

GLASKONSTRUKTIONEN

- Berechnung von punktförmig gehaltenen Systemen

Marc Quint

Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Reutlingen

SOFiSTiK

10. Anwender-Seminar

20. und 21. Juni 1997

München

GLASKONSTRUKTIONEN

- Berechnung von punktförmig gehaltenen Systemen

Marc Quint

Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Reutlingen

ZUSAMMENFASSUNG: Als wohl wesentliche Ausdrucksform der zeitgemäßen Architektur dient immer häufiger die Anwendung von Glas nicht nur als "durchsichtiger Raumabschluß" sondern immer stärker als Gestaltungselement in Form und Funktion. Es seien nur exemplarisch die Konstruktionen der Leipziger Messe, des Flughafenhotels Kempinski in München und des World Trade Center in Dresden genannt, stellvertretend für all die vielen Versuche des Einsatzes von Glas als primäres bzw. sekundäres Tragelement.

Neueste Bestrebungen gehen zum Beispiel in Richtung der planmäßigen Druckbeanspruchung etwa in Form von unterspannten Glastafeln, wie es am Neubau des Spielkasinos Stuttgart oder der Dachverglasung der Schloßruine Juval, Italien gezeigt wurde.

Ein Umdenken in der Anwendung und den Möglichkeiten im Einsatz von Glas sorgt für eine den besonderen Materialeigenschaften und der ästhetischen Eleganz von Glas angepaßte Verwendung. Eine "Vergewaltigung" durch unproportionierte, inadäquate oder deplazierte Haltesysteme sollte vermieden werden - man sollte aus Fehlern anderer lernen.

Eine Art der Konstruktion ist die Anordnung von punktförmig gehaltenen Konstruktionen bei deren Anwendung sehr komplexe Beanspruchungen entstehen, die zum Teil verborgen bleiben aber durchaus auch zu Versagensfällen führen können. Die derzeit zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden bzw. -hilfsmittel sind nur eingeschränkt anwendbar und handhabbar. Dem "normalen" Ingenieur ist es oft nicht möglich zutreffende Berechnungen zu erstellen, zum Teil aus Unkenntnis zum Teil aus Unvermögen - seinem eigenen oder dem seiner Hilfsmittel.

Beim Planer und Ingenieur muß zum einen ein Bewußtsein für die Besonderheiten des Werkstoffes Glas geweckt werden und zum anderen müssen bessere Methoden zur Bemessung zur Verfügung stehen.

1. GRUNDLAGEN

Die am häufigsten vorkommenden Arten von Verglasungen sind Dachverglasungen, meist Überkopfverglasungen, Fassadenverglasungen mit oder Funktion als Absturzsicherung und seit geraumer Zeit begehbare Gläser.

Die Grundlagen zur Berechnung von Verglasungen aus Einscheiben- bzw. Verbundverglasungen bilden die DIN 1249 und die DIN EN 1863 bzw. DIN EN 572.

Weitere Bestimmungen und Anforderungen legen die Landesbehörden fest. In Baden-Württemberg ist dies die Landesstelle für Bautechnik des Landesgewerbeamtes Baden-Württemberg welche entsprechend den Erkenntnissen der Sachverständigenausschüsse die erforderlichen Nachweise im Rahmen der *Zustimmung im Einzelfall* festlegt.

Die zulässigen Spannungen für ESG (Einscheibensicherheitsglas, voll-vorgespannt) werden mit zul. $S_{1,A} = 50 \text{ N/mm}^2$ und für TVG (teilvorgespanntes Glas) mit zul. $S_{1,A} = 29 \text{ N/mm}^2$ im Gebrauchszustand festgelegt.

Sollte ein Nachweis der Resttragfähigkeit gefordert werden, so ist ein Versagen (Bruch, Ausfall) der äußeren Scheibe anzunehmen und die Spannungen der verbleibenden Gläser dürfen für ESG zul. $S_{1,B} = 75 \text{ N/mm}^2$ und für TVG zul. $S_{1,B} = 44 \text{ N/mm}^2$ nicht überschreiten.

Als Ersatz für den Nachweis der Resttragfähigkeit ist das Ausbilden einer Unterkonstruktion möglich, welche das Herabfallen des zerstörten Glases verhindert. Dies ist in der Regel aber nur für Verbundsicherheitsglas möglich.

2. BERECHNUNGS- BZW. KONSTRUKTIONSGRUNDSÄTZE

Glas ist ein sprödes Material und wird physikalisch als unterkühlte Flüssigkeit definiert.

Ein Konstruktionsgrundsatz ist, daß zwischen Glas und Stahl kein Kontakt entstehen darf. Zur Trennung der Materialien werden die Fugen mit Elastomeren, Polyethylen, Silikon oder z.B. Aluminiumhülsen gefüllt.

Ein weiteres Prinzip sollte sein, die Konstruktion so zu entwickeln, daß möglichst geringe Zwangsbeanspruchung auf die Gläser ausgeübt wird. Starre Halterungen (z.B. Reibverbindungen) sind möglich und eventuell sinnvoll, sie stellen jedoch eine vordefinierte Bruchstelle dar, welche besondere Aufmerksamkeit erfordert.

Da die Lagerungsbedingungen durch Kontaktverbindungen gebildet werden sind für korrekte Spannungsermittlungen im Lagerungsbereich immer Lastfallkombinationen zu betrachten. Eine Überlagerung von getrennt gerechneten Lastfälle, wie sonst üblich, ist streng genommen nicht möglich, da in einem Lastfall Druckspannungen durch Kontakt an einer Stelle entstehen wo bei einem anderen Lastfall ein "Klaffen" eintritt.

Für statisch unbestimmt gelagerte Systeme, insbesondere vierseitig, linienförmig gelagerte Scheiben können geometrisch-nichtlineare Berechnungen deutliche Spannungsänderungen und -umlagerungen ergeben. Es handelt sich bei einer Vielzahl von Systemen um membranartige Tragwerke, welche durchaus andere Tragcharakteristika aufweisen als die Berechnungen als Platte, Scheibe oder Schale vermuten lassen.

Insbesondere sind Einwirkungen aus Temperatur in Kombination mit den anderen Lastfällen zu berücksichtigen. Sie stellen Zwangsbeanspruchungen dar, deren Spannungen entweder durch Verformungen abgebaut werden oder zu kritischen Spannungsspitzen führen können.

Die Materialkennwerte sind vielen Planern nicht umfassend bekannt oder werden womöglich bei der Ausführung durch mangelnde Kenntnis der Konsequenzen verändert. So ist es durchaus möglich, daß planmäßig teilvorgespannte Gläser auf der Baustelle als ESG angeliefert werden, daß Fugen welche nach der Montage mit Gießharz zu verfüllen sind leer bleiben und zum "Erblinden" des Glases führen und ähnliche Unachtsamkeiten, die mehr oder weniger auch das Tragverhalten beeinflussen können.

Die Montage der werksmäßig hergestellten Gläser auf der Baustelle sollte bereits in der Planung berücksichtigt werden, denn was nützt eine Paßverbindung mit PLANAR, wenn die Unterkonstruktion erst "hingebogen" werden muß um Maßtoleranzen aufzufangen. Nicht unerwähnt sollte bleiben, daß dies wahrscheinlich zu einem weiteren Spannungsanteil führt, der in der Ursprungsberechnung keinen Eingang gefunden hat.

Es sei angemerkt, daß die derzeit geltenden Richtlinien für Verbundverglasungen vorsehen, daß der Schubverbund welcher durch die Polyvinylbutyral-Schicht (PVB) entsteht sowohl bei der Verformungsberechnung sowie bei der Spannungsermittlung nicht in Ansatz gebracht werden darf. Diese Forderung stützt sich auf die temperatur- und kriechabhängigen Eigenschaften dieses Materials.

Für die Berechnung von Glaskonstruktionen werden derzeit sowohl Platten-, Schalen- und Volumenlemente eingesetzt. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt von unzähligen Faktoren ab und kann nicht verallgemeinert werden. In einigen Fällen sind reine Plattenberechnungen ausreichend, wohingegen in komplexen Fällen selbst Untersuchungen mit Kontinuumselementen unter Berücksichtigung von Kontaktflächen sowie materialbedingten und geometrischen Nichtlinearitäten zweifelhafte Ergebnisse erzielen.

3. BEISPIEL EINER DACHVERGLASUNG

Gegenstand der Berechnung ist eine Dachverglasung eines neu errichteten Treppenhauses als Erweiterung eines alten Fachwerkhauses (vgl. Bilder 1 und 2). Die primäre Tragkonstruktion ist ein Stahlrahmentragwerk bestehend aus HEB-Stahlprofilen.

An diese wurden Flachstahlhalter (vgl. Bild 3) angeschweißt. An die Enden der Flachstähle wurden Bolzen $d=10\text{mm}$ befestigt und mit den gelenkigen Punkthaltern System RODAN (vgl. Bild 4) verschraubt.



Bild 1 Vollverglaster Anbau eines Treppenhauses

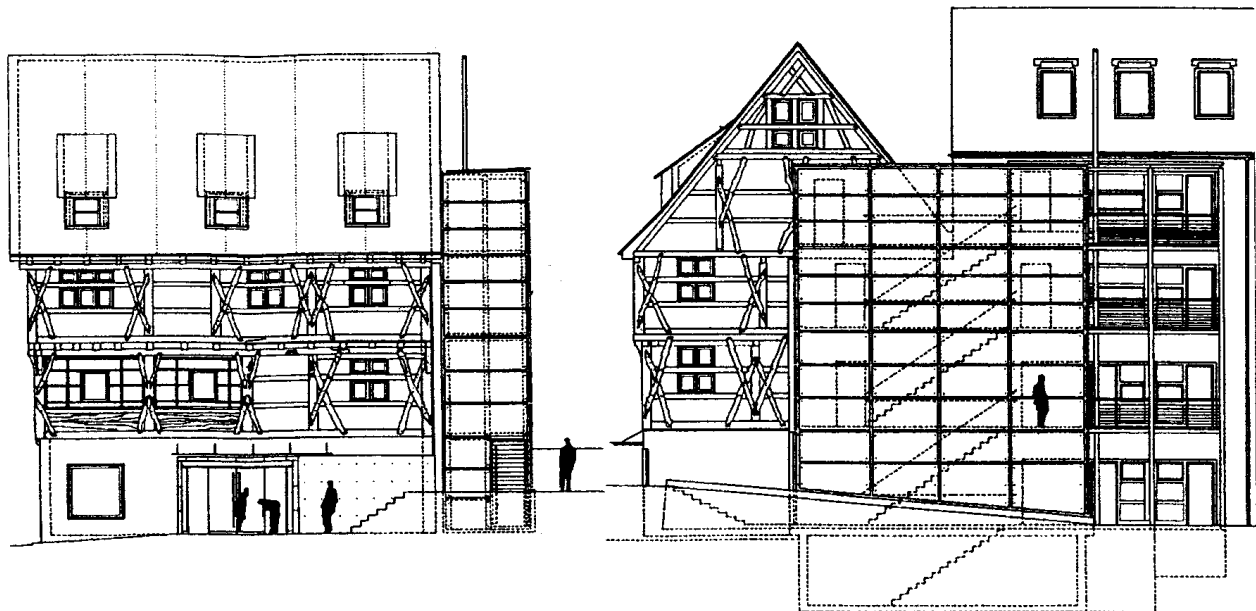
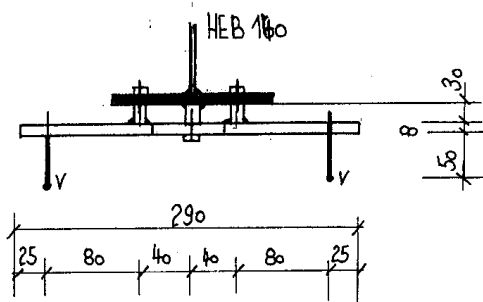


Bild 2 Ansichten der Konstruktion

System Glashalter Typ I

Draufsicht:



Ansicht:

Bahrung neu, M10
+ Bolzen $\phi 18$

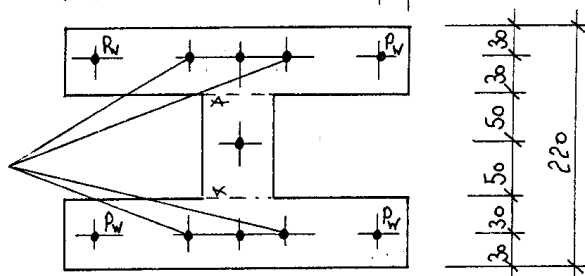


Bild 3 Flachstahlhalter

Für die durchgeführte Näherungsberechnung der Dachverglasung von $l/b = 2769/1390$ mm mit 6 Unterstützungen wurde das Verbundglas aus zweimal 8mm ESG durch eine Scheibe von 8mm in der Mitte beider Scheiben aus Schalenelementen diskretisiert. Die Berechnung liefert somit die doppelten Verformungs- und Spannungswerte. Die Verbundwirkung muß gemäß den Richtlinien der Baubehörden unberücksichtigt bleiben (!).

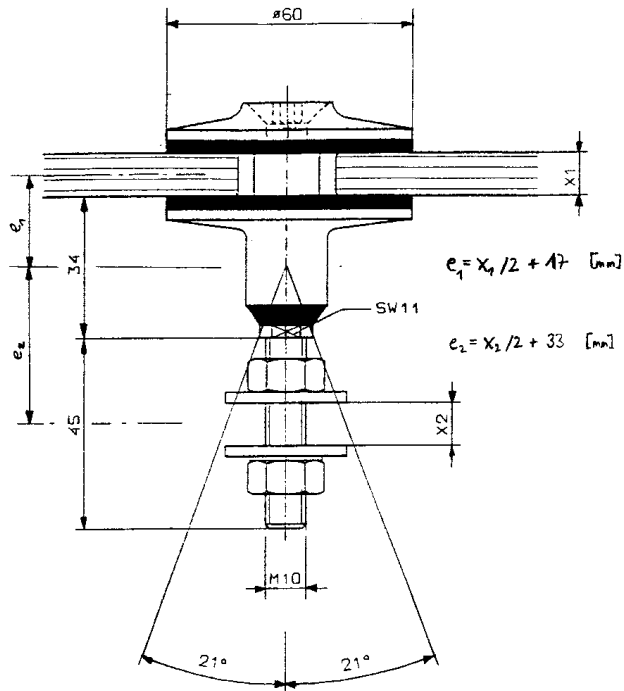


Bild 4 Punkthalter System RODAN

Mittels eines CAD-Programms wurden die Gesamtstruktur und die Haltepunkte gezeichnet und via DXF-Dateien in der Dimension [mm] (!) an das Programm NEGER übertragen und im 3-D interaktiv weiterverarbeitet.

Die Glasscheibe in der näheren Umgebung der Bohrung (ca. 12x12cm) wurde im "Innern" aus einem Kreisring gebildet. Es wurden 8 Strukturflächen mit jeweils 3x3 Elementen unterteilt. Der äußere Teil bildet den Übergang (Transition) vom kreisförmigen Lochbereich zum rechtwinkligen Raster der Reststruktur (vgl. Bild 5).

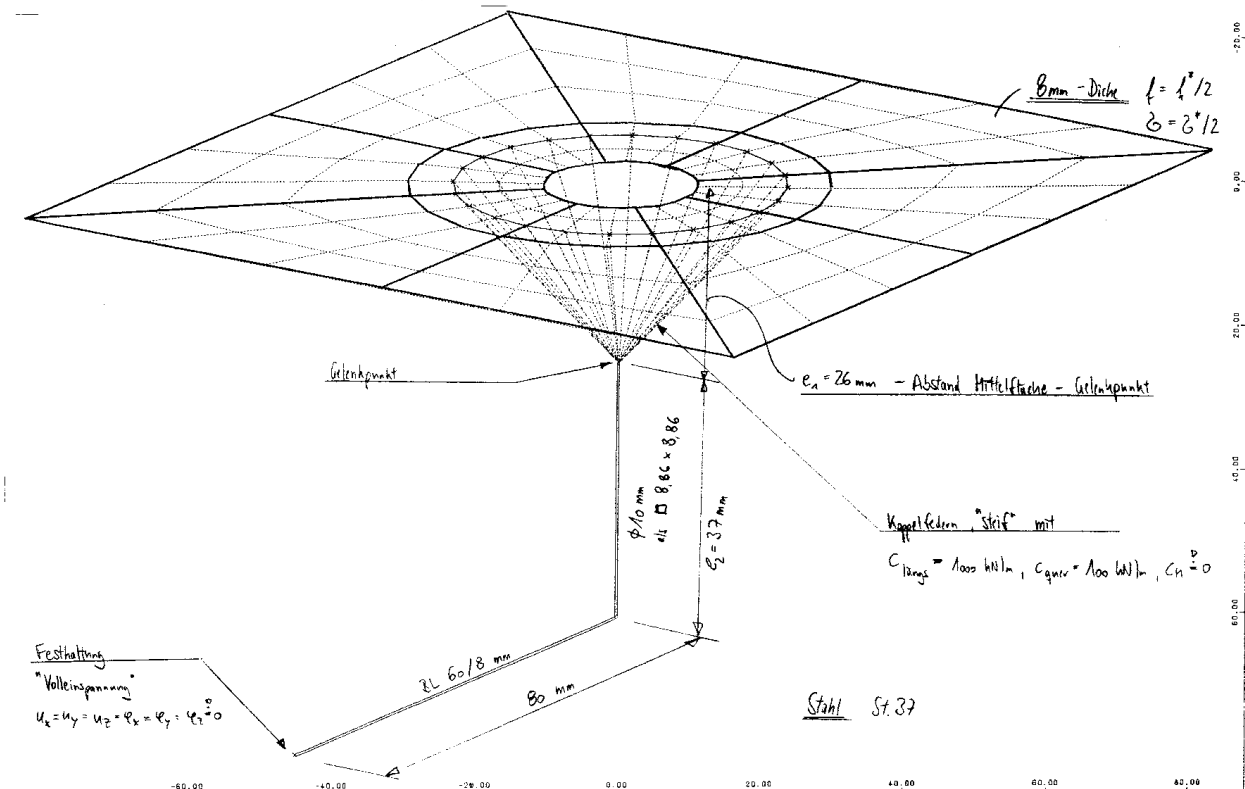


Bild 5 Haltepunkt aus Programm NEGER

Es wurden zuerst alle Strukturflächen mit jeweils 4 Ecken bestimmt, welche anschließend elementiert wurden. Dieses Netz wurde dann mit Hilfe der Funktion FLÄ-ELEM rnd-kno+i und der Option lot auf die Kreislinien verzerrt um einen möglichst stetigen Übergang zu erzielen.

Es wurde nun für die Berechnung der Glasscheiben gefordert, die Nachgiebigkeit der Befestigung einschließlich der Exzentrizitäten und Gelenke in den Haltern hinreichend genau zu erfassen. Hierzu wurde angenommen, daß die Stahlrahmen-Konstruktion nahezu unverschieblich ("steif") bzgl. der Wirkungen aus der Glaskonstruktion ist bzw. deren Verformungen keine nennenswerten Einflüsse auf die Rechenergebnisse hat.

Die Exzentrizität der Lagerung wurde durch Anordnung von zwei Biegestäben als geknickter Stabzug diskretisiert (vgl. Bild 5). Das Kugelgelenk im RODAN-Halter liegt außerhalb der Glasebene und wurde an dem Ende des Bolzens angenommen.

Die Verbindung der Glasscheiben mit dem Halter wurde nun als Koppelung mittels 24 "steifer" Federn ($c_{w,i}=1000\text{kN/m}$, $c_{Q,i}=100\text{kN/m}$) auf den Gelenkpunkt hin angenähert. Die Lage der Kopplungspunkte auf der Mittelfläche der Glasscheibe wurden in die Mitte der kreisringförmigen Elastomerplatte (EPDM) gelegt.

Unter Berücksichtigung der für die Knotenbereiche festgelegten Elemententeilung wurde die Reststruktur getrennt gebildet. Die sich kreuzenden Strukturflächen wurden in deutlich größere Elemente unterteilt. Um einen möglichst guten Übergang zum Knotenbereich zu erzielen wurden mit FLÄ-ELEM rnd-kno+i Elementlinien in Nähe der Knoten verschoben und zusätzliche Elementlinien mit FLÄ-ELEM linie eingefügt (vgl. Bild 6).

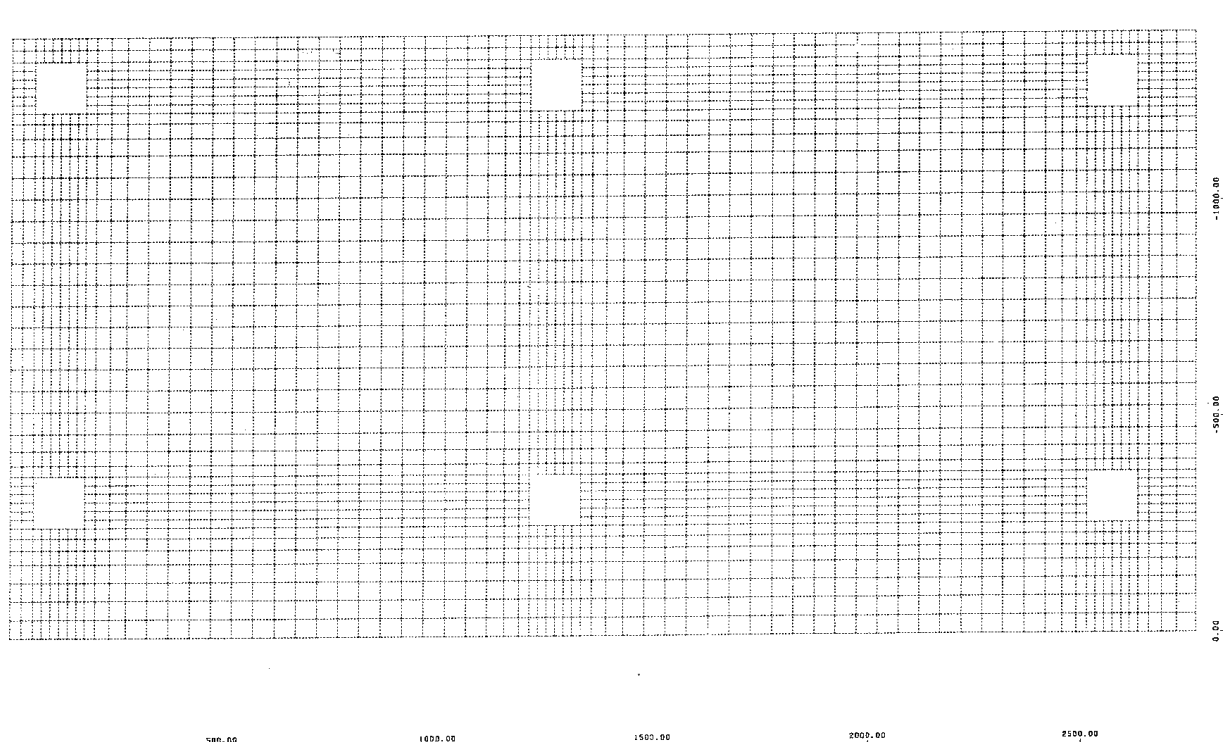


Bild 6 Reststruktur vor Einfügen der Haltepunkte

In diese Struktur wurden die Knotenpunkte 6x mit der Funktion EINFÜGEN NDB-einf an die Haltepunkte eingesetzt um die Gesamtstruktur zu bilden. Auf die nun vollständige Struktur wurden anschließend die Lasten aus Eigengewicht, Schnee und Temperatur aufgebracht und die Berechnungsdatensätze generiert.

Die erzeugten Dateien mußten noch mit der Option UNIA 2 UNIE 2 auf das Einheitensystem des Stahlbaus gesetzt werden, da die Längen in [mm] die Lasten aber in [kN,m] eingeben wurden. Die Stabquerschnitte mußten noch um I_z ergänzt werden und die Lastfallüberlagerung wurde mittels PROG MAXIMA definiert.

Die Ausgabe im Anschluß an die Berechnung erfolgte mit dem interaktiven GRAFX wobei für die Nachweise der Lastfall mit der größten Hauptzugspannung maßgebend ist. Die Ermittlung erfolgte im Modul HOEH durch Auswahl der verschiedenen Spannungsgrößen sig-I-o, sig-I-u bzw. sig-II-o und sig-II-u. Die bestimmende Spannungsverteilung ist in Bild 7 an der Gesamtstruktur und in Bild 8 am maßgebenden Knotenpunkt dargestellt.

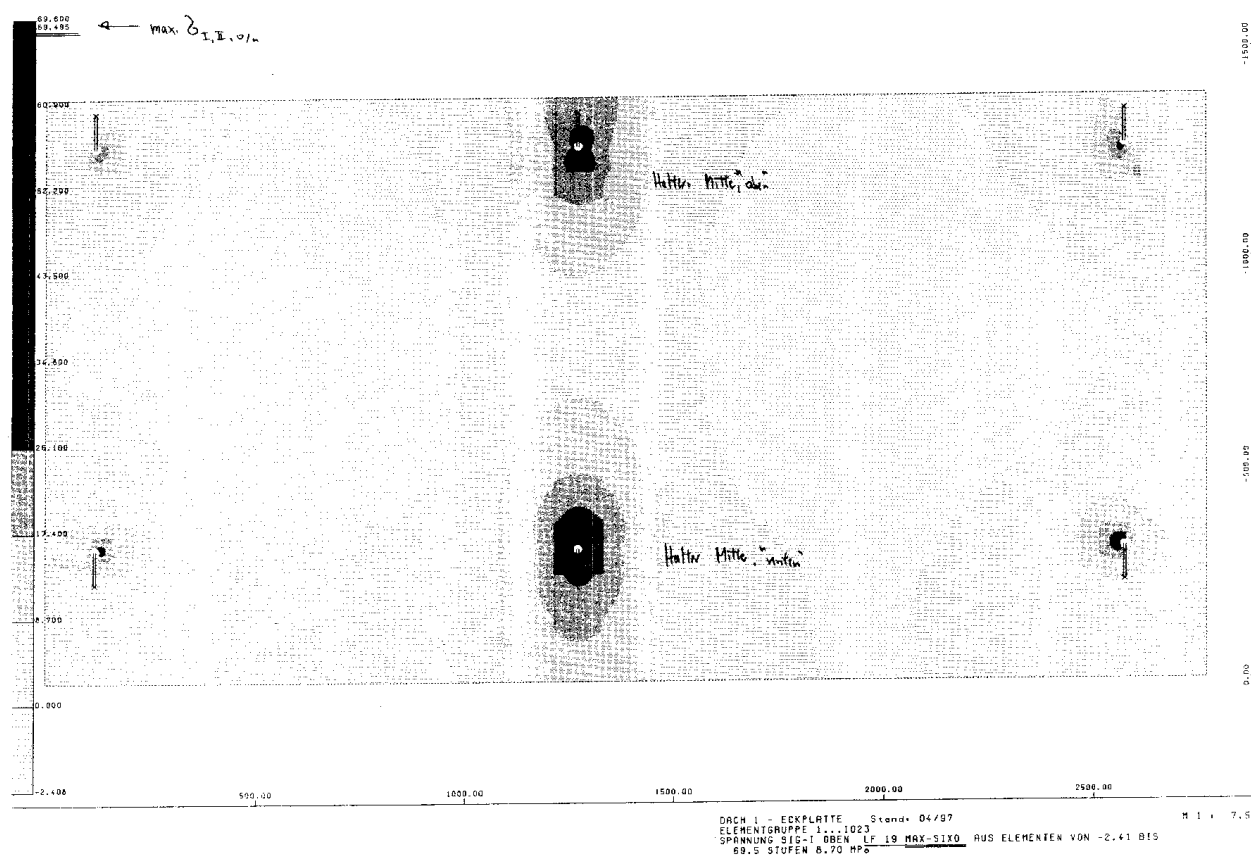


Bild 7 Spannungsverteilung sig-I-o der Gesamtstruktur

Die Spannungen liegen mit $\text{Sigma} = 69.495 / 2 = 35.0 \text{ N/mm}^2$ unter den zulässigen Spannungen für den Gebrauchszustand von zul. $S_{1,A} = 50 \text{ N/mm}^2$ und selbst unter Berücksichtigung des Ausfalls einer Scheibe unter dem Wert von zul. $S_{1,B} = 75 \text{ N/mm}^2$.

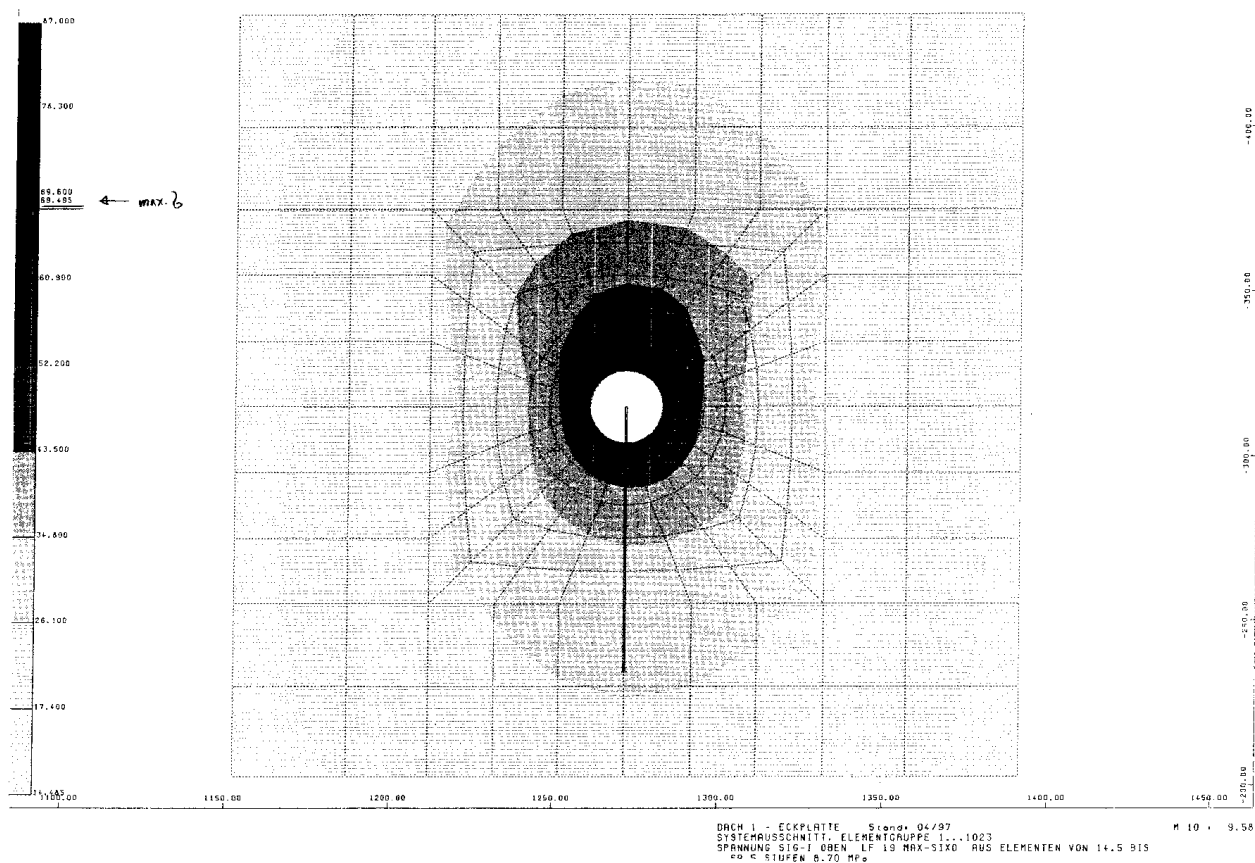


Bild 8 Spannungsverteilung sig-I-o am maßgebenden Haltepunkt

Es sei an diese Stelle besonders daraufhingewiesen, daß die Untersuchung das wesentliche Tragverhalten mit mehr oder weniger geeigneten Vereinfachungen annähern sollte und nicht eine "präzise" Berechnung darstellt ! Wie an anderer Stelle aufgezeigt wird sind alle Berechnungen nur Näherungen und die hier beschriebene eine eher grobe Näherung. Der Hinweis soll vermeiden, daß Personen die Berechnungen nach diesem Schema durchführen, denken alles erforderliche zur Erfassung des Tragverhaltens sei hiermit erbracht worden.

4. BEISPIEL EINER FASSADENVERGLASUNG

Die Annahmen zur Diskretisierung und das Vorgehen der folgenden Berechnung entsprechen nahezu dem in Abschnitt 3 beschriebenen Ablauf.

Die wesentlichen Unterschiede stellen jedoch die verwendeten Halter und die Beanspruchung dar. Zur Anwendung kommt ein RODAN-Basishalter aber statt der äußeren Deckplatte mit EPDM-Ring und Gießharz-Füllung wurde eine PLANAR-Schraube mit Polyethylenscheibe bzw. -distanzstück verwendet.

Die Systemidealisierung nimmt nun vereinfachend die Lagerung mit den bereits in Abschnitt 3 beschriebenen Koppelfedern am Rand der Glasbohrung an. Der Durchmesser der Bohrung wurde als Mittel aus der Konusbohrung 26/36mm zu 31mm angenommen. Es sei an dieser Stelle daraufhingewiesen, daß dies eine sehr grobe Näherung der Lagerungsbedingungen darstellt, da auf Winddruck die EPDM-Kreisringscheibe des RODAN-Basishalters die Kraft überträgt, wohingegen bei Windsog die konische Fläche der Bohrung den einzigen Widerstand leistet. Zudem sei angemerkt, daß für die Beanspruchung aus Eigengewicht wiederum der Polyethylenring um den Bolzenschaft die Lagerung ähnlich einer Lochleibungsverbindung auf ca. die Hälfte der Glasscheibendicke gewährleistet (vgl. Bild 9).

Die Lagerungsbedingungen sind somit nur sehr unzureichend idealisiert und bedürfen genauerer Betrachtung, was allerdings nur mittels Berechnung durch Kontinuumselemente hinreichend genau erfolgen kann. Eine derartige Berechnung sprengt den Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung und wie die Berechnung zeigt, ist die ermittelte Spannung deutlich von den zulässigen Werten entfernt, woraus aber nur qualitative Schlüsse gezogen werden können. Die Verteilung in der Nähe des Randes bleibt ungeklärt.

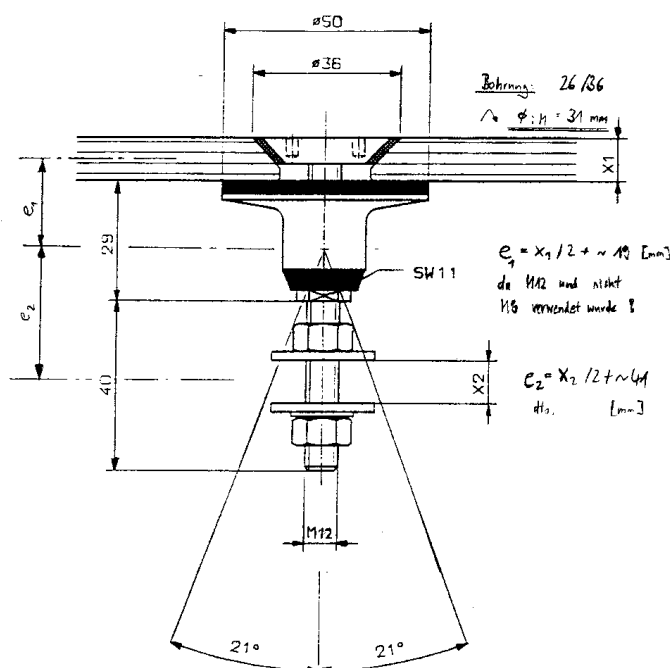


Bild 9 Punkthalter System RODAN mit PLANAR-Schraube

Bild 10 stellt die Diskretisierung des Halters dar, welcher in Analogie zu Abschnitt 3 in die vorbereitete Reststruktur mit EINFÜGEN NDB-einf eingesetzt wird. Das weitere Vorgehen entspricht dem der Dachverglasung.

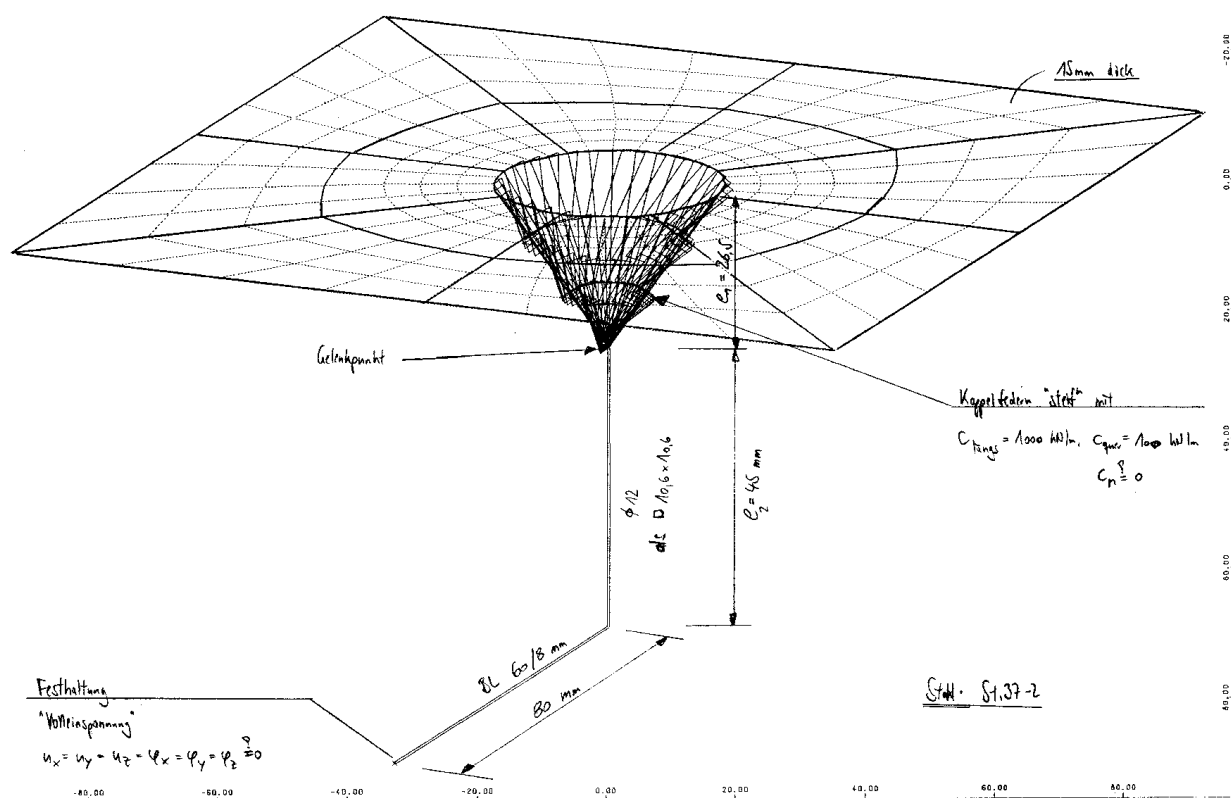


Bild 10 Haltepunkt aus Programm NEGER

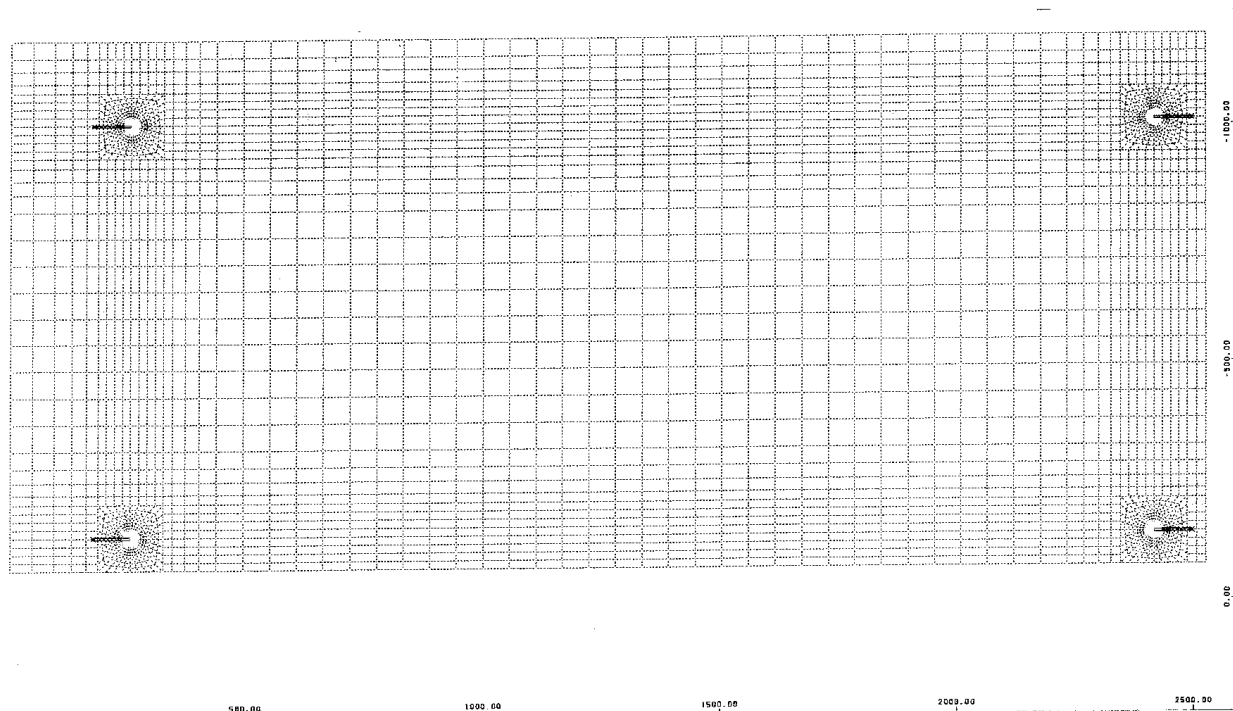


Bild 11 Reststruktur nach Einfügen der Haltepunkte

Die Baubehörde hatte außerdem die Vorstellung, die Beanspruchung aus Eigengewicht nur auf die unteren Halter zu rechnen, da diese im Montagefall die gesamte Last zu tragen hätten. Die Berechnung vollzieht diese Forderung nicht nach, soll aber aufzeigen, daß selbst Bauzustände in die Berechnung einfließen können. Die Berücksichtigung dieser Einflüsse ist sehr komplex und stellt einen großen Aufwand dar.

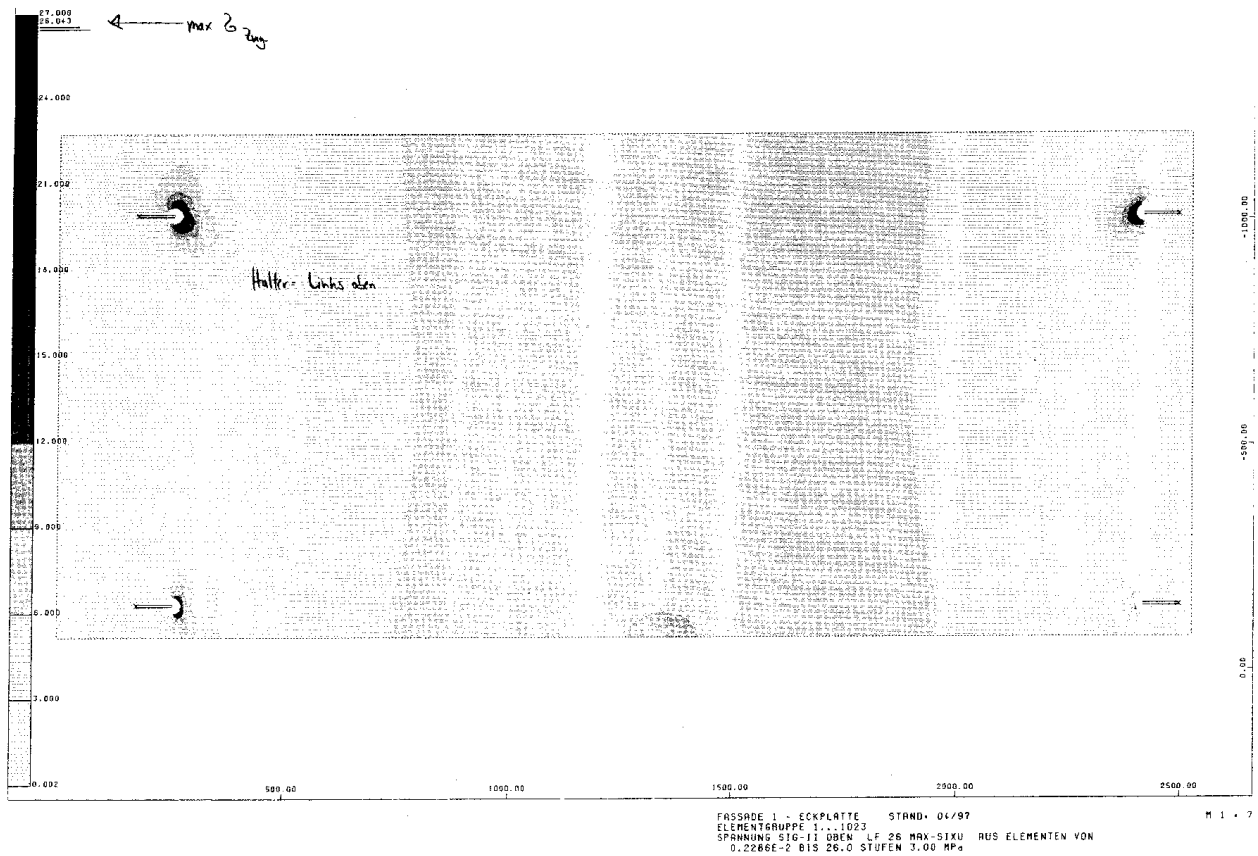


Bild 12 Spannungsverteilung sig-II-o der Gesamtstruktur

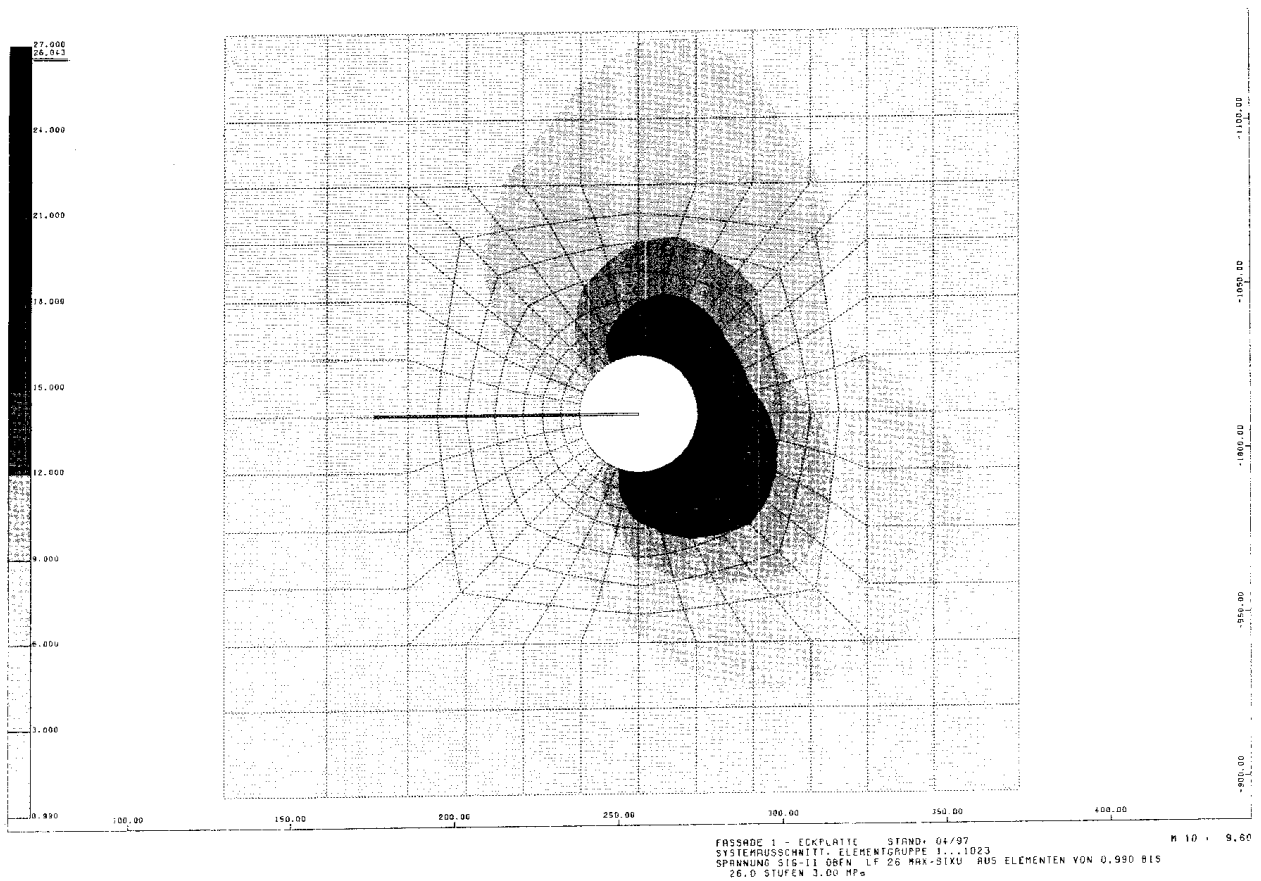


Bild 13 Spannungsverteilung sig-II-o am maßgebenden Haltepunkt

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß man die Berechnungsergebnisse bereits wesentlich verbessert hätte, wenn man die Zugfedernausschaltung aktiviert hätte. Wie man in Bild 13 erkennen kann, treten die Spannungsspitzen im Randbereich auf, wo diese aber fast ausschließlich durch die Wegbegrenzung der Koppelfedern entstehen. Dies widerspricht aber der Realität, da diese Fuge durch die Polyethylenhülse gebildet wird und über sie keine Zugkomponente übertragen werden kann !

Die beschriebene Vorgehensweise hat ausgereicht die betrachtete Konstruktion zu beurteilen. Für eine umfassende Untersuchung hätte man Berechnungen mit Volumenelementen unter Berücksichtigung von Kontaktflächen durchführen müssen. Sie zeigt aber deutlich, wie unzureichend derzeit die durchgeführten Berechnungen sind, da eine Vielzahl von Untersuchungen, ähnlich der hier beschriebenen, nicht alle Effekte berücksichtigen (können).

Der Ingenieur sollte sich aber bewußt sein, daß er kaum alle Einflüsse berücksichtigen kann und möglichst ausgereifte, durchdachte und durch Erfahrungswerte gestützte Konstruktionen planen sollte. Werden neuartige Methoden angewandt, sollten Versuche die Berechnungen verifizieren und einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Bauweise beitragen.

5. KRITIK, MÖGLICHKEITEN UND AUSBLICK

Berechnungen von Punkthaltesystemen welche alle Einflüsse berücksichtigen sind sehr aufwendig und sind nur sinnvoll, wenn ihre Ergebnisse direkt oder indirekt für weitere Anwendungen übertragbar bzw. wiederverwendbar sind. Hierunter fällt zum Beispiel das Entwickeln von Substrukturen aus Kontinuumselementen zur Bestimmung der Beanspruchung in den Haltern bzw. deren unmittelbaren Umgebung im Glas. Diese Substrukturen könnten dann mittels Substrukturtechnik die erforderlichen Steifigkeitswerte liefern um die globale Struktur mit z.B. Schalenelementen zu berechnen und anschließend eine Rückrechnung auf den Knotenbereich ermöglichen.

Im folgenden sei noch auf ein paar Aspekte bei der Berechnung von punktgestützten Glaskonstruktionen hingewiesen.

Eine Möglichkeit Toleranzen bei der Montage auszugleichen und gleichzeitig eine Kraftübertragung in Scheibenebene zu ermöglichen bietet z.B. der RODAN-Glasklemhalter. Die Glasbohrung kann deutlich größer als der Bolzen ausgeführt werden, da die äußere Deckplatte diesen Bereich überdeckt und Ungenauigkeiten nicht erkennen läßt sowie das EPDM vor UV-Beanspruchung schützt (vgl. Bild 14).

Im Zusammenhang mit diesem Halter sei darauf aufmerksam gemacht, daß die häufig verwendeten EPDM-Zwischenschichten kein linear-elastisches Material darstellen.

Wie die Grafik im Bild 15 zeigt, gibt es Anteile sowohl eines viskoelastischen E-Moduls (E_1) sowie eines Netzwerkanteils (E_2) in Abhängigkeit der Dehnung. Darüberhinaus verhält sich das Material im Anwendungsbereich temperaturabhängig (vgl. Bild 16).

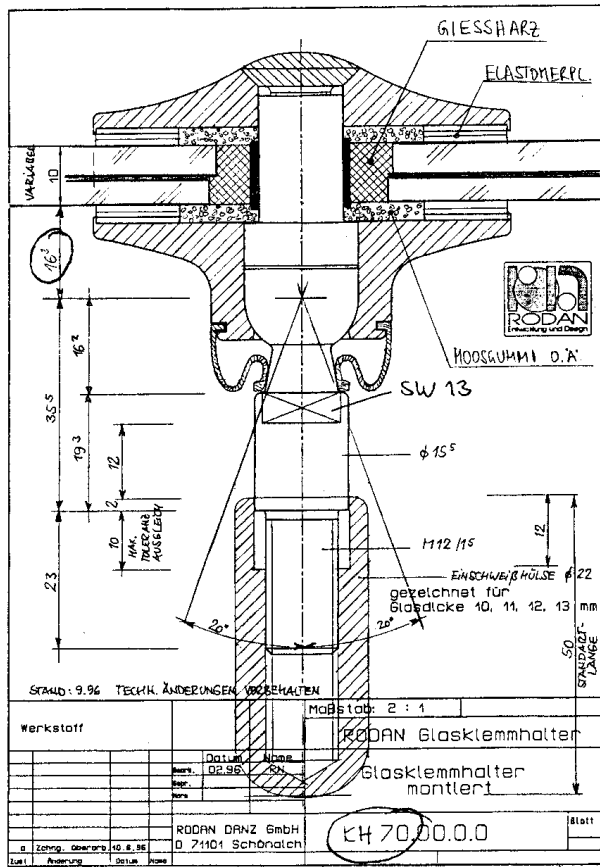


Bild 14 RODAN-Glasklemmhalter

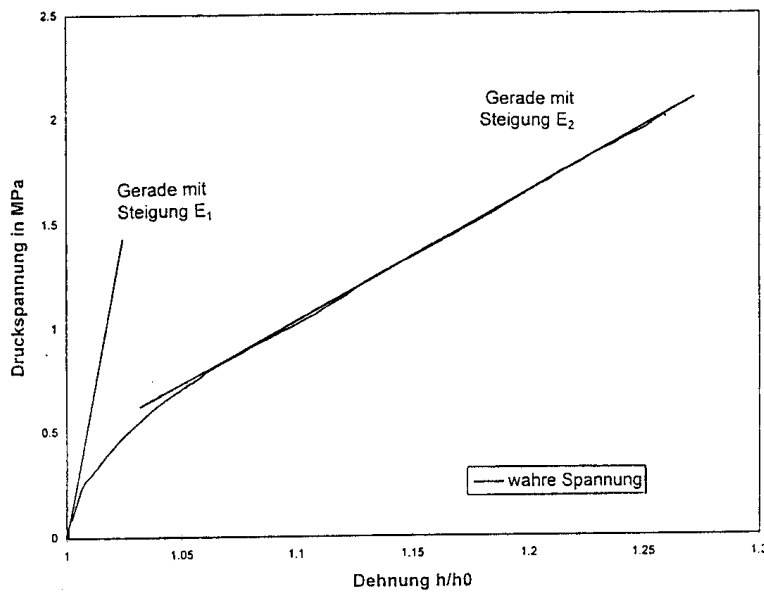


Bild 15 Veranschaulichung der Bedeutung der Werkstoffkenngrößen E_1 und E_2

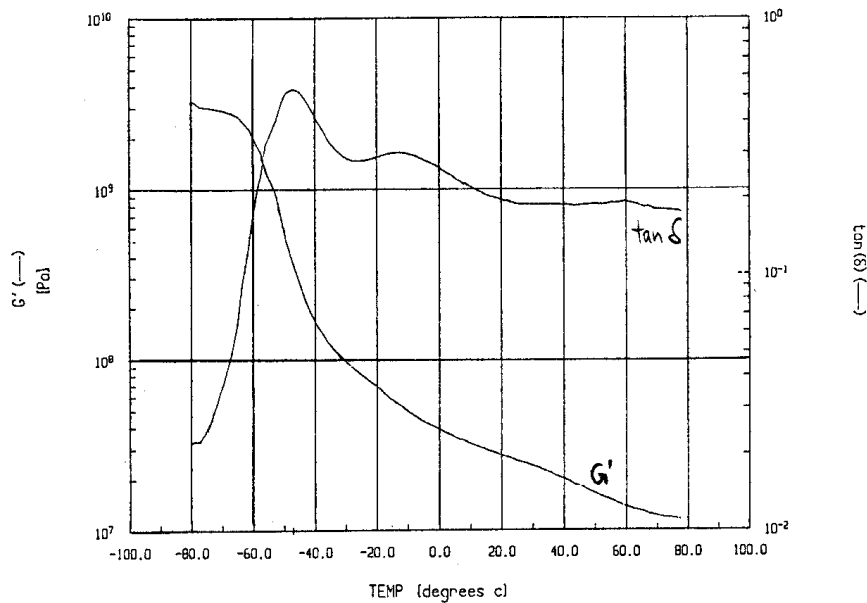


Bild 16 Temperaturabhängigkeit des Schubmoduls G'

Ein anderer Haltertyp ist das PLANEX-Rotule mit innenliegendem Kugelgelenk und konusförmiger Weichaluminium-Hülse (vgl. Bild 17) für den von Kollegen der Fa. HeFi eine FEM-Berechnung angefertigt wurde. In Bild 18 ist der Querschnitt mit Elementierung und den Kontaktflächen dargestellt. Durch das "Shrinking" sind die Kontaktfugen in denen nur Druckkräfte übertragen werden können ersichtlich.

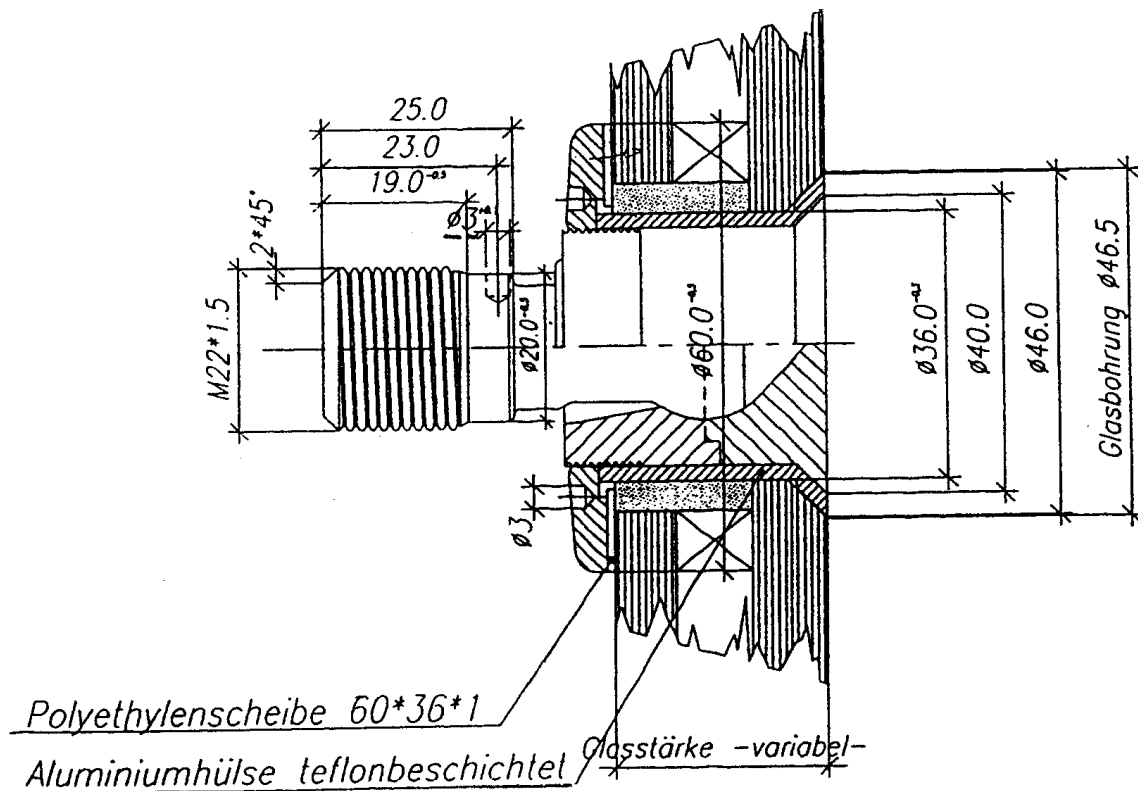


Bild 17 PLANEX-Rotule mit innenliegendem Kugelgelenk

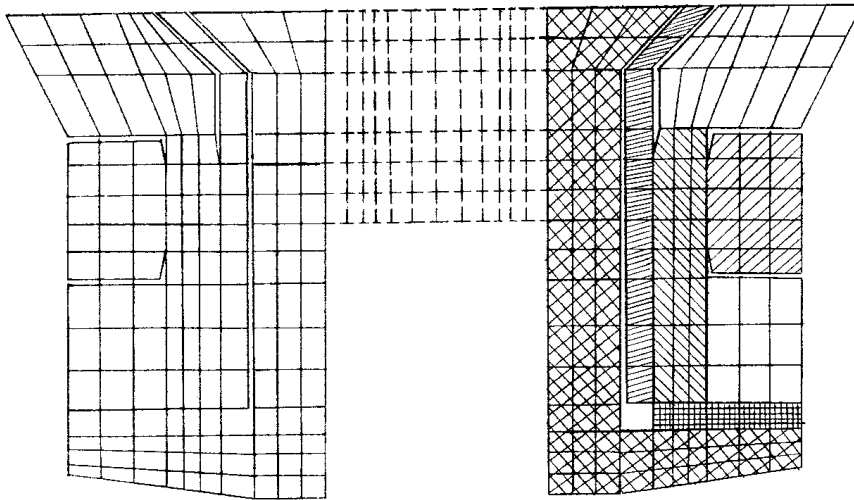


Bild 18 Schnitt durch die Diskretisierung für PLANEX-Rotule

Im Zusammenhang mit diesem Haltesystem wird erkennbar, daß zwei unterschiedliche Konstruktionsprinzipie vorliegen. Der RODAN-Halter ermöglicht einen zwängungsarmen Anschluß mit außenliegendem Gelenk wohingegen der PLANEX-Halter seinen Gelenkpunkt in der Glasebene hat aber auch sehr "starr" ist. Beide geometrische Lagen haben sowohl Vor- und Nachteile bei der Berechnung und sind abhängig von der Gesamtstruktur zu wählen. Eine Bewertung soll hier nicht erfolgen, da jedes System seine Rechtfertigung besitzt.

Wie man in Bild 17 erkennen kann ist die Verwendung von Isolierverglasungen mit Punkthaltesystemen ebenfalls möglich.

Abschließend wird noch stichwortartig auf Verbundsicherheitsglas (VSG) eingegangen um einen Eindruck für die derzeitige Unkenntnis bzw. Ratlosigkeit zu vermitteln.

Wie aus Bild 19 ersichtlich wird, sind die Durchbiegungen eines Einfeldbalkens unter zwei Einzellasten in den Viertelpunkten nach /Hooper, 1973/ sehr stark temperaturabhängig. Die PVB-Folie (Soft Interlayer) wird mit höheren Temperaturen zunehmend weicher und bedingt starke Kriecheinflüsse bei der Durchbiegungsmessung.

Dies bedeutet nun, daß für Berechnungen bei tiefen Temperaturen eher ein monolithischer Querschnitt und bei hohen Temperaturen ein System aus unabhängigen Glasscheiben vorliegt. Dies würde bedeuten, daß der Zwang aus Temperatursenkung aus einer wesentlich dickeren und steiferen Konstruktion herrührt als bei einer Erhöhung, wo die einzelnen Glasscheiben eher nachgiebiger reagieren können und sich Spannungsspitzen durch Biegeverformungen abbauen können.

Liegt die Außerachtlassung der Verbundwirkung gemäß Richtlinie nun auf der sicheren oder der unsicheren Seite ?

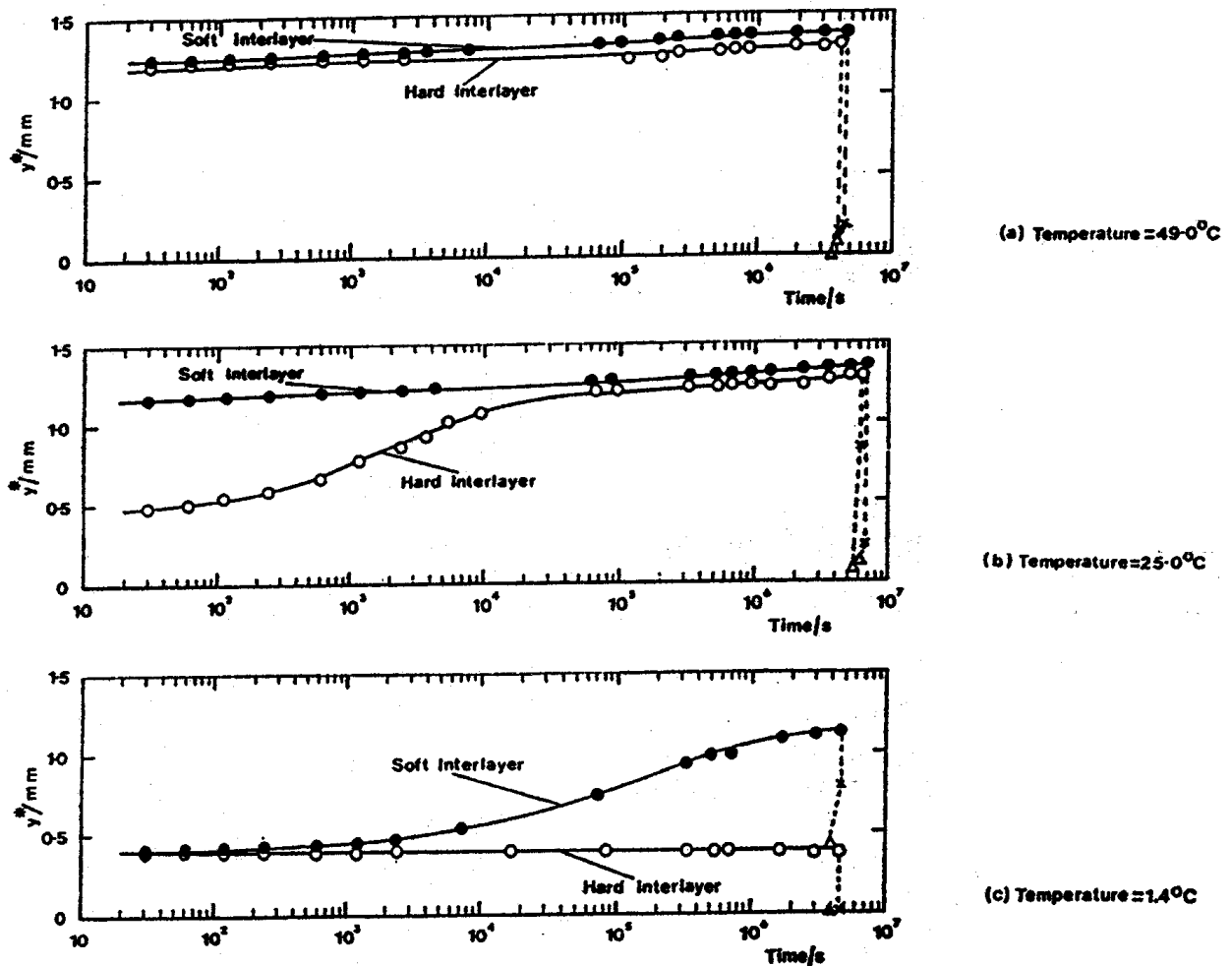


Bild 19 Durchbiegungen eines Einfeldbalkens aus VSG bei 1.4°C, 25.0°C und 49.0°C,

6. LITERATUR

DIN EN 1863 "Teilvergesspanntes Glas", Ausgabe 06/1995

DIN EN 572 "Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronlas", Ausgabe 01/1995

DIN 1249 "Flachglas im Bauwesen", Ausgabe 06/1973

DIN 4141 "Lager im Bauwesen", Teil 15 *Unbewehrte Elastomerlager*, Ausgabe 01/1991

Handbücher der SOFiSTiK GmbH, Oberschleißheim zu Moduln GENF, ASE,
Stand 06/1997

Hooper, J.A. : *On the Bending of Architectural Laminated Glass*,

International Journal of Mechanical Sciences (UK), Vol. 15, 1973, pp 309-323

Lehmann, R.: *Punktförmig gelagerte Glasscheiben - Berechnungsnachweis mittels Finite-Element-Berechnung*, Tagungsberichte des 3. Fachkongreß Innovatives Bauen mit Glas, 3/1995

Pölling, R.: *Grundsatzuntersuchungen von Einscheiben- und Verbundglas als Trag-element*, Diplomarbeit am Institut für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum, Februar 1996