Glas als konstruktives Bauelement

Studienarbeit

Vertiefungsfach Tragwerkslehre II

WS / SS 1999/2000

Verfasser:

Sandra Hoffmann

XXX

Inhalt

1. Warum Glas?

1.1. Eigenschaften von Glas
1.1.1. Festigkeit
1.1.2. Temperaturbeständigkeit
1.1.3. Beständigkeit

1.2. Behandeln von Glas/ Glasprodukte
1.2.1. Vorspannen
1.2.2. Verbund/Laminatglas

1.3. Bruchbilder

2. Geschichte

3. Glas als Sekundärtragelement

3.1. Kittverglasung
3.2. Glashalteleisten
3.3. Preßleistenverglasung
3.4. Structural glazing
3.5. Hängende Verglasung
3.6. Punktförmige Auflagerung
3.7. Gebohrte punktförmige Auflagerung

4. Tragwerksformen und Beispiele für Glas als Sekundärtragelement

4.1. Pfosten-Riegel-Konstruktion
4.2. Fachwerkskonstruktionen
4.3. Rahmen und Bogen
4.5. Tonne und Kuppel
4.6. Ebene Seilnetze
4.7. Räumliche Seilnetze
4.8. Sonstige Konstruktionen

5. Glas als Primärtragelement

5.1. Selbsttragende Primärtragelemente
5.2. Aussteifende Glaselemente
5.3. Systemlasten übernehmende Glaselemente, Glastragwerke
5.3.1. Balken
5.3.2. Stäbe und Stützen
5.3.3. Scheiben / Platten
5.3.4. Sandwiches

6. Beispiele für Ganzglaskonstruktionen

7. Bemessung von Glaskonstruktionen

7.1. Bemessung nach zulässigen Spannungen
7.2. Bemessung nach Bruchwahrscheinlichkeiten
7.3. Bemessung nach Grenzzuständen

8. Anwendungsbedingungen für Glaskonstruktionen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN – FAKULTÄT FÜR ARCHITEKTUR – LEHRSTUHL FÜR HOCHBAUSTATIK UND TRAGWERKSPLANUNG
PROF. DR.-ING. RAINER BARTHEL

1. Warum Glas?

In der geschichtlichen Entwicklung wichtigster Grund für die Verwendung von Glas an Bauwerken ist dessen Transparenz. Räume werden seit dem Einsatz von Glasfenstern nicht nur belichtet sondern auch vor Wetter geschützt. Die Räume öffnen sich zur Natur, die Trennung von Innen-und Aussenraum verschwimmt. Brent Richards geht noch weiter und erklärt, daß Glas die „sinnlichen Qualitäten von Gebäuden und Raum, die unser Verhältnis zur Natur verdeutlichen und unsere tiefsten Empfindungen berühren“, erfahrbar macht. (I-310) Glas kann also zur Schaffung einer menschenfreundlichen Umgebung eingesetzt werden, wie Garry Colligan es fordert. (I-316)

Glas besteht überwiegend aus Quarzsand, der auf der Erde in unerschöpflichen Mengen vorhanden ist. Deshalb wird Glas auch als „ökologisch“ (Dominique Perrault, I-318) oder als „das umweltverträglichste Material dieser Erde“ (Mike Davies, I-317) bezeichnet. Es wird bei seiner Herstellung (heute) relativ wenig Energie verbraucht und es ist leicht zu recyceln. Außerdem verhält es sich in der Natur vollkommen neutral und ist ungiftig. (C-289)

1.1. Eigenschaften von Glas

Für Architekten ein immer wichtiger werdender Grund für den Einsatz von Glas ist dessen Variantenreichtum verschiedener Eigenschaften und somit großer Gestaltungsspielraum. Durch Beschichten und Behandeln der Glasoberfläche entstehen viele verschiedene Erscheinungsbilder dieses einen Materials. (I-311) Glas kann nicht nur die Farbe, sondern auch die Strahlungsdurchlässigkeit ändern. „Es nimmt alle Farben und Farbnuancen an und ist zur gleichen Zeit widerstandsfähig und zerbrechlich, anwesend und abwesend, undurchsichtig oder transparent, Materie oder Immaterialität“, wie Eric Saunier den Werkstoff Glas beschreibt. (I-313) Aber nicht nur für die Gestaltung stellt Glas die Grundlage für viele Möglichkeiten, auch für den Energiehaushalt von Gebäuden ist es entscheidend. Hatte man in den 70er Jahren Glas als Energieleck des Hauses beschimpft, verwendet man heute Isolierglas und „intelligente Glasfassaden“, die die Energiebilanz verbessern (I-300), bis hin zum Glas als „solare Strahlenfalle“ (Heinz W. Krewinkel; I-304)

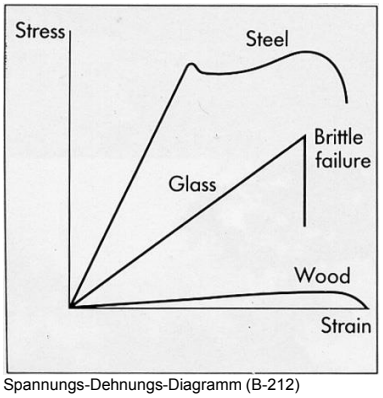
Glas ist präzise, es gibt keine Bautoleranzen wie zum Beispiel bei Beton.

Weitere wichtige Eigenschaft von Glas ist dessen Beständigkeit gegen Regen, Sonne, Hitze und Kälte, gegen Säuren, Laugen und organische Stoffe. Außerdem besitzt es eine enorme Festigkeit.

1.1.1. Festigkeit

Glas besitzt sehr hohe atomare Bindungskräfte bei ungestörtem Gefüge und perfekter Oberfläche. Daher besitzt es eine sehr hohe mechanische Festigkeit. (A-88) Bei Belastung treten Deformationen wegen des Dehnens der zwischenatomaren und zwischenmolekularen Verbindungen auf. Bei niedriger Belastung ist die Verformung proportional zur Belastung. Ab einem bestimmten Punkt kommt es plötzlich zum Bruch. Glas ist spröde, es bildet sich keine plastische Deformation wie bei Stahl und Holz aus, man sagt Glas habe keine Plastifizierungsreserven. Glas kann somit auch eine örtliche Belastung nicht ausgleichen. (A-88; B-211f)

Die theoretische Festigkeit (auf Zug ca. 10kN/mm²) wird durch Gefügestörungen im Inneren oder durch unvermeidbare Mikrorisse an der Oberfläche drastisch gesenkt. Durch diese Mikrorisse entstehen Kerbeffekte mit extrem hohen Spannungsspitzen, die nicht durch plastische Verformung abgebaut werden können und zu Bruch und Versagen führen. Die maximale Belastung hängt von der Menge der vorhandenen Risse, vom Vorhandensein von Chemikalien und Wasser in der Verletzung, sowie von der Dauer der Belastung ab. Bei kritischer Spannung beginnt am Grund der Kerbe ein langsames Wachstum des Risses, oberhalb der kritischen Spannung breitet sich der Riß mit ansteigender Geschwindigkeit aus und führt zum schlagartigen Versagen. (A-88ff.; F-108; B-211ff.)



Spannungs-Dehnungs-Diagramm (B-212)

Durch den Transport, die Bearbeitung, und die Verwendung nehmen die Mikrorisse in der Glasoberfläche zu und mindern die Festigkeit. Unter Dauerlast kommt es zu einem Wachstum der Mikrorisse und Kerbstellen und weiterer Festigkeitsminderung. (A-89; B-213; D-155)

Die Beanspruchbarkeit ist eigentlich eine statistische Größe und von einer „Glasfestigkeit“ als Werkstoffkenngröße kann man eben nur bedingt sprechen. Trotzdem finden sich einige Zahlen und Werte:

Druckfestigkeit: 700-900 N/mm² (Beton 15-75 N/mm²)

Zugfestigkeit: etwa 80 N/mm², (was fast der von Holz entspricht)

Biegefestigkeit 25-45N/mm² (von vorgespanntem Glas 120N/mm²) (vgl. DIN 1249 Teil10) (C-23; L-41)

1.1.2. Temperaturbeständigkeit

Da Glas ein schlechter Wärmeleiter ist, entstehen bei schroffen Temperaturwechseln oder unterschiedlicher Erwärmung hohe Spannungen, die zu Bruch führen können.

Temperatur-bedingte Spannungen im Glas am Bau treten nur auf, wenn die solare Strahlung vom Glasbauteil zu stark oder ungleichmäßig absorbiert wird, also eine ungleichmäßige Erwärmung auftritt. Das kann der Fall sein bei einer Bedruckung oder teilweisen Einfärbung sowie einer teilweisen Verschattung. Spannungen können natürlich auch zwischen Glas und Halterung entstehen. Da Glas einen wesentlich niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten hat als Stahl und andere Materialien muß darauf geachtet werden, daß keine starren Verbindungen bestehen. Der Temperaturausdehnungskoeffizient beträgt $8x10^{-6}$ 1/°K. (A-90; B-245)

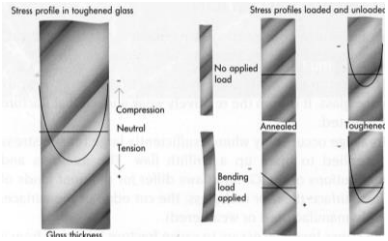
1.1.3. Beständigkeit

Bauübliches Alkali-Silikat-Glas ist sehr resistent gegenüber üblichen Atmosphärengasen. Bei langem Wasserkontakt können allerdings die Siliziumoxid-Bindungen aufgebrochen werden und Natrium-, Kalzium- und Magnesiumionen gelöst werden. Das Glas „erblindet“ und bekommt einen Regenbogenschimmer. Ein alkalisches Milieu begünstigt diesen Vorgang. Solche Glaskorrosion entsteht bei stehendem Wasser, bei Kondensation zwischen Glastafeln im Lager (durch Temperaturschwankungen) und bei horizontalen Scheiben. (A-91; B-197, 201)

1.2. Behandeln von Glas / Glasprodukte

1.2.1. Vorspannen von Flachglas

Die angesprochenen Mikrorisse und Kratzer führen nur bei einer Zugbeanspruchung der Glasoberfläche zum Rißwachstum. Eine Druckbeanspruchung ist weniger kritisch. Aus diesem Grund und zur Festigkeitserhöhung wird Glas druckvorgespannt. Oberflächenrisse und Schädigungen werden „überdrückt", die Risse bleiben also geschlossen. Bei einer Zugbeanspruchung muß zuerst die Druckvorspannung abgebaut werden. Die Zugfestigkeit wird also um der Betrag der Vorspannung erhöht.



Belastungsprofil in vorgespanntem und nicht-vorgespanntem Glas (B-216)

Die Vorspannung kann auf drei Arten erreicht werden:

-thermische Vorspannung zu ESG (Einscheiben-Sicherheits-Glas) durch Erhitzen über den Transformationspunkt (Ausdehnen) und plötzliches Abkühlen einer Seite, wodurch sich die Oberfläche zusammenzieht und druckvorgespannt wird.

-chemische Vorspannung: durch Ionenaustausch der Natriumionen gegen die Kaliumionen an der Glasoberfläche (beim Tauchen in heiße Kaliumsalzschmelze) kommt es zu einer Druckspannung an der Glasoberfläche infolge „Platzmangels".

-mechanische Vorspannung: der gesamte Glasquerschnitt wird durch Zugseile oder –stäbe überdrückt (A-90, B-216; E-67ff)

1.2.2. Verbundglas/Laminatglas

Besteht aus zwei oder mehr Glasscheiben, die durch eine zähelastische Zwischenfolie aus Kunststoff (oder auch mittels Gußharz) fest miteinander verbunden sind.

Es entsteht somit eine höhere Zugfestigkeit. Bei Zerstörung bleiben die Bruchstücke an der reißfesten Folie hängen, bieten somit eine erhöhte Sicherheit gegen herunterfallende Scherben: Verbundsicherheitsglas, VSG.

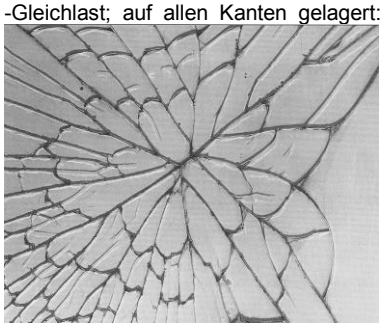
Panzerglas besteht aus mindestens vier Glasschichten. Zur Bemessung sind nur die Scheiben einzeln ansetzbar, da die Folien bei Belastung fliessen und ausweichen. (D-156 ; E-69f)

1.3. Bruchbilder

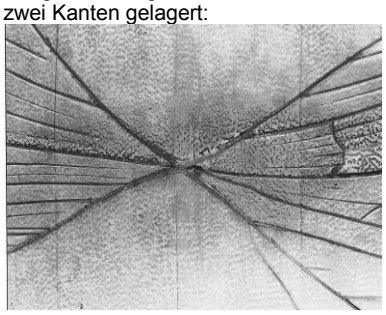
Das Bruchbild von Glas hängt von der Auflagerung, der Ursache des Bruches und von der Vorbehandlung ab.

Unvorgespanntes Glas zeigt folgende Bruchbilder:

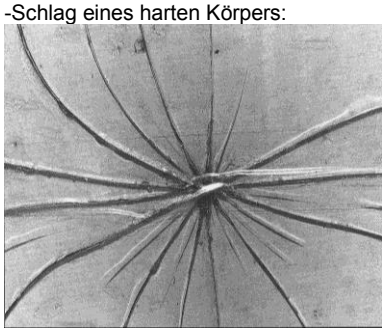
-Gleichlast; auf allen Kanten gelagert:



-Biegebelastung oder Gleichlast; auf zwei Kanten gelagert:

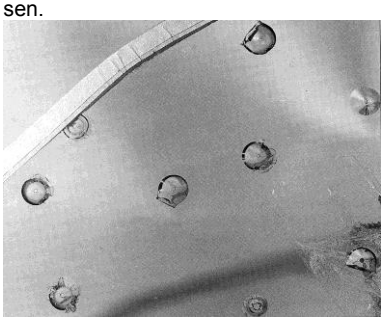


-Schlag eines harten Körpers:

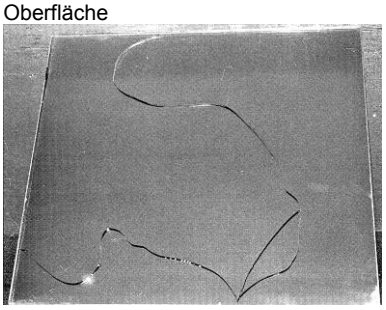


-Schlag eines weichen Körpers:

-schnelle (kleine) harte Körper: „Hertz'sche" Krater werden auf der gegenüberliegenden Seite herausgestossen.



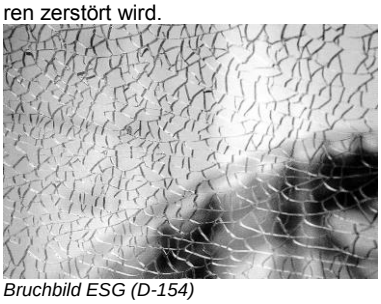
-thermische Belastung: mäanderförmig, die Bruchkante ist rechtwinklig zur Oberfläche



(B-222ff.)

Laminatglas zerbricht wie normales oder vorgespanntes Glas, je nachdem welche Glassorte verwendet wurde, die Glasscherben bleiben aber an der Folie kleben.

Vorgespanntes Glas zerfällt in kleine stumpfkantige Glaskrümel wenn das Spannungsgleichgewicht im Glasinneren zerstört wird.



Bruchbild ESG (D-154)

2. Geschichte

Die älteste Verwendung von Flachglas als Raumabschluß ist durch Funde in Villen von Pompeji und Herculaneum, sowie in verschiedenen Thermen in das Römische Reich datierbar. Diese „Fensterscheiben“ besaßen eine Größe von ca. 30 mal 50 cm und waren 3-6 cm dick. Soweit man aus den Funden schließen kann, war dieses Glas bläulich grün und nicht transparent. Hergestellt wurden die Scheiben im Guß- und Streckverfahren. (A-9)

Im Frühmittelalter wurden für Kirchen und Klöster Glasscheiben für die Öffnungen angewandt. Diese, im Zylinderstreck- oder Mondglas- (Schleuder-) verfahren hergestellten Scheiben waren meist gefärbt und in Blei gefaßt. Die Sonnenstrahlen wurden in geheimnisvolles Medium verwandelt. (A-9 & 14)

Vom 15. bis 17. Jahrhundert wurde hauptsächlich in Venedig sehr klares, reines Glas hergestellt (unter Zusatz von Mangan und Arsenik als Entfärbungsmittel) sowie Spiegel durch Beschichtung mit Metallen. (A-10)

Das Barock bediente sich dieses stark transparenten Glases. Licht spielt eine wichtige Rolle in der Öffnung des Raumes ins Unendliche (helle, weite Kirchen). Zusammen mit den Spiegeln verliert der Raum seine Körperlichkeit, die Wände lösen sich auf und Innen- und Außenraum scheinen sich zu verbinden. (A-15)

Ab dem 17. Jahrhundert wurden auch Fenster an Schlössern und Stadthäusern verglast.

Spiegelsaal von Schloß Versailles; 1678-84 (A-15)

Bauernhaus im westfäl. Freilichtmuseum, Detmold (A-12)

Bis Ende des 18. Jahrhunderts war Glas für Fenster jedoch sehr wertvoll und (zu) teuer. Erst mit der Industrialisierung, besseren Schmelzöfen sowie besseren Herstellungsverfahren konnte Glas effizienter und somit billiger hergestellt werden. Während man bisher Glas im Guß- und Gußwalzverfahren (die Schmelze wird auf einen Stein gegossen) herstellte, ermöglichte das Ziehverfahren ab 1913 die Produktion von beiderseitig feuerpolierten Scheiben, die sehr dünn und eben sind. Ab 1959, mit der Erfindung des Floatglases, wird Glas in großen Mengen und kostengünstig hergestellt. (A-10ff.)

Das Fenster des bürgerlichen Hauses war früher nur eine kleine Öffnung in der Mauer. Der Fachwerksbau, jedoch, läßt viele Öffnungen zwischen dem Raster aus Horizontalen und Vertikalen zu, die mit Erfindung des Glases auch transparent gefüllt werden konnten (A-17)

Ab dem Ende des 18. Jahrhunderts, durch die industrielle Produktion von Eisen, verlor die Wand ihre tragende Funktion, da sie durch Eisenkonstruktionen ersetzt wurde. Die Außenwand wurde durch eine lichtdurchlässige Haut aus Glas ersetzt. Die großen gesellschaftlichen, konstruktiven und industriellen Entwicklungen dieser Zeit forderten auch neue Bauaufgaben wie Markthallen, Warenhäuser, Bahnhöfe und Passagen. Eisen-Glas-Kuppeln und der Skelettbau aus Eisen mit gläsernen Wänden konnten diese großen Gebäude belichten. (A-19)

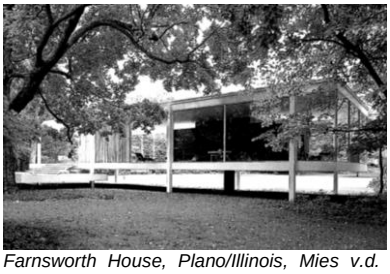
Ein für den Glasbau wichtiger Typ war das Gewächshaus für importierte Pflanzen. Das Gewächshaus als Eisen-Glas-Konstruktion löste die dreiseitig ummauerte Orangerie ab. Sir Joseph Paxton, eigentlich Gärtner, nutzte die tragende Wirkung des Eisenskeletts sowie die aussteifende Wirkung des Glases, um einen transparenten Raum, quasi einen Raum ohne Grenzen, herzustellen. Vorfertigung und Elementierung stellten einen wichtigen Schritt in die Zukunft dar. Der Kristallpalast für die Weltausstellung 1851 basierte auf diesen Grundlagen. (A-21, 23)

Palmenhaus in London 1844-48 (A-20)

Anfang des 20. Jahrhunderts löst sich die „Kiste“ des Gebäudes immer mehr auf. Man erkannte, daß Tageslicht, Luft und Sonne positive körperliche und seelische Wirkung hatten, was sich auch auf die Produktivität in Firmen übertragen ließ, weshalb Industriebauten mit fast ausschließlich in Glas aufgelösten Fassaden gebaut wurden. (A-25)

Ebenso im Wohnungsbau wurde der fließende Übergang zwischen innen und außen, der Bezug zur Natur thematisiert. Mies van der Rohe verdeutlichte das im Ausstellungspavillon zur Weltausstellung 1929 in Barcelona. Le Corbusier spricht das Fenster und die freie Fassade in seinen 5 Punkten an. (A-26ff.) Immer größere Glastafeln erlaubten eine gläserne Kiste als Wohnhaus mit dem Optimum an Kontinuität des Raumes von innen nach außen im Farnsworth House von Mies v.d. Rohe (A-36f.)

Barcelona Pavillon, Mies v.d. Rohe, 1929 (A-28)



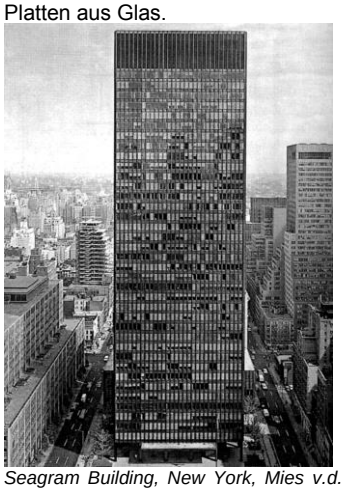
Farnsworth House, Plano/Illinois, Mies v.d. Rohe (A-36)

Glass House, New Canaan/Connecticut, Philip Johnson, 1949 (A-36)

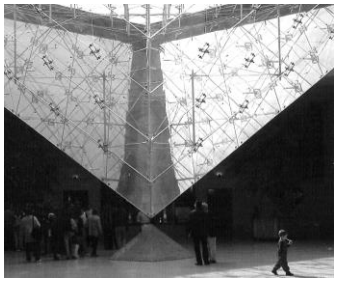
Glasfassaden und gläserne Bürotürme wurden ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zum Statussymbol von Unternehmen und somit zum charakteristischen Merkmal von Stadtsilhouetten. (A-35)

Eine entscheidende Wende bewirkten die beiden Ölkrisen in der 70er Jahren. Glas geriet (hauptsächlich in Europa) in Kritik als Energieleck des Hauses. Die Forschung zu effektiveren Wärme- und Sonnenschutzgläsern wurde angetrieben. Am Ende des 20 Jahrhunderts wurde Glasarchitektur wieder zum Prestigeobjekt. Nun reichen nicht mehr nur glatte Glasfassaden, sondern immer mehr prägnante, extravagante Formen treten auf. (Grimshaw's Terminal zum Waterloo Bahnhof, I.M.Pei's Louvre-Pyramide und Foster's Reichstagskuppel als Beispiel) (A-42f.)

Glas wurde in der Geschichte, mit Ausnahme der Gewächshauser, hauptsächlich als Sekundärtragelement verwendet. Glas als lastabtragendes Element, das nur Eigen- und Windlasten an eine Unterkonstruktion abzugeben hat. Neuerdings werden (wieder) die lasttragenden und aussteifenden Eigenschaften von Glas berücksichtigt und angewandt. Somit entstanden in den letzten Jahren Ganzglaskonstruktionen, Stützen, Balken und begehbare Platten aus Glas.



Seagram Building, New York, Mies v.d. Rohe, 1956-59 (A-38)



hängende Pyramide im Louvre, Paris, I.M. Pei & Partners, 1993 (A-189)

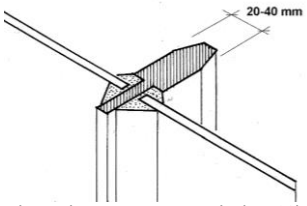
3. Glas als Sekundärtragelement

Glas spielt hier nur die Rolle der Eindeckung und Abgrenzung von Räumen. Als Sekundärtragelement übernimmt es keine tragende, sondern nur lastabtragende Funktion. Es gibt also alle Lasten aus Eigengewicht, Schnee und Wind über Biegung und/oder Normalkraft ins umgebende Primärtragwerk ab. Aus dem primären Tragsystem werden keine Lasten ins Glas eingeleitet. (D-24)

Entscheidender Punkt ist die Verbindung des Glases zum Haupttragwerk, da das Glas dort hauptsächlich beansprucht wird. Das Glas muß möglichst frei gelagert sein, damit keine unkontrollierten Druckspannungen von der Unterkonstruktion her entstehen.(G-16)

3.1. Kittverglasung

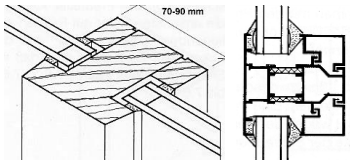
Ist die älteste Art der Befestigung des Glases an den Rahmen. Die Scheibe wird mit Klammern und Stiften behelfsmäßig an der Unterkonstruktion befestigt und dann satt mit Kitt „verklebt", um Befestigung und Abdichtung zu gewährleisten. Probleme bestehen in der Versprödung des Kittmaterials durch die UV-Strahlung, was zu einer unelastischen, also starren Verbindung führt und zum Bruch der Glasscheibe bei Dehnungen führen kann. (D-168; F-108ff.; G-16)



Kittverglasung Axonometrie (D-168)

3.2. Glashalteleisten

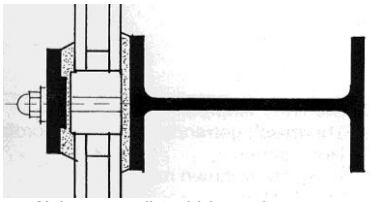
Glashalteleisten bieten dem lichtempfindlichen Kitt der Kittverglasung einen Schutz und übernehmen außerdem die Befestigungsfunktion. Der Dichtstoff ist Abdichtung und Schutz gegen Dehnungen. Die Verglasung erfolgt vom Innenraum durch nageln, schrauben oder anklipsen. Die Abdichtung ist entweder eine sogenannte Naßverglasung mit Kitt oder eine Trockenverglasung mit Dichtprofilen (D-169; F-108ff; G-16)



Glashalteleiste Axo Holz, Alu (D-169)

3.3. Preßleistenverglasung

Ähnlich wie bei den Glashalteleisten wird hier das Glas über verschraubte oder geklemmte Leisten auf die Unterkonstruktion angepresst. Dichtstoffe sorgen wiederum für Dichtigkeit und Elastizität. (D-170; F-108ff; G-17)

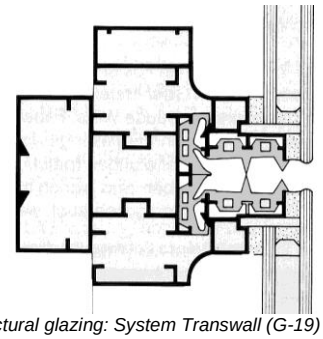


Preßleisten-Detail Stahl (D-170)

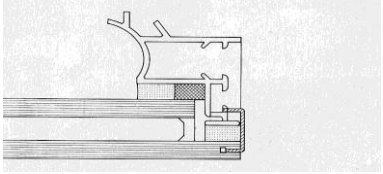
3.4. Structural glazing

Beim structural sealant glazing wird schon im Werk eine Unterkonstruktion auf die Glasscheibe geklebt, die dann an der Baustelle nur noch in die Pfosten-Riegel-Konstruktion gehängt wird. Verschiedene Glashalter sind für die einfach- und Isolierverglasung entwickelt worden(Q-40f). Die Scheiben müssen nur noch versiegelt werden. Dadurch kann man eine von außen erscheinende vollflächige Verglasung erreichen, wobei allerdings die Tragstruktur im Inneren oft sehr überwiegend die Transparenz und einen freien Ausblick verhindert.

Im Fahrzeugbau wird dieses System schon lange erfolgreich eingesetzt. In Deutschland bedarf es jedoch spezieller Einzelgenehmigungen für nur geklebte structural glazing Fassaden, da der Silikonklebstoff die gesamten Kräfte aufnehmen muß. (A-47/49; D-171; F-108/126; G-17)



structural glazing: System Transwall (G-19)

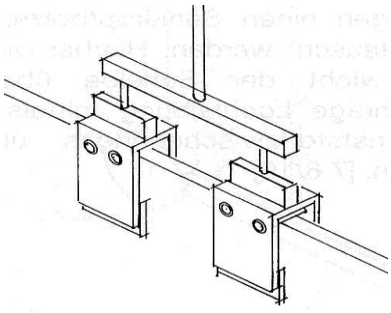


structural glazing: mechanische Sicherung (G-19)

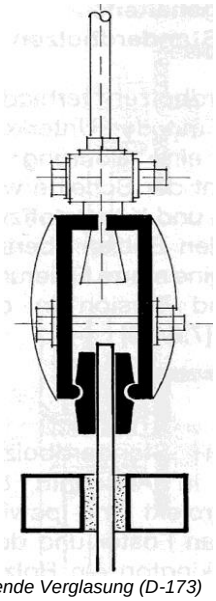
3.5. Hängende Verglasung

Das sind großflächige Verglasungen mit wenig Unterkonstruktion. Sind die Glastafeln höher als ein Stockwerk zählt man sie allerdings zu den Primärtragelementen.

Die Aufhängung erfolgt am oberen Rand mittels Klammern, die in Pendellagern befestigt sind. Bei Einfachglas über Verklebung oder Pressung, bei Isolierglas ausschliesslich über Verklebung. Eine untere Halterung dient nur als Auflager für horizontale Lastabtragung. Vertikale Stöße werden mit Silikon abgedichtet. Große Glasformate müssen mit Stabilisierungsschwertern gegen Durchbiegen unter Windlast geschützt werden. Durch die einseitige Aufhängung entsteht keine Zwängung und auch keine Gefahr des Knickens. (A-50; D-172; F-106f; G-17)



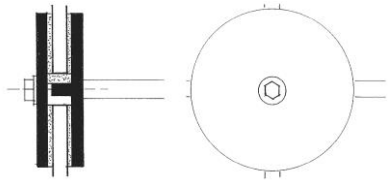
Axonometrie Schema hängende Verglasung (D-173)



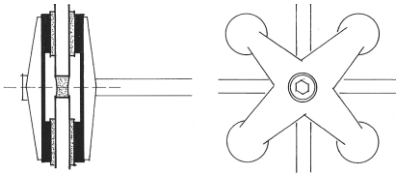
Detail-Schnitt hängende Verglasung (D-173)

3.6. Punktförmige Auflagerungsarten

Preßplatten oder Kreuzhalter halten die Glasplatten mittels Preßung an den Ecken und werden durch die Fuge an die Unterkonstruktion geschraubt. Die Abdichtung erfolgt wieder durch Silikon. (D-172)



Preßplatte (D-172)



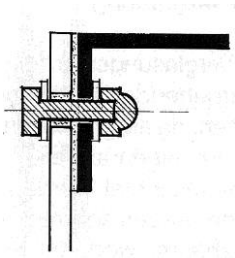
Kreuzhalter (D-172)

3.7. Gebohrte punktförmige Auflagerung

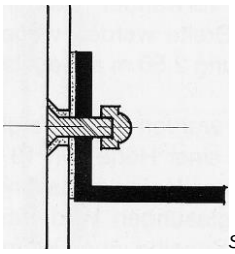
Die Glasscheibe wird über Bolzen durch eine Bohrung im Glas an die Unterkonstruktion geschraubt. Kräfte werden über die Lochlaibung und Kunststoffzwischenhülsen abgetragen. Für eine plane Glasoberfläche werden Senkkopfbolzen verwendet.

Verschiedene Formen solcher Bolzen wurden entwickelt. Sogenannte Patch Fittings (Norman Foster und Pilkington AG) sind Bolzen mit Klemmplatten, die Kräfte über die Lochlaibung sowie Reibung übertragen. Planar fittings trennen die Glas- von der Konstruktionsebene: Der Senkkopfbolzen besitzt hier einen größeren Durchmesser, wodurch die Kräfte auf die Lochlaibung geringer werden, und fixiert die Glasscheibe zusammen mit einer Kontermutter. Beim Megatec-System von VEGLA wird eine Flanschmutter zwischen den Glasscheiben einer VSG-Scheibe vor der Außenseite quasi versteckt. Rice, Francis und Ritchie entwickelten gelenkige Punkthalter. (D-174ff)

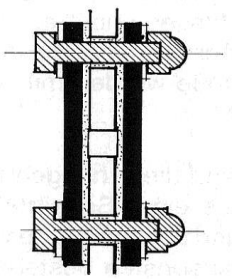
Die Abdichtung bei allen punktgehaltenen Verglasungen erfolgt mit Spritzsilikon oder vorgefertigten Silikonprofilen. (D-178)



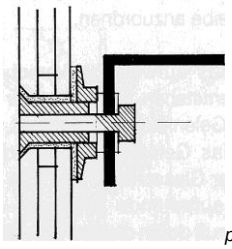
Standardbolzen



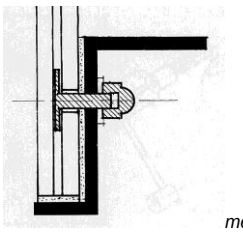
Senkkopfbolzen



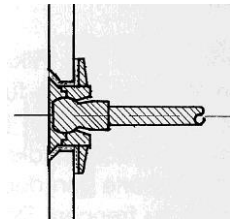
patch fitting



planar fitting



megatec



gelenkiger Halter

Details zur gebohrten punktförmigen Auflagerung (D-174ff)

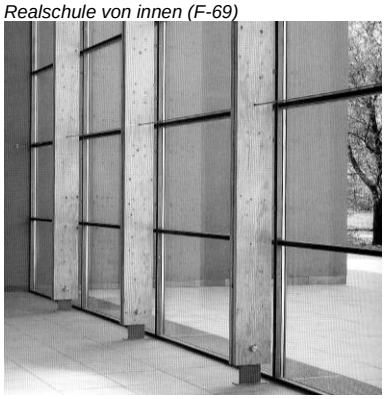
4. Tragwerksformen und Beispiele für Glas als Sekundärtragelement

Alle Tragwerksformen, die die Hülle nicht zur Lastabtragung brauchen, sind für Glas als Sekundärtragelement geeignet.

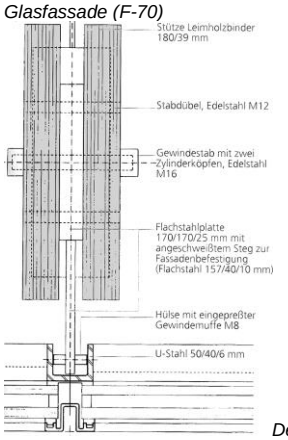
4.1. Pfosten-Riegel-Konstruktion

Die Glasfassade der Realschule in Vorerde (Schuster Architekten) besteht aus einer solchen Konstruktion aus U-Stahlprofilen. Die Glaswand besteht aus zwei Scheiben ESG mit 14mm Luftraum. Leimholz-Stützenpaare vor der Glaswand tragen die Glasfassade punktuell über Laschen aus Flachstahl. Horizontalkräfte werden über ein Stahlschwert und Edelstahlseile in den Drittelspunkten in die Hallendecke sowie den Massivbau geleitet. (F-70)

Realschule von innen (F-69)



Glasfassade (F-70)

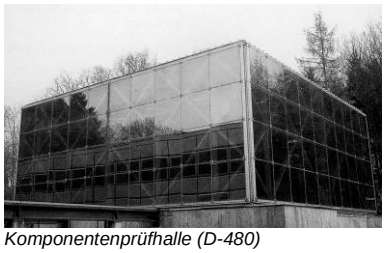


Detail (F-71)

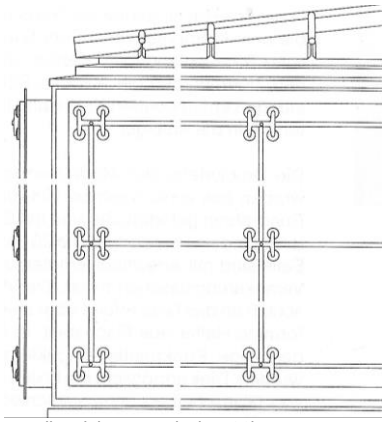
4.2. Fachwerkskonstruktionen

Die gesamte Konstruktion kann als Fachwerk gestaltet sein, oder aber nur Träger oder andere Bauteile können Fachwerk-Struktur haben.

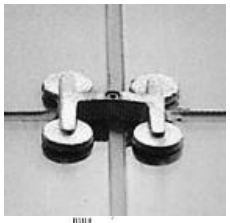
Die Komponentenprüfhalle in Stuttgart (F. Wagner, 1989) ist als Fachwerk gebildet. Die Posten, Riegel und Diagonalen bestehen aus verschweißten 100x150x7-mm-Hohlkastenprofilen. Die Glashülle aus ca. 1,20x1,20 m ESG-Scheiben ist direkt auf der Konstruktion mittels H-förmiger Klemmhalter befestigt. Eigengewicht des Glases wird über die Klotzung zwischen den Scheiben abgetragen, horizontale Lasten müssen durch die Klemmung gehalten werden. (D-480f)

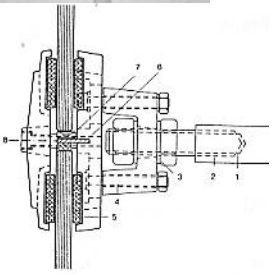


Komponentenprüfhalle (D-480)



Detailansicht Fassade (D-480)





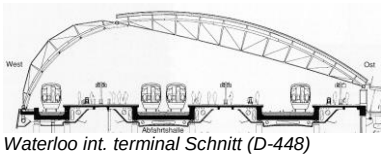
H-Halter Ansicht und Schnitt (D-481)

4.3. Rahmen und Bogen

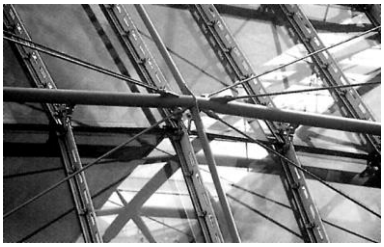
Das Glasdach des Waterloo International Terminal in London (Grimshaw + Partners, 1988-1993) besteht aus 13 m hohen Dreigelenkbögen, die mit seitlichen Abspannungen ein räumliches Tragwerk bilden. Die Bögen als Fachwerke bestehen aus Stahlrohren und -stäben. Die Glasscheiben aus ESG sind schuppenartig an Edelstahltrapezblechen befestigt. (A-305; D-448f)

Innenansicht (A-305)

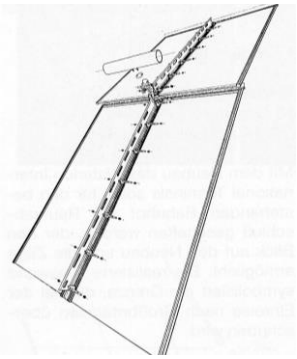
Außenansicht (D-448)



Waterloo int. terminal Schnitt (D-448)



Waterloo int. term. Dachverglasung(D-449)



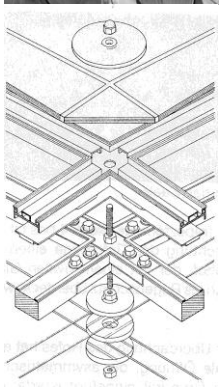
Waterloo international terminal Perspektive Verglasung(D-449

4.5. Tonne und Kuppel

Die Innenhofüberdachung des Museums für Hamburgische Geschichte (Gerkan, Marg + Partner, 1989) besteht aus zwei Tonnen, verbunden durch eine Kuppel. Diese Formen wurden durch eine Gitterschale aus horizontalen und bogenförmigen Flachstahlprofilen mit diagonaler Seilverspannung gebildet. Drei fächerförmige Zugglieder stabilisieren zusätzlich die Schale. Die Dachlasten werden weitgehend über Schalenmembrandruckkräfte abgetragen. Die Verglasung aus 10 mm VSG ist direkt mit Neoprenprofilen auf die Flachstahlsprossen aufgelegt und punktuell mit Preßtellern im Knotenbereich gehalten. Es sind also keine zusätzlichen Sprossen für die Verglasung notwendig. (A-316, G-34f, D-420f)

(G-36)

(A-319)

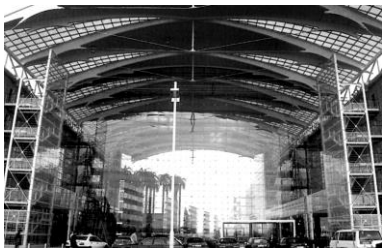


Explosionszeichnung Knoten

(D-421)

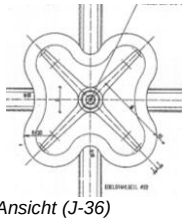
4.6. Ebene Seilnetze

Bei der Glasfassade des Hotel Kempinski am Flughafen München (Murphy/Jahn, 1993) wurde ein ebenes Seilnetz aus horizontalen und vertikalen vorgespannten Seilen gebildet. Horizontale Lasten können nur durch Verformung abgetragen werden, weshalb die Horizontalseile mit 85 kN vorgespannt sind. Edelstahlklemmplatten in den Knotenpunkten verbinden die Seile und fixieren außerdem die Glasscheiben, die schwimmend mit Neoprenformteilen gelagert sind. (J-31; D-458f)

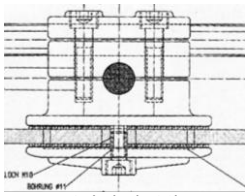


Hotel Kempinski Eingang (D-458)

Glasfassade von innen (J-34)



Knoten Bild (D-459), Ansicht (J-36)

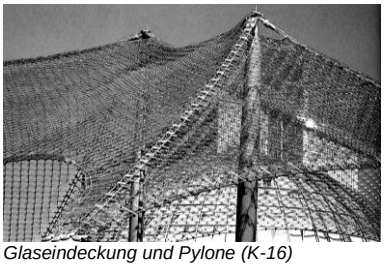


Knoten Schnitt (J-36)

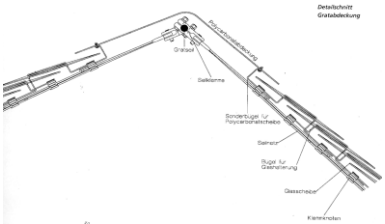
4.7. Räumliche Seilnetze

Ein Verglastes Seilnetz überdacht den Freiraum des Rhön-Klinikums in Bad Neustadt / Saale (Lamm Weber Donath Architekten und Werner Sobek Ingenieure). Das freie Seilnetz aus 10 mm Spiralseilen wird von bis zu 15m hohen Druckstützen aus verleimten und formgefrästen Brettschichtholzelementen in die Höhe gehoben. Die Glaseindeckung erfolgt im Schindelprinzip auf Edelstahlbügeln, um nicht unendlich viele verschiedene Glasscheiben unterschiedlicher Geometrie fertigen und in den Seilmaschen befestigen zu müssen. Die Bügelhalterung ist zweifach verdreht und wird in den Knotenpunkten der Seile gehalten. Die VSG-Glasschindeln besitzen Übergröße, was eine vierseitige Überlappung bewirkt. (K-12ff)

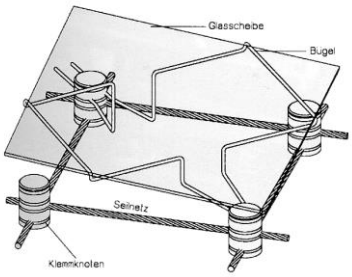
Überdachung von oben (K-13)



Glaseindeckung und Pylone (K-16)



Detailschnitt Gratabdeckung (K-17)

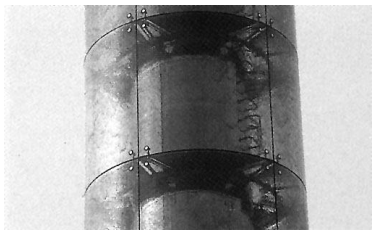


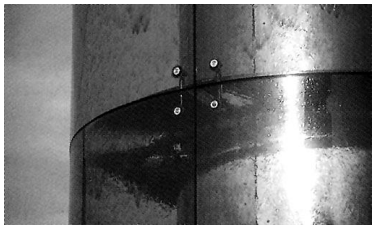
Prinzipdetail Glas und Halterung auf Seilnetz (K-19)

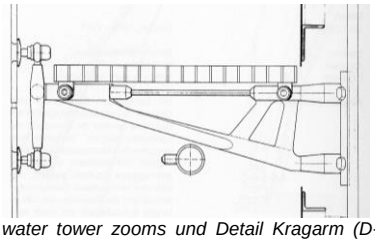
4.8. Sonstige Konstruktion

Ein Beispiel zur Verwendung gebogenen Glases ist der Thames Water Tower in London (Brookes Stacey Randall, 1994-94). Ein 15 m hohes, eingespanntes Stahlrohr mit einem Durchmesser von 1,50 m trägt in Höhenabständen von 2m fünf Kragarme, die die Glasfassade und einen begehbaren Rost zur Wartung tragen. Die Kragarme bestehen aus einfachen Fachwerken, die mittels „Frogfingers“, also gelenkiger Halter die Glasscheiben in Senkbohrungen halten. (D-446f)

water tower Gesamtbild (D-446)







water tower zooms und Detail Kragarm (D-447)

5. Glas als Primärtragelement

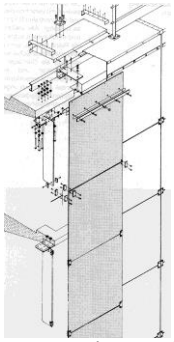
In diesem Fall übernimmt Glas tragende Funktion: zum einen Lasten aus Eigengewicht, Wind, Schnee und Verkehr, aber auch Lasten, die aus dem gesamten statischen System hervorgehen.

Dazu zählen selbsttragende, aussteifende und Systemlasten übernehmende Glaselemente

5.1. selbsttragende Primärtragelemente

Hier wird das Glas hauptsächlich auf Druck und Zug beansprucht. Die Scheiben stehender oder hängender Verglasungen, die die Höhe eines Geschosses übersteigen, sind zum Beispiel selbsttragende Primärtragelemente. Das Glas nimmt hier nur vertikale Lasten auf. Horizontale Lasten werden über Biegung abgetragen, wobei eine Aussteifung notwendig ist. Diese wird durch zusätzliche, quer zur Glasebene liegende Glasscheiben oder auch durch Fachwerke oder Seilverspannungen realisiert. (D-25 & 76)

Bekanntestes und auch ältestes Beispiel für solch hängende Glaswände sind die Willis Faber & Dumas Offices in Ipswich von Norman Foster Associates 1973-75 gebaut. Jeweils sechs Glasscheiben sind durch Patch Fittings verbunden und hängen über drei Stockwerke an einem Bolzen in der Betonattika. Abgehängte halbgeschosshohe Glasschwerter steifen gegen Wind aus. (A-50; D-354ff; F-100ff; M-8f)



Axonometrie Fassade; bei Tag
(D-255) (F-104)

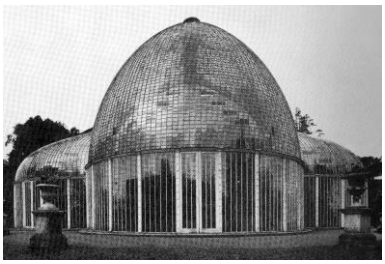
bei Nacht (A-50)

5.2. aussteifende Glaselemente

Diese Glaselemente werden durch Biegung beansprucht. Hier kommt die Scheibenwirkung der Glasscheiben zur Wirkung.

Die Glaseindeckung früherer Gewächshäuser steifte das Gitternetztragwerk aus, welches nur eine labile Konstruktion aus Eisen war und ohne die Glasscheiben nicht gehalten hätte. Bei solchen Metall-/ Glaskonstruktionen gibt es zwei Stabilitätszustände: mit und ohne Glasscheiben. Wichtig ist, daß die Scheiben in Druckverbindung mit den Metallsprossen stehen, um die Kräfte aufnehmen zu können.

Glasschwerter stabilisieren hängende Verglasungen gegen Durchbiegen, sowie schlanke Fassadenstützen gegen Knicken. (D-24; F-105; M-32ff)

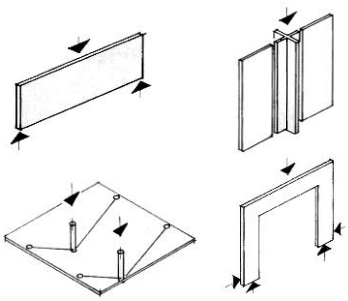


Palmenhaus Bicton Gardens (J.C. Ludon, zw.1818 und 1838) und Detail der Verglasung

5.3. Systemlasten übernehmende Glaselemente / Glastragwerke

Diese müssen alle Funktionen des Tragens übernehmen, werden also allen Belastungen ausgesetzt: Normalkraft, Biegung, evtl. Torsion und Hybridbelastung.

Hierzu zählen Stabtragwerke, Balken, Stützen, Rahmen, Bögen, Flächen und Raumtragwerke. (D-25)



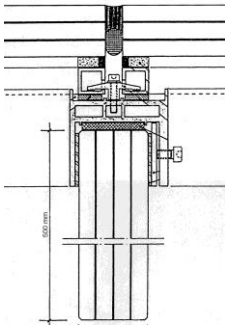
Schema Balken, Stütze, Tragwerk, Rahmen (D-25)

5.3.1. Balken

Balken, oder Träger tragen Eigengewicht und äußere (vertikale) Lasten durch Biegung in die Auflager ab. Sie stellen die einfachste Form der geraden Stabwerke dar. (D-70) Je nach Richtung der Lasteinwirkung auf einen scheibenartigen Träger entsteht Längs- oder Querbiegung. Bei exzentrischer Last kommt auch Torsion vor. Ebene Träger / Glasschwerter bergen das Problem des Wegkippens, oder Wegdrehens bei großer Bauteilhöhe. Daher wählt man lieber zusammengesetzte Querschnitte wie Doppel-T oder Hohlkastenquerschnitte, welche eine höhere Biegesteifigkeit und Torsionssteifigkeit haben. Glas wird in diesen Fällen aus einzelnen Scheiben zu den gewünschten Querschnitten verklebt. Auch eine Kombination mit anderen Werkstoffen wie Metallen oder Kunststoffen ist möglich. (A-104ff., D-128)

Ein Beispiel zur Verwendung von Glasbalken ist das Glasdach der Werkstätten des Louvre in Paris von Brunet & Saunier (1993). Das begehbare Glasdach wird von elf Glasträgern in einem Achsabstand von 1,40 m getragen. Diese Balken aus vier 15-mm-ESG-Scheiben spannen über eine Länge von 4,60 m und besitzen eine Höhe von 60 cm. Sie liegen in U-förmigen Schuhen aus Flachstahl am Mauerwerk auf. (A-54; D-342ff; H-54)

Louvre Werkstätten Glasdach (D-343)



Detailschnitt Balken (D-344)

5.3.2. Stäbe und Stützen

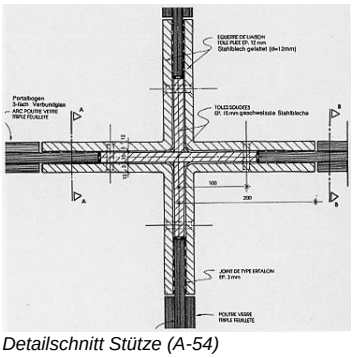
Stäbe und Stützen sind ausschließlich axial, also durch eine Normalkraft (Druck oder Zug) beansprucht, wenn sie an beiden Enden gelenkig angeschlossen sind und die Stabachse perfekt gerade ist. Für die Berechnung auf Zug ist die Festigkeit des Baustoffes Glas ausschlaggebend. Druckbelastung stellt hauptsächlich ein Stabilitätsproblem, die Knickgefahr, dar.

Eingespannte Stützen werden darüber hinaus durch horizontale Lasten auf Biegung beansprucht, sind also hybrid belastet. (A-100; D-71)

Genauso wie bei den Trägern bietet es sich an, Glasstützen aus zusammengesetztem Querschnitt zu verwenden. Entweder wird Glas an Glas geklebt oder auch Glas mit anderen Materialien verbunden.

Glasstützen aus zusammengesetztem Querschnitt finden sich bei der Stadtverwaltung von St. Germain-en-Laye (Brunet & Saunier, 1995). Sie bestehen aus einer 15-mm ESG-Scheibe, die durch zwei seitlich aufgeklebte 10-mm ESG-Scheiben geschützt ist (letztere werden nicht zur Berechnung mit angesetzt), seitliche Flügel stabilisieren gegen Ausknicken. Somit ist ein Kreuzprofil entstanden. (A-54; D-366ff)

Stadtverwaltung St. Germain-en-Laye (D-366)



Detailschnitt Stütze (A-54)

Glasrohre (monolithisch oder aus gebogenen Tafeln hergestellt) stellen eine weitere Möglichkeit für Stäbe dar. Solche Rohre können auch sehr einfach zentrisch druckvorgespannt werden. (A-100f, D-128)

Stabtragwerke und Fachwerke sind überwiegend normalkraftbelastet, sie tragen Belastungen über Zug und Druck ab. Bei Unterspannungen erfolgt die Aufteilung Zug im Untergurt und Druck im Obergurt, wobei letzterer auch auf Biegung beansprucht werden kann. (D-72f) Für eine Glaskonstruktion bieten sich solche Tragwerke besonders an, da die Einzelelemente relativ kurz sind und gut herzustellen sind. Die Knickgefahr wird dadurch auch gemindert. (D-129)

Gekrümmte Stabtragwerke, also Bogentragwerke sind hauptsächlich auf Druck belastet sind, was für den Glasbau sehr günstig ist, weil die Krafteinleitung einfach ist und Glas gut auf Druck belastbar ist. (D-75, 129)

Räumliche Systeme aus Stäben können entstehende Lasten auf kurzem Wege ableiten und eine hohe Effizienz erreichen, wie zum Beispiel eine Baumstruktur aus Glas. (D-132)

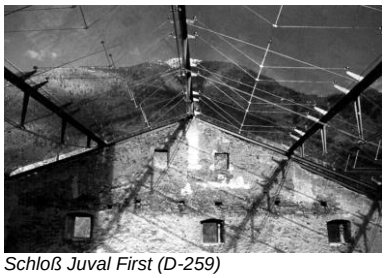
An der RWTH Aachen wurde am Lehrstuhl für Baukonstruktion 1998 eine Baumstützenstruktur aus Glasrohren entworfen und gebaut. Der Baum besteht aus einem Stamm mit vier Verzweigungen mit je einer weiteren Vierfachverzweigung. Der Stamm besteht aus einem VSG-Rohr mit Durchmesser 12,5 cm und einer Wandstärke von 1,25 cm; die vier Hauptäste sind 4,2 mm starke Rohren (kein VSG) mit 7,5 cm Durchmesser, die dünnen Äste sind 2,8 mm stark mit 3,8 cm Durchmesser. Verbunden sind die Rohre über Verbindungsknoten aus gegossenen Epoxidharzkugeln mit eingelassenen Gewindebolzen. Leider besteht noch zu großes Restrisiko, weshalb diese Glasbaumstruktur nur ein Versuchsbau auf dem Versuchsgelände ist. (R-33f)

Glasbaum und Knotendetail (R-33)

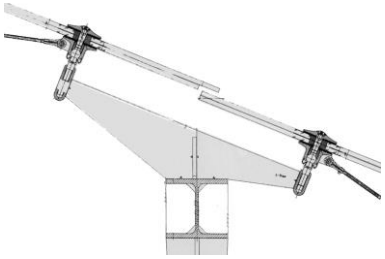
5.3.3. Scheiben/Platten

Im günstigsten Fall liegen die Kräfte nur in der Scheibenebene. Auf Zug beanspruchte Scheiben benötigen eine gute Verbindung zur Kraftübertragung (am besten sind Reibschlußverbindungen am Scheibenrand). Auf Druck beanspruchte Scheiben bergen die Gefahr des Knickens. (A-104) Liegen die Kräfte senkrecht zur Plattenebene, wird die Scheibe auf Biegung beansprucht. Bei vierseitiger, umlaufender Lagerung bilden sich bei größeren Durchbiegungen Membanwirkungen der Scheibe aus. Im Randbereich entsteht eine Druckzone, im Glas entstehen also auch Normalkräfte. Größere Belastungen sind so möglich. Bei zweiseitiger oder punktförmiger Lagerung können sich keine Membrantragwirkungen ausbilden, solche Scheiben erfahren eine höhere Biege- und Querkraftbeanspruchung. (A-101f)

Ebenso wie bei anderen Materialien werden auch Glasplatten unterspannt, um größere Spannweiten zu erreichen. Das Glasdach auf Schloß Juval von R. Danz (1996) besteht aus solch einer unterspannten Konstruktion. Fünf Fachwerk-Fischbauchträger aus Stahl-I-Profilen überspannen in einem Achsabstand von 4 m die 14 m Länge. Auf diesen Trägern ist die 200m² große Glaseindeckung über gelenkige Punkthalter angeschlossen. Die 2 x 4 m großen VSG-Glasscheiben sind unterspannt, das heißt, das Glas dient als Druckgurt der Unterspannung. Es entstehen also Biege- und Normalkräfte im Glas. Außerdem dienen die Glasscheiben zur Aussteifung der Gesamtkonstruktion. (D-258ff)



Schloß Juval First (D-259)



Schloß Juval - Anschluß der Verglasung (D-260)

Faltwerke bestehen aus gefalteten Flächen, die über Normalkräfte Lasten abtragen. Glas als flächiger Baustoff eignet sich daher besonders gut für solche Tragwerke. Wichtig hierbei ist eine gute Verbindung der Platten, um eine optimale Linienlagerung zu erhalten. (D-79, 130f)

Für eine Stadtbahnhaltestelle in Bretten hat Jürgen Braun ein Glasfaltwerk entworfen, bei dem sich die gegeneinandergelehnten Glasscheiben selber tragen. Die Glasscheiben sind lediglich auf Laschen geschraubt, am First durch Edelstahlbeschläge und Verschraubungen verbunden. (D-210ff)

Faltwerk Stadtbahnhaltestelle (D-210)

Stadtbahnhaltestelle Bretten Ansicht (D-212)

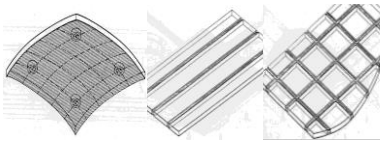
Kuppeln, oder mehrfach gekrümmte Flächentragwerke sind ebenso günstig für Glastragwerke. Eine höhere Belastung ist möglich, da Lasten über Normalkräfte radial und tangential abgetragen werden. Sind die Scheiben selbst mehrfach zu Schalen gekrümmt, ist eine noch höhere Belastung möglich. Jegliche Belastungen werden biegungsfrei durch Normalspannungen abgetragen. Diese Schalentragwirkung bleibt sogar im gerissenen Zustand erhalten. (A-106; D-79)

Membranen, die nur Zugkräfte im Glas entstehen lassen sind schwer zu realisieren, da Glas nicht gut auf Zug beanspruchbar ist (große Festigkeitsstreuungen) und die Zugkraftübertragung nur unbefriedigend möglich ist. Außerdem ist die Resttragfähigkeit für Zugbeanspruchung nicht gegeben. (A-107)

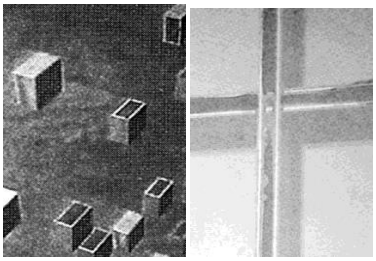
5.3.4. Sandwiches

Eine Verbesserung der Tragfähigkeit wird zum einen durch das Vorspannen, zum anderen durch das Verkleben mehrerer Glasscheiben erreicht. Bei mehrlagigen Platten ist die Festigkeit von der Art des Verbundes abhängig: ohne Verbund trägt jede Platte einen Anteil der Gesamtbelastung ab (je nach Biegefestigkeit der Platte). Die maximale Spannung beträgt 1,5 mal der äußeren Last. Bei Verbundplatten mit einer schubfesten Verbindung wird die Belastbarkeit durch ein Integral aus Glas und Verbundmaterial beschrieben. Abhängig ist diese von der Schubsteifigkeit und Tragfähigkeit der Zwischenschicht. In Deutschland darf die integrale Tragwirkung von VSG (Zwischenschicht darf bei Glasbruch nicht reißen) nicht bei der Berechnung mit angesetzt werden. (A-102f)

Heute versucht man der Scheibe durch Verkleben mit Abstandshaltern eine wirksame statische Höhe zu geben. Solche Sandwichplatten mit einer Höhe von 30 bis 200mm erlauben größere Spannweiten, da die Spannungen und Verformungen geringer werden (die Spannung wird mit $1/h^2$, die Verformung mit $1/h^3$ beeinflußt!) Hierbei ist auch wieder die Art der Verbindung wichtig. Ohne Kraftübertragung wäre die Sandwichkonstruktion nur eine Platte auf Trägern/Auflagern. Die Abstandshalter müssen also die Scherkräfte an den Kontaktflächen mit den Glasscheiben dauerhaft und sicher übertragen, wobei auch keine völlig starren Verbindungen entstehen dürfen, durch welche Spannungsmaxima wegen unterschiedlicher Materialeigenschaften entstehen würden. (A-103; L-41) Die Abstandshalter können aus Kunststoff, Metall oder Verbundmaterialien sein und entweder punkt-, linien-, oder rostförmig angebracht sein. (C-130; L-42)

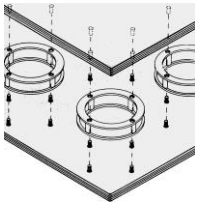


punkt-, linien-, rostförmig angeordnete Abstandshalter (L-44)



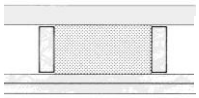
Abstandshalter aus Alu und Holz (P-37, 38)

Mechanisch verbundene Abstandshalter bestehen aus einem auf die Glasplatte aufgeschweißten Bolzen und einer Schraube, die durch die Scheibe in die Gewindebohrung des Bolzens greift. Schubkräfte aus Biegung werden durch diese mechanische Verbindung auf die andere Seite übertragen. (L-42)



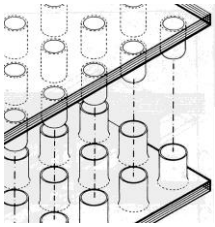
mechanische Verbindung der Abstandshalter (L-42)

Bei schubfest verklebten Sandwiches wird der Zwischenraum der Abstandshalter mit Silikon gefüllt, das die Glasplatten und Abstandshalter miteinander verbindet. Es entsteht ein insgesamt elastisch verformbares System zur Kraftübertragung, die Elastizität von Silikon kann Spannungsspitzen abfedern. (L-42)



schubfeste Verklebung (L-43)

Bei sogenannten polyurethanverklebten Sandwiches besteht der Kern aus zwei zusammensteckbaren Teilplatten, die vollflächig mit den Glasplatten verklebt sind. Die Teilplatten sind aus Kunststoff, Acrylglas oder Polycarbonat, um auch lichtdurchlässig zu sein. Dafür muß auch der Kleber vergilbungsfrei und natürlich temperatur- und feuchtebeständig sowie schwind- und kriechfrei sein. Dafür eignet sich Polyurethan. (L-44) Außerdem ist es möglich, durch unterschiedlich weites Zusammenschieben verschiedene Bauhöhen zu erlangen. (L-45f)



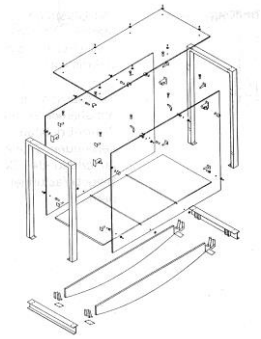
Ineinander gesteckte Polykarbonatplatten (L-46)

Weitere Möglichkeiten mit Sandwiches bestehen in der Nutzung des Zwischenraumes. Seile können bei Bruch die Zugbeanspruchung übernehmen. Prismen zur Lichtsteuerung sowie Sonnen- und Blendschutzeinrichtungen können integriert werden. Hochwärmegedämmte Sandwiches durch Ausfüllen der Zwischenräume mit Aerogel sind möglich. (L-46)

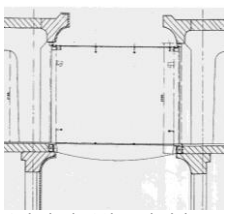
6. Beispiele für Ganzglaskonstruktionen

Die Transparenz einer Konstruktion auf die Spitze getrieben haben mit Sicherheit die Architekten D.J. Postel – Kraajivanger & Urbis mit einer Ganzglasbrücke als Verbindungssteg zwischen ihren Büros in Rotterdam. Zwei Glasträger aus VSG spannen über eine Länge von 3,20 m und tragen die Bodenplatte aus ebenso klarem VSG aus Floatglas. Die 2,30 m hohen Wandscheiben aus VSG aus ESG und TVG sind an den Wänden befestigt und tragen das Glasdach mit demselben Aufbau. Dach und Wandscheiben sind durch spezielle Punkthalter aus Edelstahl verbunden. (D-385ff; J-38f)

Glasbrücke Rotterdam (D-358)



Explosion der Glasbrücke (J-39)

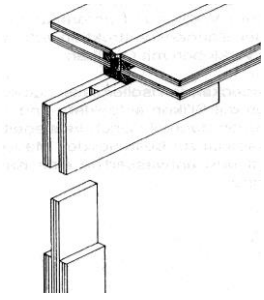


Schnitt (J-39) und Fixierung der Scheiben (D-360)

Eine Ganzglaskonstruktion, die sogar öffentlich genutzt wird, allerdings nicht in Deutschland, ist ein Museumsanbau in Kingswinford, England (Design Antenna (Architekten), 1994). Es wurde nur Glas, bis auf ein paar nicht sichtbare Stahlfassungen, verwendet. Die Tragstruktur des 11 x 5,7 x 3,5 m großen Körpers besteht aus Unterzügen und Stützen aus 3-fach verklebtem vorgespanntem Glas im Abstand von 1,10 m. Verbunden sind Stützen und Träger durch das einfache Prinzip der Verzapfung zu steifen Rahmenecken. Die Verbindungen sind mit Gießharz verschlossen. Die Stützen besitzen eine Tiefe von 20 cm, die Träger eine Höhe von 30 cm und spannen über 5,70 m Raumtiefe. Dach und Fassade bestehen aus 1,10 m breiten Isolierglastafeln, die außen aus Sonnenschutzglas und innen aus bedrucktem VSG fürs Dach, bzw. aus ESG an den Wänden bestehen. Das Dach ist für eine Schneelast von 0,75 kN/m² dimensioniert und kann auch zu Reinigungszwecken betreten werden. (A-282; D-262ff; F-88ff; H-59)

Anbau des Glasmuseums von außen (H-59)

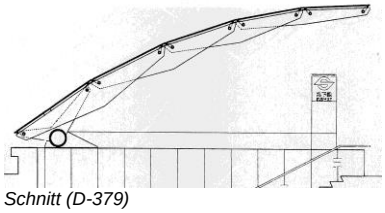
Glasvorbau von innen (F-92)



Detail-Axonometrie der Verzapfung Stütze-Balken (D-263)

Eine sehr interessante Kragkonstruktion ist die schwebend anmutende Überdachung eines U-Bahn-Zuganges im Tokio International Forum von R. Vignoly Architects (1996). Drei gläserne Kragarme tragen ein Dach von 10,60 m Tiefe. Jeder Kragarm besteht aus je vier Glasträgern im Auflagerbereich, zwischen die drei Glasbalken angeschlossen wurden, welche dann wiederum zwei und diese dann den letzten Träger im Knoten umfassen. Durch diese Überlappung wird die Kraft in den Glasträgern zum Auflager (aus einem Stahlrohr) übertragen. Die Form der Glasbalken und die Aufdopplung zum Auflager hin entspricht dem Kräfteverlauf des gesamten Systems. Die Glasbalken bestehen aus VSG aus zwei Mal ESG, genauso wie die Glaseindeckung, die durch Punktbohrungen in den Knotenpunkten fixiert wird. (D-378ff)

Glasdachuntersicht Tokio International Forum (D-381)



Schnitt (D-379)

7. Bemessung von Glaskonstruktionen

Glas ist bei bauüblichen Temperaturen vollkommen elastisch, obwohl es rein theoretisch eine unterkühlte (und damit feste) Flüssigkeit ist. Da diese Flüssigkeit aber solch eine hohe Viskosität hat, tritt für unsere Betrachtungszeiträume kein Kriechen und keine Relaxation auf. Das Elastizitätsmodul beträgt 70kN/mm² (Stahl: E=210kN/mm²)

Die Berechnung der Schnittkräfte einer belasteten Glastafel geht bei zweiseitig gelagerten Rechteckscheiben nach der Theorie kleiner Verformungen. Diese Theorie bringt höhere Spannungen hervor als die Theorie großer Verformungen, bei der Membraneffekte in der Scheibe berücksichtigt werden. Diese Membraneffekte entstehen bei vierseitiger Lagerung ab einer gewissen Verformung: es entsteht ein Druckring im äußeren Bereich und eine Zugzone im inneren Bereich der Glasplatte, wodurch niedrigere Biegespannungen entstehen. Zur Berechnung verwendet man hier die Bachsche Formel, bzw. bestehende Tafelwerke. Für runde und dreieckige Scheiben stehen auch Tafelwerke zur Verfügung. Allgemein werden heute die Schnittkräfte nach der Finite-Elemente- Methode berechnet. (A-96)

Zu dem Verfahren der Bemessung können drei Arten unterschieden werden:
a) Bemessung nach zulässigen Spannungen
b) nach Bruchwahrscheinlichkeiten
c) nach Grenzzuständen

7.1. Bemessung nach zulässigen Spannungen

Dieses Verfahren ist das einfachste und passt sich an die vorhandenen Verfahren an. Es ist allerdings sehr ungenau, die Ergebnisse erfassen die Realität nicht genau. Es sind hohe Sicherheitsbeiwerte erforderlich: zwischen 2,5 und 3 mal der Serienfestigkeit aus den Biegeversuchen. Daher ist dieses Verfahren nicht sehr geeignet. (A-96)

7.2. Bemessung nach Bruchwahrscheinlichkeiten (Verfahren nach Blank)

Hierbei wird der statistische Charakter der ausnutzbaren Festigkeit erfasst. Belastungszeit, beanspruchte Fläche und Umgebungsfeuchte gehen in die Berechnung mit ein und werden mit Hilfe der Bruchmechanik beschrieben. Daher werden für jeden Lastfall alle Bruchwahrscheinlichkeiten über die belastete Glasfläche und die Einwirkungszeit summiert. Dieses Verfahren ist zwar sehr kompliziert, dafür korrekt. Für Standardbauteile, zum Beispiel Rechteckplatten, wurden schon Tabellen vorbereitet. (A-97)

7.3. Bemessung nach Grenzzuständen

Dieses Verfahren berücksichtigt darüber hinaus die statistischen Streuungen auf der Material- und Lastseite (Wind, Schnee...), sowie verschiedene Grenzzustände oder Versagensarten der gesamten Konstruktion. Es wird die Auswirkung eines Bauteilversagens beschrieben, das heißt die Rolle eines Bauteiles für die Standsicherheit der Konstruktion insgesamt. Bemessungskonzepte im Bauwesen (bei Stahl, Holz, Stahlbeton) werden bisher nur als „safe-life-concept“ durchgeführt. Das heißt, jedes Bauteil muß unbedingt ausfallsicher sein. Für Glas ist dieses Konzept aber wegen der Möglichkeit des Spontanbruchs und Gewalteinwirkung nicht anwendbar. Im Flugzeugbau wird zwischen zwei Konzepten unterschieden: safe-life und fail-safe-concept. Letzeres läßt Bauteilversagen zu, welches aber nicht zum Versagen der gesamten Konstruktion führt. Dieses Konzept ist auch für Glas anwendbar. Hierbei muß der Ausfall einzelner Bauteile in Szenarien betrachtet werden. Das geschädigte Glasbauteil muß dabei eine Resttragfähigkeit, und die Gesamtkonstruktion eine Reststandsicherheit aufweisen. Verformungen werden hierbei für das geschädigte Bauteil und die Gesamtkonstruktion zugelassen (A-97)

Die Resttragfähigkeit ist für besondere Bereiche separat spezifiziert: im Überkopfbereich dürfen keine Bruchstücke herunter fallen, während das gebrochene Glas noch mit vollem Eigengewicht und reduzierter Schneelast beansprucht wird. Daher sind dort VSG oder Drahtglas einzusetzen. Bei stehenden Verglasungen oberhalb von Verkehrsflächen (Fassaden) gilt dementsprechendes, wobei hier noch die Gefahr des Spontanbruchs durch Gewalt hinzukommt. Bauteile mit absturzsichernder Wirkung müssen unter stoßartiger Belastung mit weichem Stoßkörper berechnet werden. Betretbare Glasflächen werden nur zu Reinigungszwecken mit relativ sauberen Schuhen betreten, wobei begehbare Flächen außerdem für höhere Lasten ausgelegt sein müssen. Hier ist VSG mit mindestens drei Scheiben erforderlich. (A-98f)

8. Anwendungsbedingungen für Glaskonstruktionen

Erster wichtiger Beachtungspunkt bei Glaskonstruktionen ist die Vermeidung von Reibung des Glases auf Glas, Metallen etc. Daher sollen weiche Zwischenlager aus Kunststoff oder Aluminium verwendet werden, die unkontrollierte Spannungsspitzen infolge Reibung verhindern können. Zweite sehr wichtige Bedingung, insbesondere bei Glas als Sekundärtragelement ist dessen zwängungsfreie Lagerung. Das heißt, Dehnungen der unterschiedlichen Bauteile (-materialien) dürfen keine zusätzlichen Belastungen auf das Glas bringen. (F-108; D-158). Außerdem ist zu beachten, daß Fugen mindestens 4 mm breit sein sollen, die Auflagerbreite bei vierseitiger Lagerung 10 mm, bei zweiseitiger Lagerung 15mm, bei Klemmplatten 1000mm² Klemmfläche betragen soll. Lochbohrungen müssen größer als die Glasdicke sein mit einem Randabstand der doppelten Glasdicke.

Viele weitere Bedingungen sind in Vorschriften, Regeln, Gesetzen und Normen beschrieben: Je nach verwendeter Glasart (ESG, TVG, VSG, Mehrscheibenisolierglas MIG) bestehen Vorschriften. Die DIN schreibt für Fassadenverglasungen zur Sicherheit ESG vor, bei einer Fassadenhöhe ab 8m zusätzlich eine Sicherung gegen Herunterfallen (z.B. VSG). Für structural glazing – Fassaden genügen in Deutschland nicht die alleinige Verklebung mit Silikon, sondern es sind zusätzliche mechanische Fixierungen notwendig. Bei Überkopfverglasungen ist VSG, nicht aus ESG, vorgeschrieben. (A-320; C-293, D-161)

Der Brandschutz muß im Einzelfall abgeklärt werden (A-320)

Weiterhin bestehen Anforderungen an den Wärme und Schallschutz (DIN 4108 Teil4 und DIN 4109)

Leider ist Glas noch nicht ausreichend erforscht und dessen Eigenschaften in Normen und Gesetzen erfaßt, so daß die heutigen Standards und Normen hinter dem Stand der Technik sind und einen konstruktiven Einsatz von Glas erschweren. Oft müssen teure Einzelnachweise solche Normen ersetzen, was dazu führt, von dem (eigentlich billigen) Material Glas Abstand zu nehmen, und alternative, konventionelle Konstruktionen zu verwenden. (A-47)

Material Glas

DIN 1249	Teil 1	Flachglas im Bauwesen, Fensterglas, Begriff, Maße
	Teil 3	Flachglas im Bauwesen, Spiegelglas, Begriffe, Maße
	Teil 4-	Flachglas im Bauwesen, Gul3glas, Begriffe, Maße
	Teil 5	Flachglas im Bauwesen, Profilbauglas, Begriffe, Maße
	Teil 10	Flachglas im Bauwesen, chemische und physikalischeEigenschaften von Glas
	Teil 11	Flachglas im Glaskanten
	Teil 12	Flachglas im Einscheiben-Sicherheitsgras
EN 572	Teil 1	Definitionen und physikalische Eigenschaften
	Teil 2	Floatglas
	Teil 3	Poliertes Drahtglas
	Teil 4	Gezogenes Flachglas
	Teil 5	Ornamentglas
	Teil 6	Drahtornamentgras
	Teil 7	Profilbauglas mit oder Drahteinlage
prEN 1096	Teil 1	Beschichtetes Glas im Bauwesen
	- Teil 1:	Definitionen und Klasseneinteilungen
prEN 1096	Teil 2	Beschichtetes Glas im Bauwesen
	-Teil 2:	Prüfverfahren für die Dauerhaftigkeit der Klassen A, Bund 5 Beschichtungen
prEN 1096	Teil 3	Beschichtetes Glas im Bauwesen
	-Teil 3:	Prüfverfahren für die Dauerhaftigkeit der Klassen 0und D Beschichtungen
prEN 1096	Teil 4	Beschichtetes Glas im Bauwesen
	-Teil 4:	Werkseigene Produktionskontrolle und Konformitätsbewertung
DIN 1238		Spiegel aus silberbeschichtetem Spiegelglas
prEN 1036		Spiegel aus beschichtetem Floatglas für Innenbereich
DIN 11 525		Gartenblankglas
DIN 11 526		Gartenklarglas
DIN 1259		Glas-Begriffe für Glaserzeugnisse
DIN 52333		Prüfung von Glas, Härteprüfung nach Knoop
DIN 52322		Prüfung von Glas, Laugenbeständigkeit
IN 12116		Prüfung von Glas, Säureklasse
DIN 12 111		Prüfung von Glas, Hydrolytische Klassen
prEN 12150		Thermisch vorgespanntesSicherheitsglas
prEN 12024		Thermisch vorgespanntes Borosilikat-Sicherheitsglas
prEN 1863		Teilvorgespanntes Glas
prEN 12337		Chemisch vorgespanntes Glas
prEN 12543	Teil 1	Verbundglas und Verbundsicherheitsglas Definitionen und Beschreibung von Bestandteilen
	Teil 2	Verbundglas und Verbundsicherheitsglas, Verbundsicherheitsglas
	Teil 3	Verbundglas und Verbundsicherheitsglas, Verbundglas
	Teil 4	Verbundglas und Verbundsicherheitsglas, Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit
Teil 5		Verbundglas und Verbundsicherheitsglas, Masse und Kantenbearbeitung
	Teil 6	Verbundglas und Verbundsicherheitsglas Aussehen
prEN 1748-1		Borosilikatglas
prEN 1748-2		Glaskeramik
prEN 1096		Beschichtetes Glas
prEN 1279	1-6	Isolierglas

Wärmeschutz

Energieeinsparungsgesetz vom 22. Juli 1976

Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994

DIN 4108	Teil 2 und Teil 4 Wärmeschutz im Hochbau
DIN 52612	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät
prEN 673	Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten — Berechnungsverfahren
prEN 674	Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten — Verfahren mit dem Plattengerät
prEN 675	Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten — Wärmestrommesser-Verfahren
prEN 12898	Bestimmung des Emissionsgrades

Schallschutz

VDI-Richtlinie 2719 Schalldämmung mit Fenstern

DIN 4109 Schallschutz im Hochbau; Beiblatt 1 und 2

DIN 52210 Bauakustische Prüfungen

EN 20717 Teil 2

prEN 125758 Teil 1 Glas im Bauwesen — Glas und Luftschalldämmung — Teil 1 Definitionen und Bestimmung der Eigenschaften

Sonnenschutz, strahlungsphysikalische Daten

DIN 67507 Lichttransmissionsgrade. Strahlungstransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlaßgrad von Verglasungen

prEN 410

D1N4108 Teil2 Wärmeschutz im Hochbau

Sicherheit

DIN 52290 Teil 1 bis 5 Angriffshemmende Verglasung

DIN 52349 Bruchstruktur von Glas für bauliche Anlagen

DIN 52338 Kugelfallversuch für Verbundglas

DIN 52337 Pendelschlagversuche

prEN 12600:1996-09 Glas im Bauwesen, Pendelschlagversuch, Verfahren und Durchführungsanforderung:'-. Stoßprüfung von Flachglas

DIN 18103 Einbruchhemmende Türen DIN 18038 Sporthallen, Squash-Hallegrundlagen für Planung Lind Bau

DIN 50049 Bescheinigung über Werkstoffprüfung

DIN V19054 Fenster, einbruchhemmende Fenster, Begriffe, Anforderungen u. Prüfung

prEN 356 Sicherheitsglas — Prüfung zur Einstufung der Widerstandsklasse gegen Angriff mit der Axt

prEN 12603 Glas im Bauwesen — Bestimmung und Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas —Schätzverfahren und Bestimmung der Vertrauensbereiche für Daten mit Weibull-Verteilung

Brandschutz

DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

DIN 18095 Türen, Rauchschutztüren, Anforderungen und Begriffe

Statik, Festigkeit

MBO Musterbauordung

LBO Landesbauordnungen der

DIBt Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Uberkopfverglasungen

DIBt Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Vertikalverglasungen (Entwurf)

- Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen an zustimmungspflichtige Vertikalverglasungen, Februar 1998.
- Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen an zustimmungspflichtige Uberkopfverglasun$_9$en, Februar 1998.
- Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen an begehbare Verglasungen im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall, Februar 1998.

EOTA-Richtlinie Guideline for European-Technical Approval for Structural Sealant Glazing Systems (5505), Fassung Oktober 1997 (Entwurf)

DIN-ENV-1991 Eurocode 1 Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke

ENV 1991-1 Eurocode 1 Grundlagen der Berechnung

ENV 1991 2.1 Eurocode Dichte, Eigengewicht

ENV 1991 2.3 Eurocode Windlasten

ENV 1991 2.4 Eurocode Schneelasten

DIN 52303 Bestimmung der Biegefestigkeit

DIN 52292 Teil 1 Bestimmung der BiegefestigkeitDoppeiringbiegeversuch an plattenförmigen Proben mit kleinen Prüfflächen

DIN 52292 Teil 2 Prüfung von Glas und Glaskeramik. Bestimmung der Biegefestigkeit an plattenfärmigen Proben mit großen Prüfflächen

DIN 52299 Messung der Oberflächenspannung von thermisch vorgespanntem Glas

DIN 52300 Teil 1 Glas im Bauwesen. Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas. Einführung zur Prüfung von Glas

DIN 52303 Teil 1 Prüfungsverfahren von Flachglas im Bauwesen. Bestimmung der Biegefestigkeit Prüfung bei zweiseitiger Auflagerung

DIN 52338 Prüfverfahren für Fachglas im Bauwesen. Kugelfallversuch für Verbundglas

DIN 52349 Bruchstruktur von Glas für bauliche Anlagen

DIN 18055 Fenster

DIN 18056 Fensterwände, Bemessung und Ausführung

DIN 18516 Teil 1 Außenwandverkleidungen, hinterlüftet, Anforderung, Bemessungen, Prüfung

DIN 18516 Teil 4 Außenwandverkleidung, hinterlüftet. ESG, Anforderungen, Bemessungen, Prüfung

DIN 32622 Aquarien

DIN 1055 Lastannahmen für Bauten

DIN 11 535 Gewächshausbau

Andere Fachgebiete

DIN 1286 Mehrscheiben-Isolierglas

DIN 1259 Teil 1 Glas, Begriffe für Glasarten

DIN 1259 Teil 2 Glas, Begriffe für Glaserzeugnisse

DIN 5111 C Teil 3 Prüfung von keramischen Hochleistungswerkstoften. 4-Punktbiegeversuch. Statistische Auswertung. Ermittlung der Weibull-Parameter

DIN 511 1C Teil 1 Prüfung von keramischen Hochleistungswerkstotten. 4-Punkt-Biegeversuch bei Raumtemperatur (Entwurf)

DIN 5229~ Bestimmung der Beladung von Trocknungsmittel in Mehrscheiben-Isolierglas

DIN 18545 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen

DIN 18055 Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung, Anforderungen und Prüfungen

EN 1026 Fenster und Türen, Fugendurchlässigkeit, Prüfverfahren

DIN 18175 Glasbausteine

DIN 7863 Nichtzellige Dichtprofile im Fenster- und Fassadenbau

DIN 4243 Betongläser

DIN 4242 Glasbaustein-Wände

DIN 1836 Verglasungsarbeiten(VOB Teil 0) 09.88

DIN 1836 Metallbauarbeiten (VOB Teil 0) 06.96

DIN 6812 Holzfensterprofile

DIN 52293 Prüfung der Gasdichtigkeit von gasgefülltem Mehrscheiben Isolierglas

DIN 5246C Fugen- und Glasabdichtungen

DIN 52455	Haft- und Dehnversuch
DIN 52~5-	Standvermögen von Dichtstoffen
DIN 52452	Verträglichkeit der Dichtstoffe
DIN 523~5	Bestimmung der Taupunkttemperatur an Mehrscheiben Isolierglas
DIN 523~L	Klimawechselprüfung an Mehrscheiben-Isolierglas
DIN 5232~	Bestimmung des Längenausdehnungskoeffizienten; Prüfung von Glas
DIN 52313	Bestimmung der Temperaturwechselbeständigkeit von Glaserzeugnissen
DIN 503~	Teil 1 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht — Allgemeine Anforderungen
	Teil 2 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht — Grundlagen
	Teil 3 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht — Berechnung
	Teil 4 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht — Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume
	Teil 5 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht — Messung
	Teil 6 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht — Vereinfachte Bestimmung zweckmäßigerAbmessungen von Oberlicht Öffnungen in Dachflächen
prEN 32573	Wärmebrücken im Hochbau, Wärmestrom und Oberflächentemperaturen — Allgemeine Berechnungsmethoden

(A-320f)

Für mehr Übersichtlichkeit sind nicht die Artikel der Zeitschriften einzeln angegeben, sondern nur die Zeitschriften, da diese Liste sonst viel zu lang werden würde. Die Literaturangaben beziehen sich auf die Nummerierung dieser Liste; hinter dem Bindestrich steht die Seitenzahl.

Literaturverzeichnis

Bücher:

A Balkow, Schittich, Schuler, Sobek, Staib; Glasbauatlas, Birkhäuser Verlag; Basel, Boston, Berlin; 1998

B Button D., Colvin J., Cunliffe J., u. a.; Glass in Building, A Guide to Modern Architectural Glass Performance; Butterworth Architecture; Oxford; 1993

C INTERPANE; "Gestalten mit Glas"; 5. erweiterte Auflage; Lauenförde; September 1997

D Knaak Ulrich; Konstruktiver Glasbau; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller; Köln; 1998

E Pfaender Heinz G.; Schott Glaslexikon; mvg; München; 1983/84 (2. Auflage

Zeitschriften:

F db – deutsche bauzeitung; 4/97 Glas; Deutsche Verlags-Anstalt; Stuttgart; 1997

G DETAIL Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Bauen mit Glas, Serie 1991 Nr. 1; Institut für internationale Architektur–Dokumentation; München; 1991

H DETAIL Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Bauen mit Glas; Serie 1995 Nr. 1

I DETAIL Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Bauen mit Glas; Serie 1998 Nr. 3

J GLAS Architektur und Technik; 2/95 Konstruieren mit Glas; Deutsche Verlags-Anstalt; Stuttgart; 1995

K GLAS Architektur und Technik; 5/99 Konstruieren mit Glas

L glasforum; 3-91; Karl Hofmann Verlag; Schorndorf; Mai 1991

M glasforum; 4-91; August 1991

N glasforum; 1-93; Februar 1993

O glasforum; 4-93; August 1993

P glasforum; 1-99; März 1999

Q glasforum; 2-99; Mai 1999

R glasforum; 3-99; Juli 1999