

Tragende Holz-Glas Klebeverbindungen Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten

Glued wood-glass connections – basics and pilot projects

Assemblages collés bois-verre – bases et projets pilotes

Incollaggi legno-vetro – fondamento tecnico e progetti piloti

Prof. DDI Wolfgang Winter
Institut für Architekturwissenschaften
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
TU Wien, Österreich



DI Werner Hochhauser
Institut für Architekturwissenschaften
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
TU Wien, Österreich



Tragende Holz-Glas Klebeverbindungen Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten

1. Holz und Glas im statischen Verbund

Glasscheiben werden seit Jahrhunderten in Wänden, Dächern und Decken eingebaut. In der Regel wurden die Glasscheiben in Rahmen eingesetzt, die dann ihrerseits mit der jeweiligen Wand- oder Dachkonstruktion verbunden wurden oder selbst Bestandteil der Tragkonstruktion waren. Für die Rahmen wurden und werden unterschiedliche Materialien und Geometrien verwendet (von Holz über Gusseisen bis zu glasfaserverstärkten Profilen). Meist wurden die Scheiben verschieblich mit den Rahmen verbunden (Verklottung, etc.). In den letzten Jahren wurde die altbekannte Verklebung (Kitt) zwischen Scheibe und Rahmen mit neuen Klebstoffen und Applikationstechniken wieder aufgegriffen, beispielsweise für Fenster aber auch für wandhohe Scheiben (z.B.: Forschungsprojekt der Holzforschung Austria).

Zeitgenössischen Ansprüchen der Architektur nach filigranen Glaskonstruktionen, einer bauphysikalischen Optimierung und nicht zuletzt nach dem Baustoff Holz, welchem in Zeiten umweltpolitischen Wandels mehr und mehr an Bedeutung zukommt, soll damit Rechnung getragen werden. Aktuelle technische und wirtschaftliche Entwicklungen eröffnen heute immer neue Wege, die es durch weitere Produktentwicklung und spezifische Forschungsprojekte zu erschließen gilt.

Innovationen im Bereich der Klebtechnik ermöglichen es heute Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im konstruktiven Ingenieurbau anzuwenden. Der Fügepartner Glas kann aufgrund seiner sehr guten Materialeigenschaften über die vorteilhaften transparenten und bauphysikalischen Möglichkeiten hinaus gut als tragendes Element genutzt werden. Um das große Potenzial von Gläsern in Verbundscheiben, -trägern oder -platten ausschöpfen zu können bedarf es eines gleichmäßigen Lasteintrags über Verbindungsmittel, deren Härte unter jenem von Glas angesiedelt sein muss. Diesen Vorstellungen genügen speziell elastische Klebstoffe, welche nebst genannten Anforderungen auch zahlreiche weitere Vorteile mit sich bringen: Die Übernahme von Dichtungsfunktionen etwa oder die Kompensation thermischer Differenzbewegungen, welchen insbesondere im Fassadenbau besondere Bedeutung zukommt. Die Verwendung steifer Klebstoffe hingegen bietet sich speziell bei größeren Laststufen an. Die bei Holz-Glas-Verbundträgern prognostizierbaren höheren Beanspruchungen beider Substrate und damit der Klebefuge erfordern einen entsprechend höheren Schubmodul, den steife Klebstoffe wie Acrylate bieten.

Der Fügepartner Holz – bei Scheiben und Trägern als Koppelrahmen und Unterkonstruktion, bei Platten als Rippe – weist in Belangen der Thermodynamik wohl die größten Vorteile für Verbundkonstruktionen mit Glas auf. Diesem Vorteil steht jedoch der große Nachteil des geringen Aussteifungspotentials, das Leichtbaustoffe wie Holz aufweisen, gegenüber. Adäquat begegnet werden kann dieser Problematik mit eingeklebten Glasscheiben, welche dann im Verbund mit Holz zur Aussteifung von Gebäuden oder zur vertikalen Lastabtragung in Form von Holz-Glas-Verbundträgern herangezogen werden können.

Haupthindernis für den breiten Einsatz ist, dass es bis dato keine Möglichkeit gibt Holz-Glas-Verbundkonstruktionen normativ zu berechnen und zu bemessen. Um den technischen Entwicklungen folgen zu können und diese Neuentwicklungen dem Markt zugänglich zu machen, bedarf es einer Möglichkeit der theoretischen, analytischen Berechnung zur Beschreibung des Tragverhaltens der Konstruktionselemente. Den gültigen Normen entsprechend müssen geeignete Bemessungskonzepte Sicherheitskriterien definieren um damit eine sichere Anwendung zu gewährleisten. Dies ist Gegenstand des derzeit laufenden Forschungsprojekts: „Holz-Glas-Verbundkonstruktionen: Berechnung und Bemessungskonzept“ am Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau der Technischen Universität Wien. Das von der österreichischen

Forschungsförderungsgesellschaft unterstützte Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Holzforschung Austria, den wissenschaftlichen Beiräten Prof. Heinrich Kreuzinger (TU München) und Prof. Peter Niedermaier (FH Rosenheim), Firmen des Wintergarten- und Fertighausbaus sowie zwei beteiligten Klebstoffherstellern durchgeführt. Im Vortrag wird über den Stand des laufenden Forschungsprojekts berichtet.

2. Durchgeführte Forschung

2.1. Vision

In Kooperation mit der Architektin Arta Januzzi, ehemalige Studentin des Masterstudienprogramms Urban Wood der Abteilung Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau der Technischen Universität Wien, wurden nachfolgende Darstellungen ausgearbeitet, die Holz-Glas-Verbundvisionen bebildern sollen.

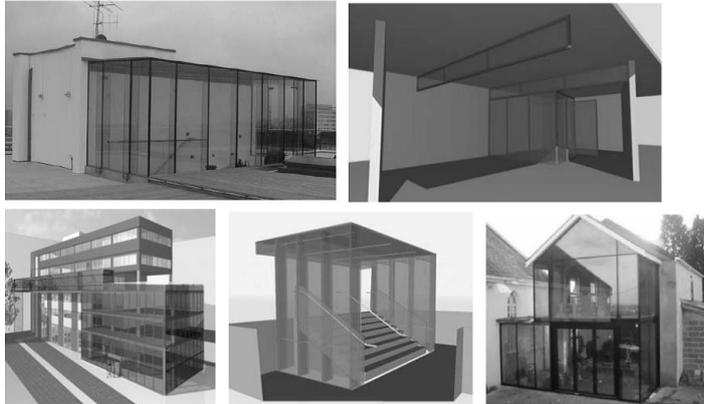


Abbildung 1: Visionen zum Holz-Glas-Verbundbau (Arta Januzzi) - in grün dargestellte HGV-Elemente sollen (mit-)tragende Funktion erfüllen [8]

2.2. Holz-Glas-Verbundscheiben

Im Sinne einer ökonomischen Bauabwicklung werden Glasscheibe und Koppelrahmen im Werk staubfrei verklebt und auf der Baustelle an eine Pfosten-Riegelkonstruktion geschraubt [4].

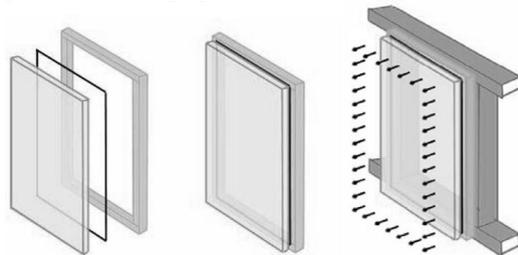


Abbildung 2: Produktion und Montagevorgang für Holz-Glas-Verbundscheiben [4]

2.3. Holz-Glas-Verbundträger

Frühere Forschungsprojekte [3] zeigen, dass Holz-Glas-Verbundträger ihrer geplanten Funktion gerecht werden können.



Abbildung 3: Konferenzraum im Hotel Palafitte, Monruz (CH) [3]

3. Kleinprobenversuche

Aufbauend auf den Forschungsergebnissen der Holzforschung Austria [4, 5], welche die Lasteinleitung ins Glas ausschließlich mittels Schubverklebung vorgenommen haben, wurde im laufenden Forschungsprojekt ein gekoppeltes Tragverhalten verfolgt: Schubverklebung bei gleichzeitiger Verklotzung der Glasscheibe soll die aufnehmbaren Kräfte der Holzforschung Austria in etwa verfünffachen.

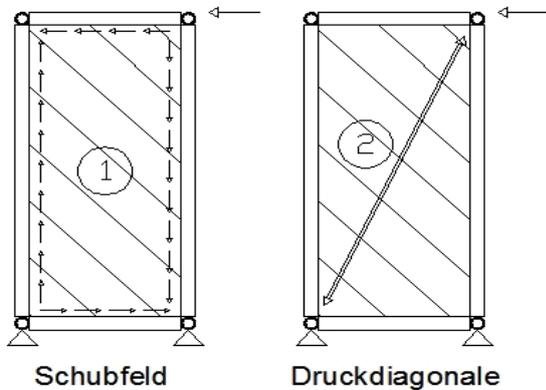


Abbildung 4: Mehrfachnutzung der Glasscheibe durch Schubfeld und Druckdiagonale

Um das Tragverhalten der Verbindungselemente Schubverklebung und Verklotzung charakterisieren und die vorhandenen Kennwerte verifizieren zu können, wurden im Forschungsprojekt Kleinprobenversuche durchgeführt. Das Ziel der Kleinprobenversuche war im Detail die Abschätzung der Tragfähigkeit der Klebstoffugen bei:

- Druckbeanspruchung
- Schubbeanspruchung quer zur Klebstoffuge
- Kombination von Druck und Schubbeanspruchung

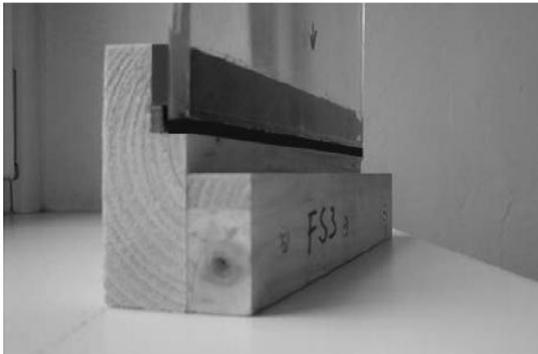


Abbildung 5: Kleinprobenversuche – Schubverklebung in rot, Verklotzung in blau

Nachfolgend findet sich eine Zusammenstellung der durchgeführten Versuche der ersten Versuchsreihe:

Schubfuge	Druckfuge				
	Silikon	Acrylat	Hilti-Hit	Direktkontakt	freie Druckfuge
Silikon - Otto	5		5	5	5
Acrylat - Sika		5	5	5	5
ohne Kleber	5	5	5	5	

Tabelle 1: Kleinprobenversuche – Versuchsvarianten

Die Probekörper wurden stehend mit einer Prüfgeschwindigkeit von 0,5 mm / min und einer Vorlast von 50N abgedrückt.

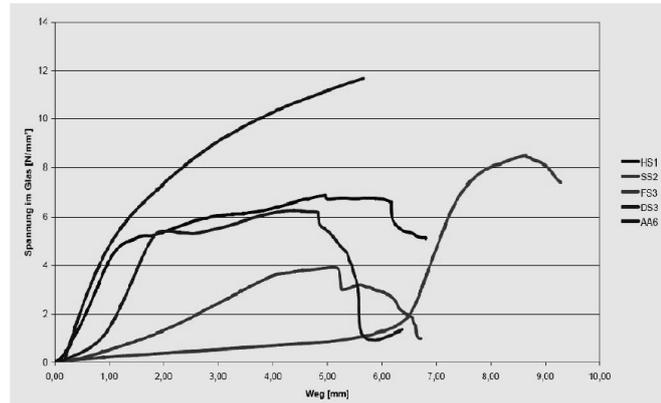
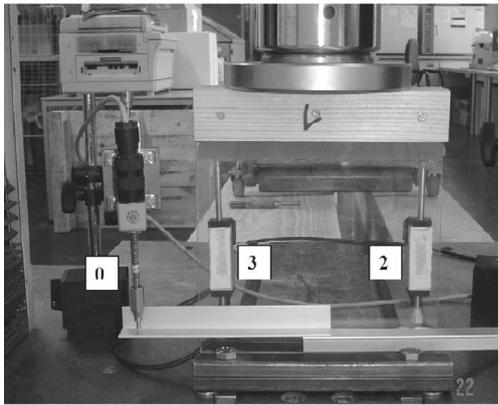


Abbildung 6: Probekörper im Prüfstand (links) und Arbeitslinien ausgewählter Kleinproben (rechts)

Legende:

HS ... Druck: Holz / Schub: Silikon

FS ... Druck: Frei / Schub: Silikon

AA ... Druck: Acrylat / Schub: Acrylat

SS ... Druck: Silikon / Schub: Silikon

DS ... Druck: Direkt / Schub: Silikon

4. Großprobenversuche

Ziele der Großprobenversuche:

Überprüfung der analytischen und numerischen Berechnungen

Ermittlung des Gesamttragverhaltens

Bestimmung der einzelnen Sicherheitsfaktoren für das Bemessungskonzept

In den folgenden Unterpunkten werden die durchgeführten Versuche und Teilergebnisse aus den Programmteilen Scheibe, Platte und Träger grob bebildert:

4.1. HGV-Scheiben:

Generelles Vorgehen:

A. Vergleichsproben zur HFA: HGV-Scheibe mit weicher, hölzerner Unterkonstruktion

B. Hochleistungsscheibe ITI: HGV-Scheibe mit steifer, stählerner Unterkonstruktion

Die Prüfungen erfolgen auf Basis der ÖNORM EN 594 (Ausgabe: 1. Februar 1996)



Abbildung 7: Holz-Glas-Verbundscheiben auf hölzernem (links) und stählernem (rechts) Prüfrahm

Die Probekörper setzen sich aus folgenden Materialien und Geometrie zusammen:

Probekörper mit hölzerner Unterkonstruktion:

Glas: gebrochenes Floatglas: 8 / 1250 / 2500 mm

Rahmen: Brettschichtholz GL 24h: 120 / 120 mm (Außenabm.: 2584 x 1334 mm)

Leiste: Birkenfurnierschichtholz Kl. 2 (EN 636-2 S, BFU 100)
 Kleber: 2K-Silikon bzw. 2K-Acrylat
 Klotz: 2K-Epoxidharz bzw. 2K-Acrylat

Probekörper mit stählerner Unterkonstruktion:

Analog zum Versuch mit hölzerner Unterkonstruktion, aber mit

Rahmen: U aus HEB 160 S355 und L 75x50x9 aus L 100x65x9 S235:
 (Außenabm.: 2784 x 1514 mm)

Ausgewählte Ergebnisse der Scheibengroßprobenversuche:

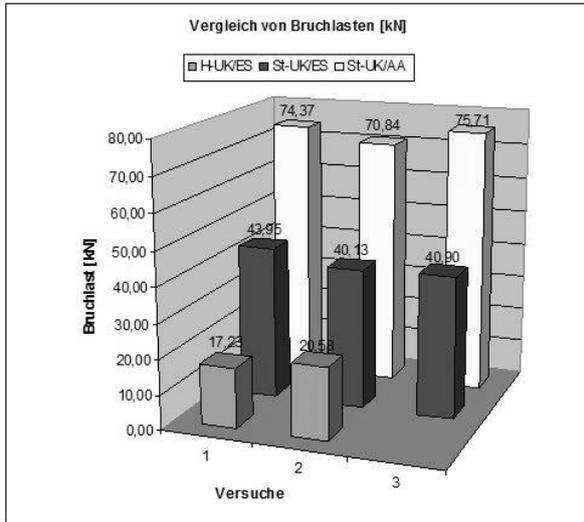


Abbildung 8: Bruchlasten bei hölzerner (H) und stählerner (St) Unterkonstruktion für ES (Klotz: Epoxidharz, Schubverklebung: Silikon) und AA (Klotz: Acrylat, Schubverklebung: Acrylat)

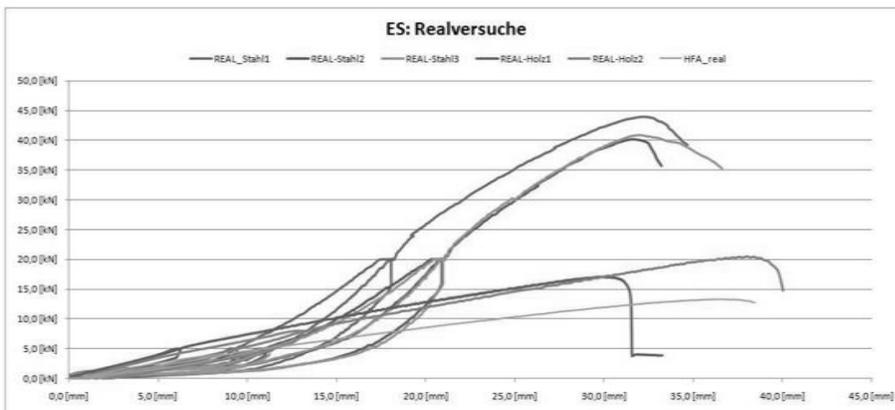


Abbildung 9: Kraft-Verformungsdiagramme bei Verklotzung mit Epoxidharz und Schubverklebung mit Silikon für Außenanwendung

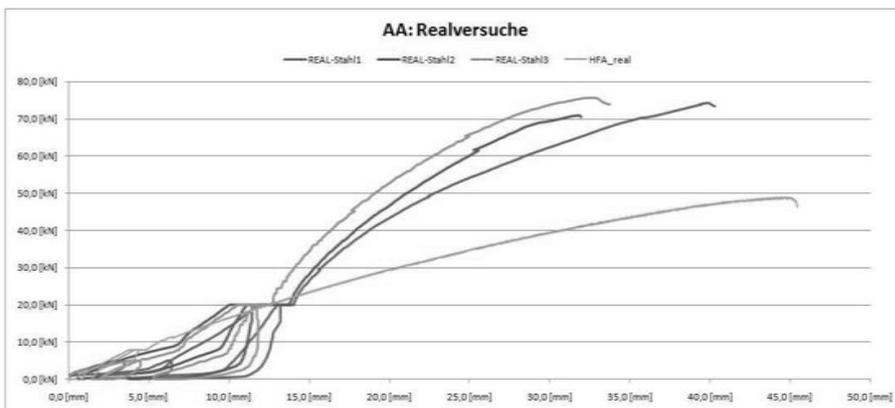


Abbildung 10: Kraft-Verformungsdiagramme bei Verklotzung und Schubverklebung mit Acrylat für Innenanwendung

4.2. HGV-Platten:

Materialien:

Glas: Floatglas: 8 / 1250 / 2500 mm, gebrochene Kante
 Holzleisten: BSH Fichte *Gl 24*: 40 / 100 / 2900 mm
 Klebstoff: Acrylat: 3 mm

Versuche:

5 Versuche: 3-Punkt-Biegeversuch
 Prüfnorm: ÖNORM EN 408
 teilweise modifizierter Versuchsablauf

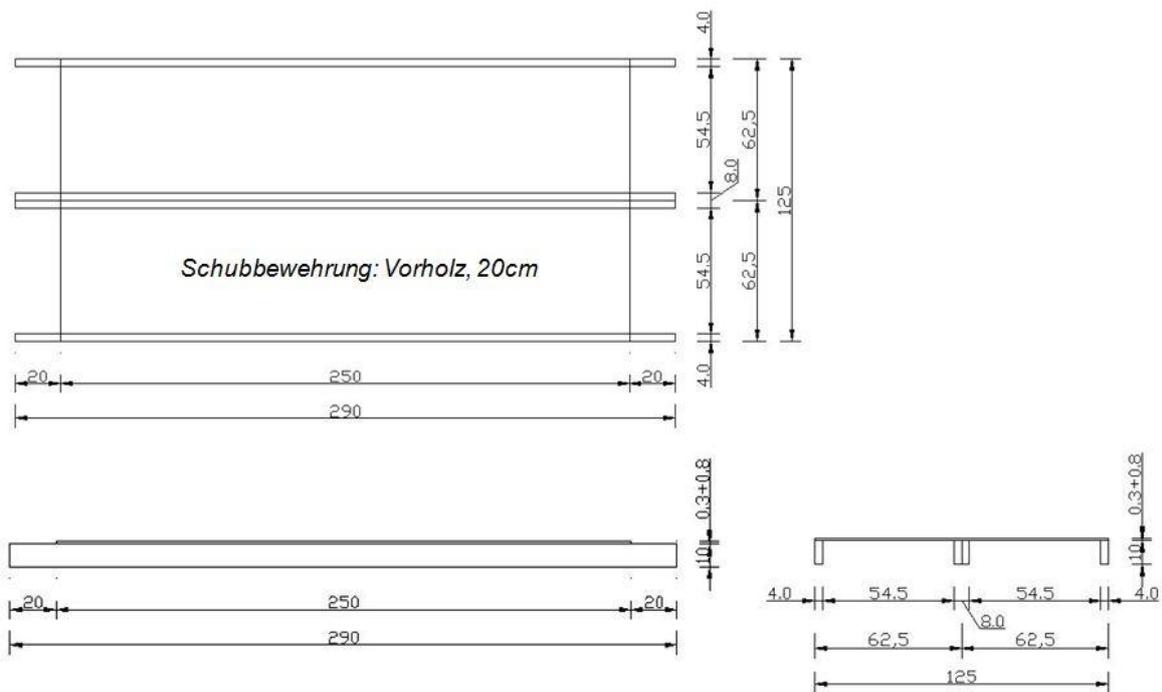


Abbildung 11: Prüfkörperaufbau der Holz-Glas-Verbundplatten

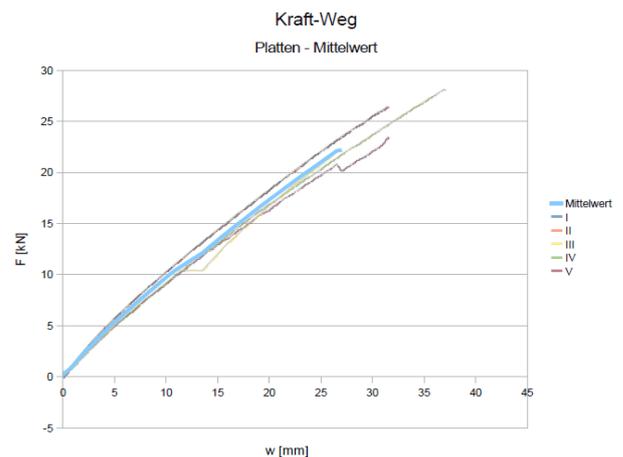
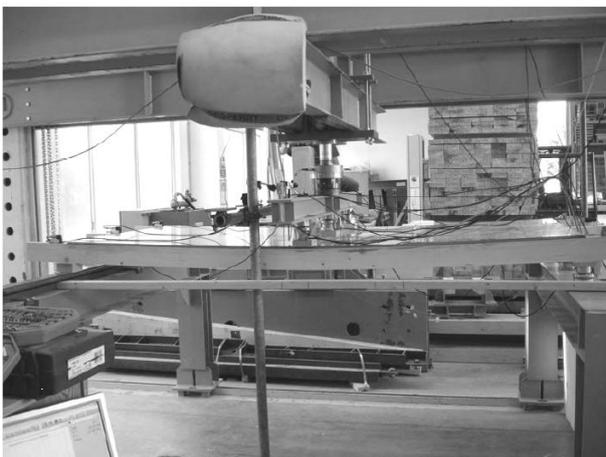


Abbildung 12: Holz-Glas-Verbundplatte im deformierten Zustand (links) und Kraft-Verformungsverhalten der Holz-Glas-Verbundplatten (rechts)

4.3. HGV-Träger – „Wiener Kastenträger“

Bei den Holz-Glas-Verbundträgern wurden auf eine hölzerne Unterkonstruktion beidseitig aussteifende HGV-Scheiben aufgeschraubt. Das Tragverhalten entspricht weitestgehend dem eines Schubfeldträgers.

Materialien:

Glas: TVG: 8 / 625 / 1250 mm
 Holzleisten: Birkenfurniersperrholz

Unterkonstruktion: Kerto-Q
Klebstoff: Acrylat: 3 mm

Versuche:

5 Versuche
4-Punkt-Biegeversuch
Prüfnorm: ÖNORM EN 408
modifizierter Versuchsablauf

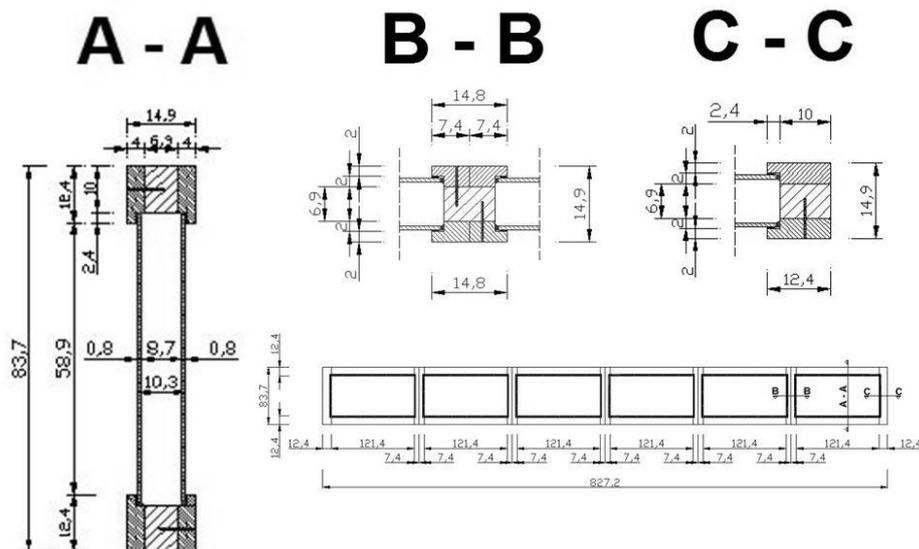


Abbildung 13: Prüfkörperaufbau der Holz-Glas-Verbundträger



Abbildung 14: Holz-Glas-Träger (6-feldiger Schubfeldträger: $H = 83,7\text{cm}$, $L = 827,2\text{cm}$) im eingebauten Zustand

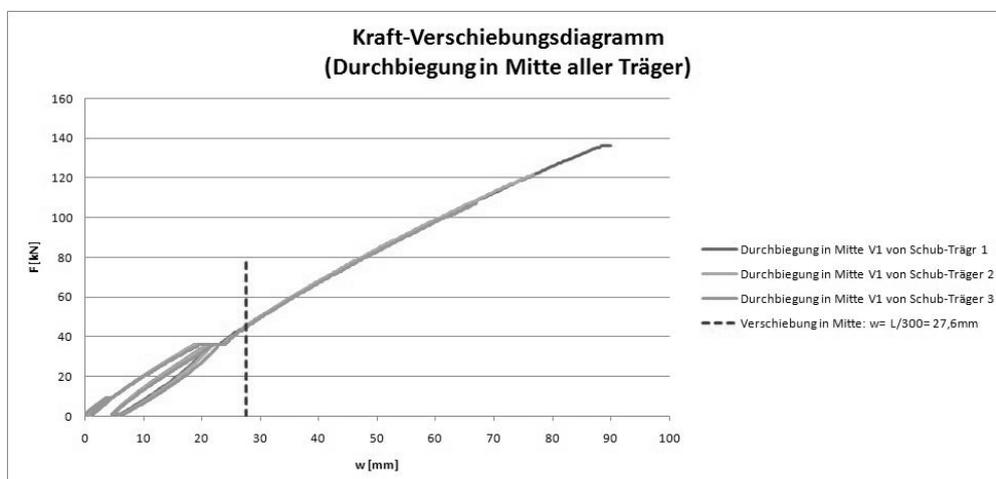


Abbildung 15: Kraft-Verformungsverhalten der Holz-Glas-Verbundträger

Zusätzlich wurden Versuche gefahren, deren Lastübertrag zur Glasscheibe einerseits nur durch Klotzung und andererseits analog zu HGV-Scheiben durch Kombination von Klotzung und Schubverklebung erfolgte. Auf eine Darstellung dieser Versuche wird an dieser Stelle verzichtet.

5. Berechnungsansätze

Im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts wurden bestehende Berechnungsansätze aufgegriffen und teilweise erweitert sowie neue Berechnungsmöglichkeiten erstellt. In der nachfolgenden Abbildung findet sich ein Überblick zu den bestehenden Berechnungsmöglichkeiten:

A. EXAKTE LÖSUNG:	<i>Berechnung von nachgiebigem Verbund (geschlossener Differentialgleichungsansatz n. Kreher)</i>
B. NUMERIK:	→ <i>SOFISTIK</i> → <i>RFem</i> → <i>RStab</i>
C. ANALYTIK:	<i>Federmodelle nach Kreuzinger und Niedermaier</i>

Abbildung 16: Berechnungsmöglichkeiten für Holz-Glas-Verbundelemente

5.1. Exakte Lösung – geschlossener Differentialgleichungsansatz nach Kreher

Auszug aus [3, 6]: Gleichung zur Ermittlung der Glasdehnung im Holz-Glas-Verbund

$$\varepsilon_g(x) = \frac{2}{\left(\frac{1}{E_h \cdot A_h} + \frac{2}{E_g \cdot A_g}\right)} \cdot \sqrt{b_{kl} \left(\frac{1}{E_h \cdot A_h} + \frac{2}{E_g \cdot A_g}\right) \cdot k} \cdot \left[\frac{\tau_g}{2 \cdot k} \cdot \left(e^{\sqrt{b_{kl} \left(\frac{1}{E_h \cdot A_h} + \frac{2}{E_g \cdot A_g}\right) \cdot k} \cdot x} - e^{-\sqrt{b_{kl} \left(\frac{1}{E_h \cdot A_h} + \frac{2}{E_g \cdot A_g}\right) \cdot k} \cdot x} \right) - \frac{\tau_g}{2 \cdot k} \cdot \left(e^{-\sqrt{b_{kl} \left(\frac{1}{E_h \cdot A_h} + \frac{2}{E_g \cdot A_g}\right) \cdot k} \cdot x} - e^{\sqrt{b_{kl} \left(\frac{1}{E_h \cdot A_h} + \frac{2}{E_g \cdot A_g}\right) \cdot k} \cdot x} \right) \right]$$

5.2. Numerische Methoden

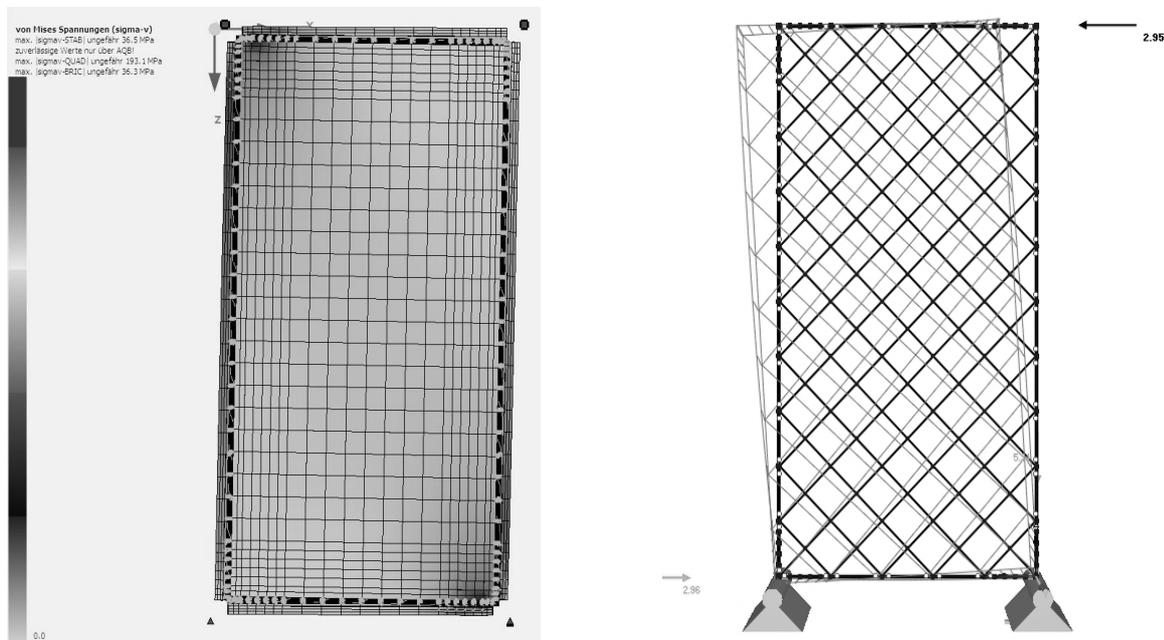


Abbildung 17: Numerische Berechnungsmeth. mit Sofistik (links), dem Stabwerksprogramm RStab (rechts) [6, 9]

5.3. Analytische Methoden – Federmodelle nach Kreuzinger und Niedermaier

Das Grundkonzept des statisch unbestimmten Federmodells nach Kreuzinger und Niedermaier wurde erstmals bei den Karlsruher Tagen 2005 [1] präsentiert. Die Idee dabei

war es das hochdruckfeste Material Glas als aussteifendes Element im Wintergartenbau zu verwenden, wie dies die nachfolgende Abbildung zeigt.

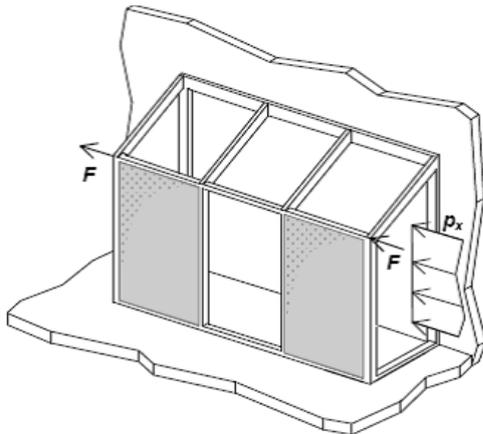


Abbildung 18: Anordnung der Aussteifungselemente in einer Skelettkonstruktion [2]

Die einseitig beplankten und mit der hölzernen Unterkonstruktion elastisch verklebten Glasscheiben beteiligen sich bei Horizontalkraftbeanspruchung H am Kopfriegel an der Lastabtragung. Das hierfür entwickelte Federmodell nach Kreuzinger und Niedermeier zur analytischen Berechnung von Holz-Glas-Verbundscheiben präsentiert sich in folgender Form:

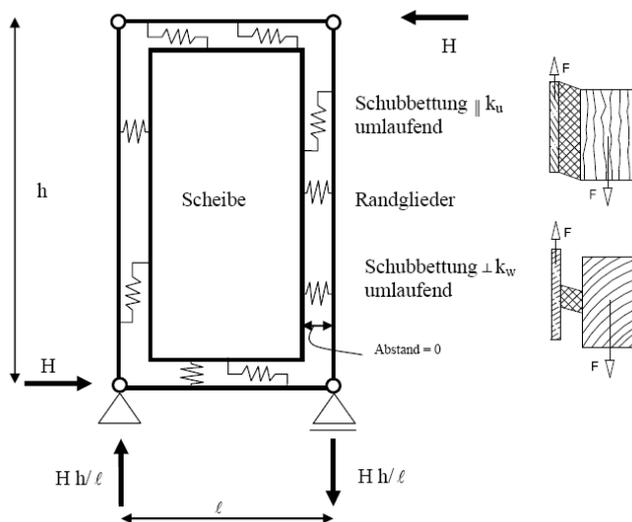


Abbildung 19: System Randglieder – Klebstoffsystem – Scheibe [1]

Die elastische Längs- und Querbettung der Glasscheibe regt diese bei Horizontalkraftbeanspruchung der Rahmenkonstruktion zum Mittragen an und stellt sie unter Schub- und Zugspannungen.

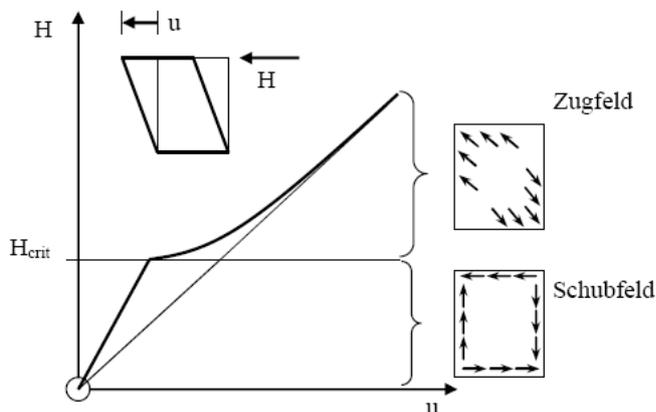


Abbildung 20: Verformungen Schubfeld – Zugfeld [1]

Aufgrund der Systemweichheit von elastisch verklebten Holz-Glas-Verbundkonstruktionen wird sich stets die Gebrauchstauglichkeit, genauer die horizontale Kopfverschiebung des HGV-Elements, als maßgebendes Kriterium einstellen. Hierfür geben Kreuzinger und Niedermaier in [1] nachfolgende Formel an:

$$u = \frac{2H}{k_u l} * \left(\frac{1}{1 + \frac{k_w h}{k_u 3l}} + \frac{h/l}{1 + \frac{k_w l}{k_u 3h}} \right)$$

Für das laufende Forschungsprojekt wurde das beschriebene Berechnungsmodell durch Kreuzinger und Niedermaier erweitert [6], um Glas als Druckdiagonale in Holzstabkonstruktionen berechenbar zu machen. Nachfolgend abgebildet findet sich eine Systemdarstellung für (herkömmlich) geklotzte Glasscheiben:

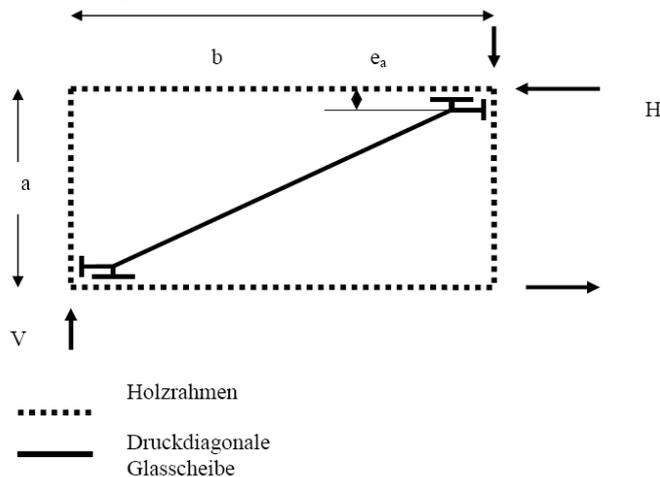


Abbildung 21: Systemdarstellung für geklotzte Scheiben nach Kreuzinger und Niedermaier

Die Aufteilung der Horizontalkraftbeanspruchung H und damit die Beanspruchung der Rahmenkonstruktion kann nach Kreuzinger / Niedermaier in Abhängigkeit der Exzentrizität e_a der Horizontalkomponente der Druckdiagonalen DH von der Stabachse des Kopfriegels ermittelt werden:

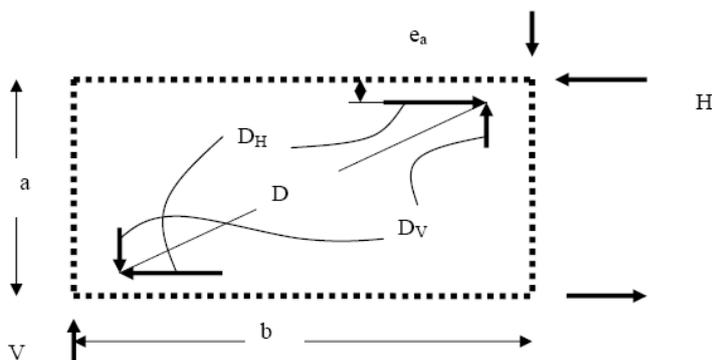


Abbildung 22: Resultierende Scheibenbeanspruchungen nach Kreuzinger und Niedermaier

$$D = V * \frac{\sqrt{1+b^2/a^2}}{1-2*e_a/a} \quad D_H = H * \frac{1}{1-2*e_a/a} \quad D_V = V * \frac{1}{1-2*e_a/a}$$

Die Vertikalverformung w infolge V geben Kreuzinger und Niedermaier an zu:

$$w = V * 2 * \left(\frac{1}{1 - 2 * e_a/a} \right)^2 * \left(\frac{(b/a)^2}{K_H} + \frac{1}{K_V} \right)$$

Um eine Aufteilung der Horizontalkraft H auf Schubverklebung und Verklotzung abschätzen zu können, müssen nun beide Systeme verknüpft werden. Dies kann über die Deformationen der Federmodelle erfolgen. Das eben dargestellte „Klotzmodell“ muss dazu

um 90° gedreht werden. Die Verformungen beider Modelle werden in Abhängigkeit der Systemsteifigkeiten dargestellt:

Verformung infolge Schubfeldbeanspruchung:

$$u_k = \frac{2H}{k_u * l} * \left(\frac{1}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{h}{3 * l}} + \frac{\frac{h}{l}}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{l}{3 * h}} \right) = \frac{H}{K_{Schub}}$$

Verformung infolge Diagonalenbeanspruchung:

$$u_k = H * 2 * \left(\frac{1}{1 - 2 * e/l} \right)^2 * \left(\frac{(h/l)^2}{K_V} + \frac{1}{K_H} \right) = \frac{H}{K_{Diagonale}}$$

Die Horizontalkraft kann nun in Abhängigkeit der Summe der Systemsteifigkeiten beschrieben werden:

$$H = u_k * (K_{Schub} + K_{Diagonale})$$

Eine Aufteilung auf Schubfeld- und Diagonalenanteil kann nun vorgenommen werden:

$$H_{Schub} = H * \frac{K_{Schub}}{K_{Schub} + K_{Diagonale}} = H * \frac{1}{1 + \frac{K_{Diagonale}}{K_{Schub}}}$$

$$H_{Diagonale} = H * \frac{K_{Diagonale}}{K_{Schub} + K_{Diagonale}} = H * \frac{1}{\frac{K_{Schub}}{K_{Diagonale}} + 1}$$

Mit den Federmodellen nach Kreuzinger und Niedermaier können abhängig von den Steifigkeiten der Schubverklebungen längs und quer zur Klebefugenachse sowie den Steifigkeiten, Lagen und Längen der Horizontal- und Vertikalverklötzungen Aussagen zum inneren Kraftfluss getroffen werden. Die Beanspruchungen der Bauteile Glasscheibe, Holzstabkonstruktion, Verklötzung und Verklebung können ebenso analytisch abgeschätzt werden, wie das maßgebende Kriterium der Gebrauchstauglichkeit: die Kopfverschiebung.

Um die Federmodelle nach Kreuzinger und Niedermaier, welche davon ausgehen, dass sämtliche Verformungen aus der Stauchung der Klötze resp. der Gleitung der Schubverklebung resultiert, verallgemeinern zu können, wurde ein Federsystem entwickelt, das es ermöglicht die mehrfach statisch unbestimmten Holz-Glas-Verbundscheiben vereinfacht zu berechnen:

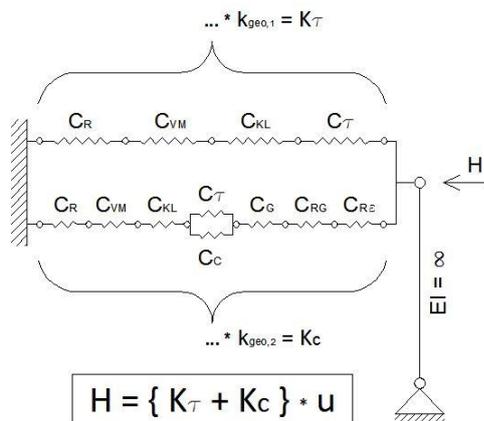


Abbildung 23: Statisch bestimmtes Federmodell (vorläufige Version) zur vereinfachten Berechnung mehrfach statisch unbestimmter Holz-Glas-Verbundscheiben

5.4. Das Berechnungs- und Bemessungsdiagramm nach Hochhauser:

Im laufenden Forschungsprojekt ist es gelungen die gesamte Berechnung als auch Bemessung von Holz-Glas-Verbundscheiben in einem Berechnungs- und Bemessungsdiagramm zu vereinen.

Als Eingangswerte werden benötigt:

- ➔ Verhältnis zwischen E-Modul der Verklotzung und G-Modul der Schubverklebung
- ➔ $H_{c,max}$ als Kleinstwert der Widerstände aller durch Klotzkräfte beanspruchten Bauteile
- ➔ u^*_{max} als Kleinstwert der Widerstände aller durch Schubkräfte beanspruchten Bauteile sowie der Kopfverschiebung

Ist ein Schneiden der klotzlängenspezifischen Funktion für ein E:G-Verhältnis innerhalb der Schranken möglich, so gelten alle Nachweise als erbracht. Zeitgleich kann über die Variablen $H_{c,vorh}$ und u^*_{vorh} die Beanspruchung aller Bauteile rückgerechnet werden.

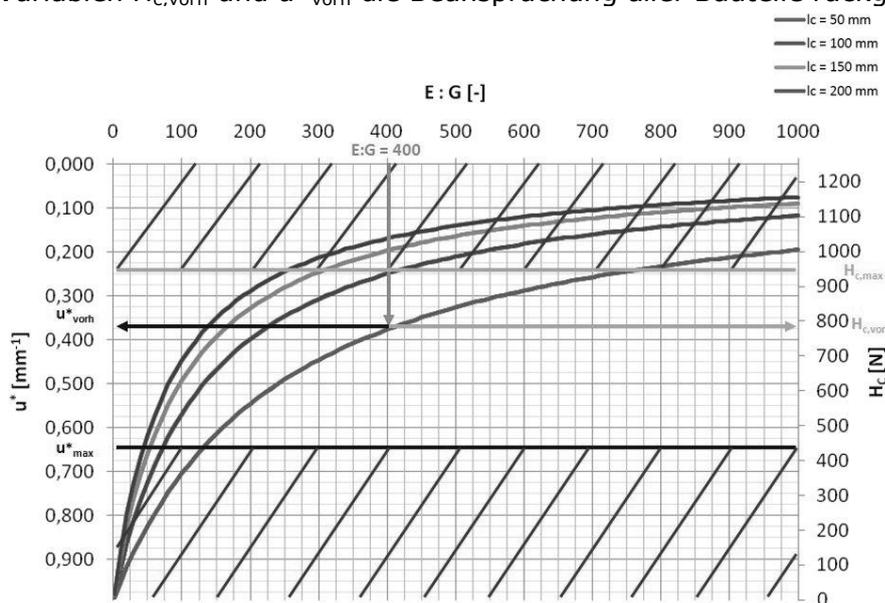


Abbildung 24: Berechnungs- und Bemessungsdiagramm für Holz-Glas-Verbundscheiben

6. Anwendungsmöglichkeiten

6.1. Ideenwettbewerb

Aus einem Ideenwettbewerb unter Architekturstudenten sind unter anderem folgende Anwendungsstudien prämiert worden:

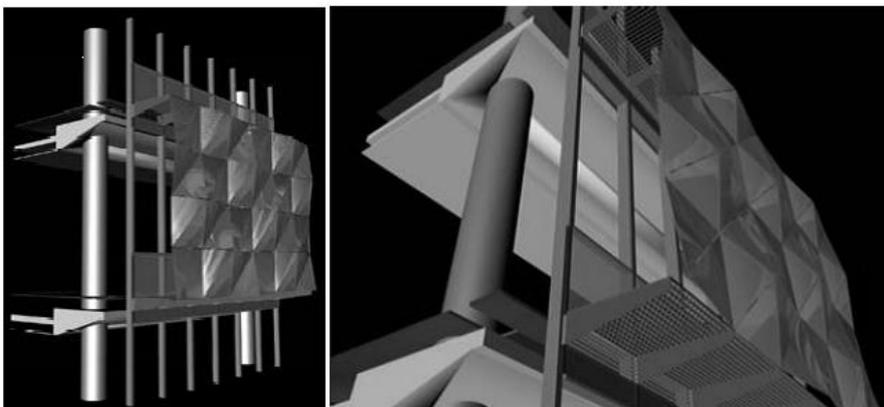


Abbildung 25: Kristallfassade von Sami Khoury

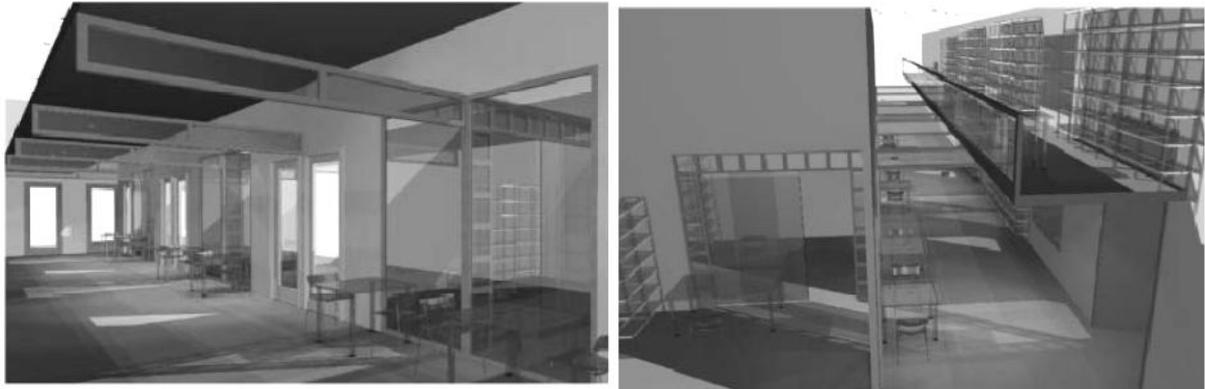


Abbildung 26: HGV im Innenausbau, Arta Januzzi

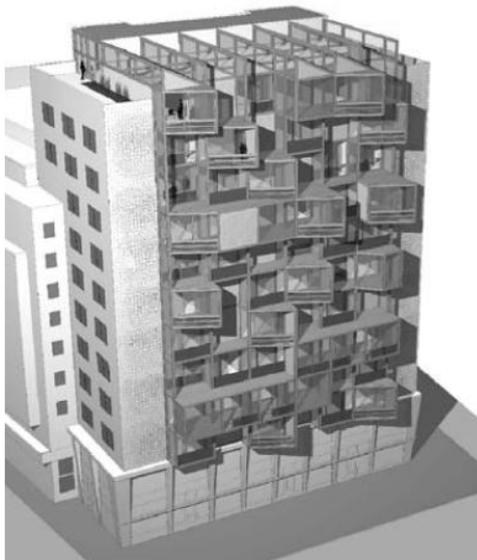


Abbildung 27: Sanierung eines 60er Jahre-Wohnbaus, Erkin Bayirli

6.2. Realisierte Projekte



Abbildung 28: „Schattenbox“ in Eichgraben, Architekten Dold und Hasenauer, Holzforschung Austria [7]

7. Quellenverzeichnis

- [1] Kreuzinger, H., Niedermaier P.: Glas als Schubfeld; Tagungsband Ingenieurholzbau; Karlsruher Tage 2005
- [2] Niedermaier, P.: Holz-Glas-Verbundkonstruktionen. Ein Beitrag zur Aussteifung von filigranen Holztragwerken. Doktorarbeit TU München – Fachgebiet Holzbau, 2005
- [3] Kreher, K.: Tragverhalten und Bemessung von Holz-Glas Verbundträgern unter Berücksichtigung der Eigenspannungen im Glas. Doktorarbeit EPF Lausanne, 2004
- [4] Edl, T.: Entwicklung von wandartigen verklebten Holz-Glas- Verbundelementen und Beurteilung des Tragverhaltens als Aussteifungsscheibe. Doktorarbeit TU Wien, 2008
- [5] Neubauer, G.; Schober, P.: Weiterentwicklung und Herstellung von Holz-Glas Verbundkonstruktionen durch statisch wirksames Verkleben von Holz und Glas zum Praxiseinsatz im Holzhausbau. Endbericht zum Impulsprojekt V2 des Kind Holz Technologie. Wien: Dezember 2008
- [6] Kreher, K., Hochhauser, W.: Berechnung von nachgiebigem Verbund, von der exakten zur Näherungslösung – Theorie und Praxis. Tagungsbandbeitrag: Werkstoffkombinationen – ein Mehrwert für Holz. 41. Fortbildungskurs 2009 der Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung. Weinfelden, 2009
- [7] Schober, P.: Tragende Holz-Glas-Verbundelemente: Konstruktion, Ausführung und umgesetzte Beispiele. Tagungsbandbeitrag: Werkstoffkombinationen – ein Mehrwert für Holz. 41. Fortbildungskurs 2009 der Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung. Weinfelden, 2009
- [8] Schober, P.; Hochhauser, W.: Tragende Holz-Glas-Verbundelemente: von der Vision zur parktischen Umsetzung: Tagungsbeitrag in Holz-Glas-Verbundelemente. Otto-Fachtagung. Laufen, 2010
- [9] Winter, W.; Hochhauser, W.; Kreher, K.: Load bearing and stiffening Timber-Glass-Composites (TGC): article in World Conference on Timber Engineering. Turino, 2010