin-Mansart, Jules → 13
Harrison und Abramovitz → 50
Hascher Jehle Architektur → 311ff.
Heikkinen Komonen → 260ff.
Heikkinen, Mikko → 260ff.
Henn, Gunter → 36, 38
Herzog & de Meuron → 43f., 202ff., 224ff.
Herzog, Thomas → 46
Hunt (Anthony) Associates → 208f., 328ff.
Hyatt, Thaddeus → 12

Ibos & Vitart → 214ff.
Ibos, Jean-Marc → 314ff.
ILEK → 94, 97, 110f.
Ingenhoven Overdiek Kahlen und Partner → 290ff.
Ingenhoven Overdiek und Partner → 118
Ito, Toyo → 37

Jacobsen, Arne → 50
Jahn, Helmut → 55, 117
Johnson, Philip → 33f.
Jourdain, Frantz → 17

Kauffmann Theilig & Partner → 116, 154, 157, 296f.
Kepplers, Friedrich → 12
Kollhoff, Hans → 212f.
Komonen, Markku → 260ff.
Koolhaas, Rem → 38, 265ff.
Kraaijvanger Urbis → 306f.
Krier, Rob → 46

Lamm Weber Donath → 116, 338f.
Le Corbusier → 12, 26ff.
Lebrun, Charles → 13
Lehmbruck, Manfred → 53
Leonhardt und Andrä → 115
lichtblau.wagner → 245ff.
Loudon, John Claudius → 18
LTK → 113, 115
Lubbers, John H. → 12
Ludwig und Weiler → 111

Macary, Michel → 39
Macfarlane, Tim → 56f.
Mahler Günster Fuchs → 242ff.
Meyer, Adolf → 22
Meyer, Alfred Gotthold → 19, 21
Michel & Wolf → 155
Moneo, Rafael → 43f.
Murphy/Jahn → 48, 106, 113, 116

Neumann, Balthasar → 13
Neutra, Richard → 35
Nouvel, Jean → 41, 43, 45, 278f.

Obata (Hellmuth) and Kassabaum → 46f.
OMA Office for Metropolitan Architecture → 265ff.
Otto, Bettina → 115
Otto, Frei → 46, 115
Owens Illinois Glass Corporation → 12

Paxton, Joseph → 18f.
Pelli, Cesar → 33
Pei, Ieoh Ming → 36f., 39, 48f.
Pei (Ieoh Ming) Cobb Freed and Partners → 48
Perrault, Dominique → 36ff.
Perret, Auguste → 12
Perrot, Bernard → 11
Petzinka Pink & Partner → 155
Pfefferkorn Ingenieure → 274ff.
Piano, Renzo → 44, 47
Piano (Renzo) Building Workshop → 298ff., 317ff.
Pilkington, Alastair → 12, 50
Pittsburgh Plate Glass Company → 12
Polónyi + Partner → 325ff.
Postel, Dirk Jan → 306f.

Rapp, Christian → 212f.
Rice Francis Ritchie (RFR) → 39, 54f., 106, 110f., 113, 116, 282ff.
Rice, Peter → 117
Richard Rogers Partnership → 282ff.
Rietveld, Gerrit → 23ff.
Ritchie, Ian → 325ff.
RKW → 157
Rogers, Richard → 33, 43

Saarinen, Eero → 50
Sauerbruch Hutton → 40, 46, 239ff.
Scheerbart, Paul → 24f., 33
Schlaich Bergermann & Partner → 55, 113, 115f., 269ff., 340ff.
Schlaich, Jörg → 39, 55, 113, 115
Schmitz, Peter → 139
schneider+schumacher → 47, 248ff.
Schober, Hans → 39, 113
Schulitz & Partner → 111
Schumacher, Fritz → 55
Sejima (Kazuyo) & Associates → 221ff.
Siemens, Friedrich → 12
Skidmore Owings and Merill (SOM) → 32, 50
Sobek und Rieger → 338f.
Sobek (Werner) Ingenieure → 106, 113, 115f., 118, 252f., 311ff.
Sobek, Werner → 230ff.
Stam, Mart → 28f.
Steiff, Richard → 22
Šuchov, Vladimir → 114f.
Sullivan, Louis Henry → 21

Takenaka Corporation → 202ff.
Taut, Bruno → 12, 42, 16, 24
Transsolar Energietechnik → 46, 48, 230ff., 274ff., 296f.
Turner, Richard → 19

Van der Rohe, Ludwig Mies → 22ff., 30f., 34, 56
van der Vlugt, Leendert Cornelius → 28f.
van Doesburg, Theo → 22
Van Osdel, John M. → 19
Viñoly, Rafael → 106
von Gerkan, Meinhard → 39
von Gerkan Marg & Partner (gmp) → 39, 55, 113, 115, 325ff., 340ff.

Webler + Geissler → 47
Wright, Frank Lloyd → 16, 22ff.

Zumthor, Peter → 43, 201

Abbildungsnachweis

Allen, die durch Überlassung ihrer Bildvorlagen, durch Erteilung von Reproduktionserlaubnis und durch Auskünfte am Zustandekommen dieses Werkes mitgeholfen haben, sagen die Autoren und der Herausgeber aufrichtigen Dank. Sämtliche Zeichnungen in diesem Werk sind eigens angefertigt. Fotos, zu denen kein Fotograf genannt ist, stammen aus dem Archiv der Architekten, die im Personenregister genannt sind oder aus dem Archiv der Zeitschrift DETAIL. Trotz intensiven Bemühens konnten wir einige Urheber der Abbildungen nicht ermitteln, die Urheberrechte sind jedoch gewahrt. Wir bitten in diesen Fällen um entsprechende Nachricht. Die Zahlen beziehen sich auf die Abbildungsnummern (Buchteile 1 und 2) bzw. die Seitenzahlen (Buchteile 3 und 4).

Von Fotografen und aus Bildarchiven

Aaron, Peter/Esto, Mamaroneck: 2.2.36
Akademie der Künste, Berlin: 1.1.45
Archiv Herzog, München: 1.2.47
Archiv Institut für leichte Flächentragwerke, Stuttgart: 2.2.1
Art Institute of Chicago/TheHilbersheimer Collection, Stiftung George Danforth: 1.2.62
Asin, Luis, Madrid: 1.2.25
av Studios GmbH, Stuttgart: S. 219 unten
Bednorz, Achim, Köln: 1.1.27
Berengo Gardin, Gianni, Mailand: S. 210, S. 211 links, S. 211 rechts
Bergeret, Gaston, Saint-Mandé: 2.2.42
Bitter/Bredt, Berlin: S. 239, S. 240 oben, S. 241
Bonfig, Peter, München: S. 215, S. 216, S. 217
Braun, Zooey/artur: Stuttgart: 1.2.51
Bredt, Marcus, Berlin: 1.2.22
Bryant, Richard/Arcaid, Surrey: S. 284
Bürger, Michael, Berlin: S. 276 unten
Carpenter, James Design Associates, New York: 1.2.32, 1.2.33
Charles, Martin, Isleworth: 1.2.36
Chicester, England: 2.3.104, 2.3.105
Compagno, Andrea, Zürich: 1.2.69
Cook, Peter/View, London: S.191
Coyne, Roderick, London: 01.02.2026
Feirabend, Steffen, Remshalden: 2.2.11, 2.2.63
Fotoarchiv Hirmer Verlag, München: 1.1.7
Demailly, Serge, Saint Cyr sur Mer (F): 1.1.01
Dénancé, Michel, Paris: 1.2.15, 1.2.40, S. 300, S. 301 links, S. 301 rechts
Douglas, Lyndon, London: S. 236, S. 238
Drexel, Thomas, Friedberg: S. 229
Dyer, Michael, London: S. 328
EGE Architekturfotografie, Luzern: S. 172
Engel, Gerrit, Berlin: 1.2.29
Esch, H.G., Hennef: 2.2.82, 2.2.86, 2.2.87, 2.3.128, S. 161, S. 306, S. 307, S. 325, S. 326, S. 340, S. 341 unten
Fessy, George, Paris: 1.2.73, S.167, S. 314, S. 315 oben, S. 315 unten, S. 316
Firma DYESOL, Queanbeyan/Australia: 2.3.140
Firma Seufert-Niklaus: S. 179 links, S.179 rechts, S. 181 unten
Firma Sunways AG, Konstanz: 2.3.138, 2.3.139.1, 2.3.139.2, 2.3.139.3, 2.3.139.4, 2.3.139.5, 2.3.139.6
Fregoso & Basalto, Genua: S. 317, S. 319 oben, S. 319 unten
Fogg Art Museum, Harward University Art Museum, Camebridge, Massachusetts: 1.1.18
Fondation Beyeler, Basel: S. 298, S. 299
Frahm, Klaus/Contur, Köln: 1.1.39, 2.2.73, S. 327
Gilbert, Denis/view, London: 1.2.1, 1.2.65, 1.2.66, 1.2.72 S. 208, S. 209 oben links, S. 209 unten, S. 308, S. 309
Gonzalez, Brigida, Stuttgart: S. 312
Gordon, J.E., University of Reading, England: 2.2.2
Goustard, Alain/Archipress: 2.2.85
Graefe, Rainer: 2.2.72
Hagen, Gerhard, Bamber: S. 254 oben, S. 254 unten
Halbe, Roland/Contur, Köln: 1.2.41, 2.3.125, S. 230, S. 231 oben, S. 231 unten, S. 233, S. 311, S. 313
Heinrich, Michael, München: 1.2.49
Hempel, Jörg, Aachen: 1.2.50, S. 248, S. 249, S. 250 oben, S. 250 unten, S. 251
Helfenstein, Heinrich, Adlinswil (CH): S. 176
Hevia, José, Barcelona: S. 267
Hueber, Eduard, New York: S.234, S. 235
Hurnaus, Herta, Wien: S. 277
Hutmacher, Werner, Wien: S. 274, S. 275, S. 276 oben
ift- Rosenheim GmbH: 2.2.31
Kaltenbac, Frank, München: 1.2.17, 1.2.46, S. 256, S. 257, S. 258, S. 259, S. 265, S. 266, S. 268 unten
Kandzia, Christia, Stuttgart: 1.2.30, 2.2.76, S. 185, S. 270 oben, S. 270 unten, S. 271,S. 273 links, S. 273 rechts, S. 303
Kaser, Ben: 2.2.77
Kaunat, Angelo, Graz: S. 320, S. 321 links
Keller, Andreas/artur, Altdorf: 2.2.65, 2.2.78, 2.2.88
Kik, Friedemann, Stuttgart: 2.3.12
Kirkwood, Ken, Northamptonshire: 1.2.61
Kinold, Klaus, München: 1.1.46, 1.2.34, S. 189, S. 201, S. 219 oben
Klomfar, Bruno, Köln: S. 246, S. 247 mitte, S. 247 unten
Knau, Holger, Düsseldorf: S. 290, S. 291 links, S. 291 rechts, S. 293, S. 294 oben,S. 294 unten, S. 295
Koppelkamm, Stefan, Berlin: 1.1.20
Krewinkel, Heinz W., Böblingen: 2.2.49, S. 323
Kutterer, Mathias, Stuttgart: 2.2.54, 2.2.55, 2.2.56, 2.2.64, 2.2.81
Lenzen, Steffi, München: S. 163
Linden, John Edward, Los Angeles: S. 332 unten
Mc Grath, Norman, New York: 1.2.5
Müller-Naumann, Stefan, München: S. 227, S. 228, S. 321 rechts
Nacása & Partners Inc., Tokio: S. 204, S. 205 oben, S. 205 unten, S. 207
Nederlands Architectuurinstituut, Amsterdam: 1.1.50, 1.1.51
Neuhart, Andrew, El Segundo/Kalifornien: 1.2.14
Nitschke, Günter: 1.1.17
Ouwerkerk, Erik-Jan, Berlin: S. 212, S. 213, S. 214
Passoth, Jens, Berlin: S. 252, S. 253
Reichel-Vossen, Johanna, München: 2.3.119
Reid, Jo & Peck, John, Newport: S. 329
Richter, Ralph/Architektuphoto, Düsseldorf: S. 296 unten, S. 297
Richters, Christian, Münster: S. 170 links, S.197, S. 202, S. 203, S. 242, S. 243, S. 268 oben, S. 285, S. 287 unten, S. 298
Riehle, Thomas/Contur, Köln: 2.3.120
Rocheleau, Paul/Freeman Michael: 1.2.11, 1.2.12
Roth, Lukas, Köln: S. 278, S. 281
Ruault, Philippe, Nantes: S. 182, S. 279 unten
Sakaguchi/a to, Hiro, Tokio: 1.2.21
Schittich, Christian, München: 1.1.10, 1.1.11, 1.1.16, 1.1.21, 1.1.22, 1.1.30, 1.1.31, 1.1.41, 1.1.49, 1.2.7, 1.2.8, 1.2.9, 1.2.27, 1.2.31, 1.2.37, 1.2.39, 1.2.42, 1.2.43, 1.2.52, 1.2.53, S. 59, 1.2.67, 1.2.68, S. 170 rechts, S.199, S. 206, S. 209 oben rechts, S. 218, S. 220, S. 222 oben, S. 224, S. 240 unten, S. 268 Mitte, S. 272, S. 279 oben, S. 282, S. 283, S. 287 oben, S. 289 links, S. 289 rechts, S. 296 oben, S. 322, S. 324, S. 330 oben, S. 330 unten, S. 331, S. 332 oben, S. 334, S. 335 oben, S. 335 unten
Schodder, Martin, Stuttgart: S. 302, S. 304
Schuller, Matthias, Stuttgart: 2.3.84, 2.3.85,2.3.103
Schuster, Oliver, Stuttgart für Firma Glasbau Hahn: S. 181 oben
Shinkenshiku-sha, Tokio: S. 222 unten, S. 223 oben, S. 223 unten
Spiluttini, Margherita, Wien: S. 225 oben, S. 245, S. 247 oben
Suzuki, Hiako, Barcelona: 1.2.28, 2.2.41, S. 280
Staatliche Gallerie Moritzburg, Halle, Landeskunstmuseum Sachsen - Anhalt, Sammlung Photographie, Hans Finsler Nachlass: 1.1.48
Staib, Gerald, Stuttgart: 1.1.12,1.1.34
Stoller, Ezra/ESTO: New York: 1.2.57
Tiainen, Jussi, Helsinki: S. 260, S. 263 oben, S. 263 unten, S. 264
VEGLA-Bildarchiv, Alsdorf: 2.3.60
Voitenberg, G. und E. von, München: 1.1.1
Walser, Peter, Stutttgart: 1.1.8
Wessely, Heide, München: 1.2.23, S. 237 oben, S. 237 unten
Young, Nigel, London: 2.2.69, S. 336, S. 337, S. 341 oben

Aus Büchern und Zeitschriften

Ackermann, Marion; Neumann Dietrich, Leuchtende Bauten: Architektur der Nacht, Ostfildern 2006, S. 131: 1.2.45
Arne Jacobsen, in: 2G, 1997/IV, Revista Internacional de Arquitectura, Barcelona, S. 54: 1.2.54, 1.2.55
Benevolo, Leonardo, Die Geschichte der Stadt, Frankfurt/New York 1983, S. 762: 1.1.13
Companie de Saint-Gobain (Hrsg.), Companie de Saint-Gobain, Paris 1665–1965, Paris 1965: 1.1.5
Daidalos, Nr. 66, 1997, S. 85: 1.1.26
Elliott, Cecile D., Technics and Architecture, The development of Materials and Systems for Buildings, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992, S. 114: 1.1.3
Ford, Edward R., Details of Modern Architecture, Camebridge Massachusetts 1990, S. 342: 1.1.35
Frank Lloyd Wright Monograph 1924–1936, Tokio 1985, S. 278: 1.1.37
GLAS, 04/2002, S. 50: 2.2.31
Ghirardo, Diane, SOM journal 4, Ostfildern 2006, S. 148: 1.2.6
HENN Architekten, Die gläserne Manufaktur, Hamburg 2003, S. 36: 1.2.20
Hennig-Schefold, Monica; Schmidt - Thomsen, Helga, Transparenz und Masse, Passagen und Hallen aus Eisen und Glas 1800–1880, Köln 1972, S. 56: S. 9
Klotz, Heinrich, Von der Urhütte zum Wolkenkratzer, München 1991, S. 20: 1.1.24
Mies van der Rohe, Vorbild und Vermächtnis, DAM Frankfurt/Main, Stuttgart 1986, S. 88/7, S. 86/2, S. 36/1: 1.1.38, 1.1.40,1.1.44
Riley, Terence; Reed, Peter, Frank lloyd Wright, Architect, New York 1994, S. 235, S. 134: 1.1.32, 1.1.33
Singer, Charles; Holmyard, E.J., A History of Technology, Volume III, Oxford 1957, S.209: 1.1.2
Sumi, Christian, Immeuble Clatré 1932, Zürich 1989, S. 36: 1.1.47
Taut, Bruno, Die neue Baukunst in Europa und Amerika, Stuttgert o.J., S. 25: 1.1.43
Taylor, Brian Brace, Pierre Chareau, Köln, 1998, S. 110: 1.2.38
Vöckers, Otto, Glas und Fenster, Berlin 1939: 1.1.6, 1.1.14, 1.1.15
Yoshida, Tetsuro, Das japanische Wohnhaus, Berlin 1935, S. 118, 1.1.16

Ganzseitige Bildtafeln

Seite 9	Kuppel Bourse de Commerce, Paris 1811, Henri Bondel
Seite 59	Lehrter Bahnhof, Berlin 2006, gmp
Seite 161	Neue Messe, Leipzig 1996, gmp
Seite 201	Kunsthaus Bregenz 1997, Peter Zumthor

Die Autoren und der Herausgeber danken den nachfolgend genannten Herstellern und Firmen für die Bereitstellung von Informationen und Zeichnungsunterlagen

für die Ausgabe 1998:
BGT Bischoff Glastechnik, Bretten
Bouwmag GmbH, Düsseldorf
BSP Silikonprofile GmbH, Wiesbaden
Eduard Hueck GmbH & Co.KG, Lüdenscheid
EuroLam GmbH, Weimar
Fenster Werner fw Fassadensysteme, Darmstadt
Flachglas AG, Gelsenkirchen
Geilinger Tür- und Fenstersysteme AG, Winterthur, Schweiz
Glas Marte GmbH & CoKG, Bregenz
Glasbau Hahn, Frankfurt/Main
Götz GmbH, Würzburg
Hartmann & Co., München
Helmut Fischer GmbH, Thalheim
Hermann Forster AG, Arbon, Schweiz
Hutchinson Industrie-Produkte GmbH, Mannheim
Interpane Glas Industrie AG, Lauenförde
Josef Gartner & Co., Gundelfingen
L. B. Profile GmbH, Herbstein
MBM Metallbau Möckmühl GmbH, Möckmühl
MERK-Holzbau GmbH & Co., Aichach
Oberland Glas AG, Wirges
PHP-Glastec-Systeme, Landsberg am Lech
Riesterer Metallbau GmbH, Weil am Rhein
Rodan Danz GmbH, Schönaich
Sälzle GmbH & Co.KG, Illertissen
Schüco International KG, Wertingen
Seufert-Niklaus GmbH, Bastheim
STABA Wuppermann GmbH, Leverkusen
Trube & Kings Metallbaugesellschaft mbH, Uersfeld
VEGLA Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen
Weck GmbH & Co., Wehr

für die überarbeitete Ausgabe 2006:
fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG; Waldachtal
Freisinger Fensterbau GmbH, Ebbs (A)
Internorm-Fenster GmbH, Regensburg
Karl Gold Werkzeugfabrik GmbH, Oberkochen
Pilkington Bauglasindustrie GmbH, Schmelz/Saar
SCHÜCO International KG, Bielefeld
Seufert-Niklaus GmbH, Bastheim
VELUX Deutschland GmbH, Hamburg

Für Anregungen und Ratschläge zum Buchteil 3 »Konstruktionen im Detail« danken die Autoren und der Herausgeber

für die Ausgabe 1998:
Dipl.-Ing. Gerhard Häberle/Ingenieurbüro Brecht, Stuttgart
Prof. Hans-Busso von Busse, München
Dipl. Arch. Andrea Compagno, Zürich
Dipl.-Ing. Dietrich Fink, München
Dr. Winfried Heusler/Fa. Gartner, Gundelfingen
Dipl.-Ing. Lutz Liebold, Remshalden-Grunbach
Prof. Eberhard Schunck, München
Dipl.-Ing. Peter Seger, Stuttgart

für die überarbeitete Ausgabe 2006:
Dr.-Ing. Werner Lang, München
Dipl.-Ing. Michael Rückert/Gerhard Weber & Partner GmbH, IFP Integrale Fassaden-Planung, Argenbühl
Dr.-Ing. Holger Techen, Darmstadt
Dipl.-Ing. Gerhard Weber, Argenbühl

Aus der Arbeit des Instituts für internationale Architektur-Dokumentation

Dach Atlas neu überarbeitete und aktualisierte Auflage 2002
Eberhard Schunck • Hans-Jochen Oster • Rainer Barthel • Kurt Kießl
448 Seiten mit über 1800 Zeichnungen sowie ca. 100 Farb- und 120 s/w-Fotos

Beton Atlas Entwerfen mit Stahlbeton im Hochbau
überarbeitete und erweiterte 2. Auflage 2001
Gemeinsam mit dem Beton-Verlag, Düsseldorf
Friedrich Kind-Barkauskas • Bruno Kauhsen
Stefan Polónyi • Jörg Brandt
272 Seiten mit zahlreichen Zeichnungen und Fotos

Mauerwerk Atlas Neufassung 2001
Günter Pfeifer • Rolf Ramcke • Joachim Achtziger • Konrad Zilch
382 Seiten mit ca. 800 Zeichnungen und ca. 220 Fotos

Stahlbau Atlas Neufassung 1999
Helmut C. Schulitz • Werner Sobek • Karl J. Habermann
404 Seiten mit zahlreichen Zeichnungen und Fotos

Atlas Flache Dächer Nutzbare Flächen
Durchgesehener Nachdruck der ersten Auflage 1994
Hans-Busso von Busse • Nils Valerian Waubke •
Rudolf Grimme • Jürgen Mertins
272 Seiten mit mehr als 1000 Zeichnungen und Fotos

Holzbau Atlas völlig überarbeitete Neuauflage 2003
Julius Natterer • Wolfgang Winter • Thomas Herzog •
Roland Schweitzer • Michael Volz
376 Seiten mit ca. 4000 Zeichnungen, 32 Farbtafeln
und zahlreichen Farbabbildungen

Fassaden Atlas Neufassung 2004
Thomas Herzog • Roland Krippner • Werner Lang
320 Seiten mit über 100 Konstruktionsbeispielen, mehr
als 250 Detailzeichnungen und zahlreichen Farbabbildungen

Baustoff Atlas Neufassung 2005
Manfred Hegger • Volker Auch-Schwelk • Matthias Fuchs • Thorsten Rosenkranz
280 Seiten mit mehr als 150 Grafiken und Tabellen, über 200 Detailzeichnungen
und ca. 500 Farbabbildungen

Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München
D-80331 München • Telefon 089/381620-0 • Telefax 089/39 86 70