

DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen. Prototypischer Einsatz am Beispiel eines Anbaus.

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

o. Univ. Prof. DDI Wolfgang WINTER

unter der Betreuung von

DI Dr. Werner HOCHHAUSER

E259

Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Franz WEISSENSTEINER

1027538

Fernkorngasse 46/9, 1100 Wien

Wien, am 30.05.2013

An erster Stelle möchte ich hier meiner Mutter danken, die für die moralische Unterstützung während meiner ganzen Studienzeit sorgte. Ganz herzlich möchte ich meiner Freundin Anna Schweiger danken, die immer großes Interesse für meine Arbeit zeigte und mir immer tatkräftig zur Seite stand.

Besonderer Dank gilt Herrn o. Univ. DDI Wolfgang Winter für die laufende Betreuung und Begutachtung meiner Arbeit. Auch Herrn DI Dr. Werner Hochhauser, der mir als Betreuer der Diplomarbeit mit viel Engagement zur Seite stand, möchte ich meinen besten Dank aussprechen.

All jenen, die mich beim Verfassen der Arbeit unterstützt haben, möchte ich einen recht herzlichen Dank aussprechen. Vielen Dank!

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit *„Holz-Glas- Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen- Prototypischer Einsatz am Beispiel eines Anbaus“* setzt sich mit dem Thema Holz- Glas- Verbund- Fassaden im baupraktischen Einsatz auseinander. Der Trend moderner Architektur fordert das Bauen mit transparenten Baustoffen wie Glas. Holz-Glas-Verbundfassaden übernehmen nicht nur diese Funktion, sondern auch die horizontale Lastableitung. Somit kann auf eine konventionelle Gebäudeaussteifung verzichtet werden.

Am Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau der TU- Wien, wurden für diese neuartige Bauweise Bemessungsmethoden entwickelt. Um diese Bauweise auf den Markt bringen zu können, wird als erster Schritt ein prototypischer Zubau eines Wintergartens in Vösendorf/Süd (Niederösterreich) entwickelt. Ziel dieser Arbeit soll es sein, die bislang im Labor untersuchten und in der Praxis kaum eingesetzten Konstruktionen weiterzuentwickeln, um eine baupraktische Anwendung im Sinne des Stands der Technik als „Funktionstüchtigen und erprobten Stand der Wissenschaft“ zu ermöglichen.

Um langsam und verständlich an das Thema heranzuführen, werden in dieser Arbeit zur Einführung die Ausgangsstoffe und die wichtigsten Berechnungsmodelle erläutert. Anschließend werden die Themengebiete Konstruktion, Statik, Baugenehmigung und Bauphysik bezogen auf den Zubau abgehandelt. Parallel dazu wurden Variantenstudien zu den einzelnen Themen für verschiedene Ausführungsmöglichkeiten von Holz-Glas-Verbundfassaden durchgeführt. So werden die Systeme „reine Schubverklebung“, „Schubverklebung und Klotzung“, sowie ausschließlich „geklotzte Scheiben“ behandelt. Der Schwerpunkt liegt dabei beim System Schubverklebung und Verklotzung, welches am Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau entwickelt, von der TU- Wien patentiert wurde und für die es bislang wenige baupraktische Erfahrungen gibt.

Abstract

The thesis “wood- glass- composite constructions used in thermal puffer zones - prototypical realization as an example of an enlargement of a building” discusses the topic of wood- glass composite façades in building practice. The trend of modern architecture requires transparent building materials such as glass. Wood- glass composite façades not only take on this architectural requirement, but also the horizontal load transfer. Thus conventional building bracing is not necessary for a static functioning building.

Dimensioning methods for this novel building design were developed at the Institute of Architectural Sciences Structural Design and Timber Engineering in Vienna. In order to launch this product onto the market, as a first step, a prototype building in Vösendorf (winter garden) is used to put the theoretical calculations examined in the laboratory into practice. The aim of this thesis is to further develop this construction design, which has been hardly used so far, in order to find practical building applications which are state of the art, are functioning and represent the most current technology and science.

As an introduction to the topic the thesis starts off with describing the individual components and the most important calculation models. This is followed by the discussion of the range of topics construction, statics, building permission and building physics related to the prototype winter garden. Parallel to this, variation studies to the individual topics for different implementation possibilities for wood- glass- composite façades were carried out. Therefore different bonding systems such as solely shear bonding, shear bonding with blocking and exclusively blocked panes are described. The system on which is put the most emphasise is solely shear bonding and the blocked panes which are developed and patented at the Institute of Architectural Sciences Structural Design and Timber Engineering in Vienna. Up to now, no building practical experience has been gained with these patented systems.

Abkürzungsverzeichnis

An dieser Stelle seien nur solche Kurzzeichen angeführt, die nicht bei ihrer Verwendung angeführt und beschrieben sind.

BFU	Birkenfurniersperrholz
ESG	Einscheiben- Sicherheitsglas
HFA	Holzforschung Austria
HGV	Holz- Glas- Verbund
P-R	Pfosten Riegel
TVG	Teilvorgespanntes- Glas
VSG	Verbundsicherheits- Glas

Formelzeichen

Große lateinische Buchstaben

A	Fläche
E	Elastizitätsmodul
E_c	Elastizitätsmodul Verklotzung
E_{KL}	Elastizitätsmodul der Koppelleiste
E_R	Elastizitätsmodul des Rahmens
F	Kraft
G	Schubmodul
G_G	Schubmodul Glas
G_{KL}	Schubmodul der Koppelleiste
G_R	Schubmodul Rahmen
G_τ	Schubmodul der Schubverklebung
$G_{\tau,l}$	Schubmodul Verklebung längs
$G_{\tau,q}$	Schubmodul Verklebung quer
H	Horizontalkraft
I	Flächenträgheitsmoment 2. Grades
K_{ser}	Verformungsmodul Verschraubung
$K_{ser,RG}$	Verformungsmodul Rahmengelenk
K_τ	Systemsteifigkeit eines Schubfeldes infolge Schubverklebung
T	Temperatur

Kleine lateinische Buchstaben

$b_{c,G}$	Klotzbreite glasseitig:
$b_{c,H}$	Klotzbreite holzseitig:
b_{KL}	Koppelleistenbreite:
b_R	Rahmenbreite:
b_τ	Verklebungsbreite:
d_c	Klotzdicke:
d_{KL}	Koppelleistendicke:
d_R	Rahmendicke (-tiefe):

d_t	Verklebungsdicke:
e_c	Abstand Klotzkante zu Glaskante:
f	Festigkeit
g	Eigengewicht
k_{def}	Deformationsbeiwert
k_{mod}	Modifikationsbeiwert
k_u, k_w	Flächenfedersteifigkeit nach Kreuzinger und Niedermaier
$l_{c,h}$	Länge horizontal liegender Klotz
$l_{c,v}$	Länge vertikal liegender Klotz
q	Nutzlast
u	Zul. horizontale Kopfverschiebung
w_k	charakteristische Windlast

Kleine griechische Buchstaben

α_T	Wärmeausdehnungskoeffizient
γ	Teilsicherheitsbeiwert
Δu	Änderung der Holzfeuchte
ε	Dehnung
ν	Poisson- Zahl
ρ	Rohdichte
σ	Spannung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufgabenstellung	1
2	Ausgangsstoffe	2
2.1	Holz	2
2.1.1	Holzarten	2
2.1.2	Eigenschaften von Holz	2
2.1.3	Holzprodukte	4
2.1.4	Relevante Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe	5
2.1.5	Bautechnisch relevante Eigenschaften:	5
2.2	Glas	6
2.2.1	Eigenschaften von Glas	6
2.2.2	Herstellung	8
2.2.3	Produkte im konstruktiven Einsatz	10
2.3	Klebstoffe	12
2.3.1	Einteilung der Klebstoffe	12
2.3.2	Klebstofftypen	13
2.4	Verbindungsmittel	14
2.4.1	Klebeverbindungen	15
3	Aussteifung	17
3.1	Allgemein	17
3.2	Aussteifung durch Holz- Glas- Verbundkonstruktionen	18
3.2.1	Analytische Berechnungsmethoden	23
4	Variantenstudie verschiedener HGV- Bausysteme	27
4.1	Materialparameter	28
4.2	Berechnung der Wandsteifigkeiten bei verschiedenen Anordnungen und Systemen	30
4.2.1	Umlaufend schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe	30
4.2.2	Umlaufend schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe im Verband	40
4.2.3	Ausschließlich geklotzte HGV- Scheibe	42
4.2.4	Ausschließlich schubverklebte HGV- Scheibe	43
4.3	Auswertung und Vergleich der Berechnungsergebnisse	44
4.4	Vergleich der Steifigkeitsberechnungen mit „SOFISTIK“	48
5	Zubau Wintergarten	51
5.1	Konstruktion	54

5.1.1	Ausführung mit schmaler L- BFU- Koppelleiste und Konsolenaufleger aus Metall.....	54
5.1.2	Ausführung mit schmaler- gezahnter BFU- Koppelleiste	57
5.2	Baugenehmigung/ Haftung	62
5.2.1	Allgemein.....	62
5.2.2	Baugenehmigung für den Zubau- Wintergarten	64
5.3	Aussteifungssysteme und Nachweise	66
5.3.1	Lastaufstellung.....	67
5.3.2	Aussteifung durch HGV- Scheiben mit umlaufender Schubverklebung.....	70
5.3.3	Aussteifung durch HGV- Scheiben mit ausschließlicher Verklotzung- Eigengewichtsabtrag durch vertikale Verklebung.....	85
5.3.4	Aussteifung durch HGV- Scheibe mit einer Schubverklebung und Verklotzung	100
5.3.5	Vergleich der geführten Nachweise	106
5.4	Variantenstudie – Wärmebrückenberechnung verschiedener Konstruktionssysteme	109
5.4.1	Wärmebrücken allgemein	109
5.4.2	Berechnungsannahmen.....	112
5.4.3	Konstruktionsvariante 01: L- Leiste- klein, 2- Scheiben- Isolierverglasung	113
5.4.4	Konstruktionsvariante 02: L- Leiste- klein, 3- Scheiben- Isolierverglasung	115
5.4.5	Konstruktionsvariante 03: L- Leiste- groß, 2- Scheiben- Isolierverglasung	117
5.4.6	Konstruktionsvariante 04: L- Leiste- groß, 3- Scheiben- Isolierverglasung	118
5.4.7	Konstruktionsvariante 05: BFU- Flachleiste, 2-fach Isolierverglasung	120
5.4.8	Konstruktionsvariante 06: flache Koppelleiste- BFU, 3-fach Isolierverglasung.....	121
5.4.9	Konstruktionsvariante 07: flache GFK Leiste- 2-fach Isolierverglasung	123
5.4.10	Konstruktionsvariante 08: flache GFK- Leiste- 3-fach Isolierverglasung	125
5.4.11	Konstruktionsvariante 09: System Alu- 2-fach Isolierverglasung.....	126
5.4.12	Konstruktionsvariante 10: System Alu- 3-fach Isolierverglasung	127
5.4.13	Vergleich der Berechnungsergebnisse	128
5.4.14	Einfluss des Randverbundes der Isolierverglasung auf die Wärmebrücke	131
5.4.15	Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Koppelleisten	134
5.4.16	Einfluss der Gasfüllung im Scheibenzwischenraum	135
5.4.17	Zusammenfassender Variantenvergleich der Wärmebrückenberechnung	137
5.4.18	Problematik- Kondenswasser im Bereich der Koppelleisten.....	140
5.5	Bauphysikalisches Konzept	141
5.5.1	Wintergärten Allgemein	141
5.5.2	Konzept der Ausführung.....	144
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	148
7	Anhang	150
7.1	Übersichtszeichnungen-Zubau Wintergarten	150
7.2	Konstruktionszeichnung gezahnte-schmale BFU-Koppelleiste	152
7.3	Berechnung der Beanspruchung der Isolierverglasung	157
7.4	Tragfähigkeit einer Schraubverbindung-einschnittig.....	158

7.5	Abbildungsverzeichnis.....	160
7.6	Tabellenverzeichnis.....	164
8	Literatur	165
8.1	Bücher und Schriften.....	165
8.2	Normen	166
8.3	Quellen aus dem Internet	167

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bislang wird der Baustoff Glas im Fassadenbereich überwiegend als äußere Gebäudehülle eingesetzt, da aufgrund seiner Transparenz ein hoher Belichtungsgrad im Gebäude erreicht wird. Neben dem architektonischen Gesichtspunkt bietet Glas einen dauerhaften Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit von außen. Diese Glaselemente müssen im Normalfall nur die Windnormalkräfte aufnehmen können. Die Aussteifung jedoch übernehmen konventionelle Systeme wie Stahlzugbänder, eingespannte Stiele, biegesteife Rahmenecke, Wandscheiben in Kombination mit schubsteifen Decken. Durch eine Verbindung der Glasscheibe mit der Tragstruktur kann Glas selbst diese Funktion übernehmen. Die Glasscheibe übernimmt also die Funktion der Lastableitung, wodurch sich in architektonischer Hinsicht viele Vorteile ergeben. Glas besitzt die Eigenschaft, große Druckkräfte aufnehmen zu können, sofern die Kräfte gleichmäßig, also ohne örtliche Spannungsspitzen eingeleitet werden. Dieses Potenzial von Glas in diesen Verbundkonstruktionen wird durch eine umlaufende- elastische Verklebung und Verklotzung in den Eckbereichen genutzt. Dadurch kann Glas die Kräfte in die Unterkonstruktion einleiten und diese weiter ins Fundament abtragen.

Neben dem Baustoff Glas als Flächenelement kommen in den konventionellen Fassadesystemen vorwiegend Aluminiumprofile zum Einsatz. Da Aluminium jedoch einen sehr hohen Anteil an grauer Energie (Energie für die Herstellung) besitzt, wird versucht, CO₂-neutrale Baustoffe zu verwenden. Diese Eigenschaft besitzen Holz- und Holzwerkstoffe, welche nicht nur CO₂- neutral sind, sondern auch regional zur Verfügung stehen und somit die Wertschöpfungskette positiv beeinflussen.

1.2 Aufgabenstellung

Im Zuge dieser Arbeit soll versucht werden, die bisher entwickelten Konstruktionen und Berechnungsmodelle an einem weiteren baupraktischen Beispiel umzusetzen. Ziel ist es praxistaugliche Konstruktionen zu erhalten, die in weiterer Folge als Standarddetails Verwendung finden können. Neben den Themen Konstruktion und Statik wird ein Schwerpunkt auch auf die bauphysikalische Konzeption der Fassadenkonstruktion gelegt. Im Besonderen werden Wärmebrückenberechnungen verschiedener Scheibenaufbauten, Ausführungs-variationen der Koppelleisten, Glasrandverbundsysteme und Gasfüllungen berechnet. Dabei soll beurteilt werden können, ob die neuartige Fassadenkonstruktion in thermischer und hygrischer Hinsicht als positiv oder negativ zu beurteilen bzw. ob und welche Verbesserungsmaßnahmen vorzunehmen sind.

Der prototypische Zubau eines Wintergartens an ein bestehendes Einfamilienhaus soll auf der einen Seite Aufschlüsse über die praxistaugliche Umsetzung von HGV- Scheiben bringen und auf der anderen Seite die Möglichkeit bieten, Langzeitversuche durchführen zu können. Im Besonderen soll die Dauerhaftigkeit der Verklebung und der tauwassergefährdeten Bauteile beurteilt werden.

2 Ausgangsstoffe

2.1 Holz

2.1.1 Holzarten

Holz kann in zwei Hauptkategorien, nämlich in Weichholz (gymnosperms, Nadelholz) und Hartholz (angiosperms, Laubholz) eingeteilt werden.

- Nadelholz: zeigt eine sehr einfache Struktur und besteht aus ca. 90 bis 95 % Tracheiden und der Rest aus Parenchymzellen. Diese Tracheiden sind sehr schlanke, flachgedrückte und an den Enden geschlossene Zellen. Angeordnet sind sie in radialen Reihen mit einer Längsausdehnung in axialer Richtung. Sie sind zuständig für die Wasserleitung aber auch verantwortlich für die mechanische Stabilität des Holzes. Nadelhölzer bilden Früh- und Spätholzzonen aus, die zu gravierenden Rohdichte unterschieden (bis 3:1) führen. Dieser Aspekt ist besonders beim Rundholzeinschnitt zu berücksichtigen. Zu den wichtigsten Nadelhölzern gehören die Fichte, die Kiefer und die Tanne.
- Laubholz: ist durch einen sehr variablen und komplizierten Strukturaufbau gekennzeichnet. Der Aufbau kann in drei funktionalen Gruppen eingeteilt werden, in das Leitgewebe, Festigkeitsgewebe und Speichergewebe. Typisch für Laubhölzer sind die Tracheen, die je nach Anordnung in ringporig, halbringporig und zerstreutporig eingestuft werden. Die Unterschiede zwischen Früh- und Spätholz sind bei Laubholz bei weitem nicht so stark ausgebildet. Zu den wichtigsten Laubhölzern gehören die Buche, die Eiche und die Birke. (vgl. Kuklik (2008), S. 19)

2.1.2 Eigenschaften von Holz

Die Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes Holz variieren von Holzart zu Holzart und Veredelungsgrad zu Veredelungsgrad sehr stark und hängen mit dem Feuchtigkeitsgehalt, dem Alter sowie der Anordnung und Größe von Holzfehlern zusammen. Aufgrund dessen dass Holz ein Fasermaterial ist, unterscheiden sich die Festigkeitseigenschaften je nach Belastungsrichtung (parallel oder senkrecht zu den Fasern) sehr stark.

Der in Abb. 1 dargestellte Kurzzeitversuch verdeutlicht, dass die Spannungsdehnungslinie für Zug in Faserrichtung bis zur Streckgrenze $f_{t,0}$ nahezu linear verläuft. Bei einer Druckbeanspruchung wird die Proportionalgrenze unterhalb der Druckfestigkeit $f_{c,0}$ erreicht. Sehr geringe Festigkeiten sind bei einer Zug- und Druckbeanspruchung rechtwinklig zu den Fasern ersichtlich. (vgl. Neuhaus (2007), S.22)

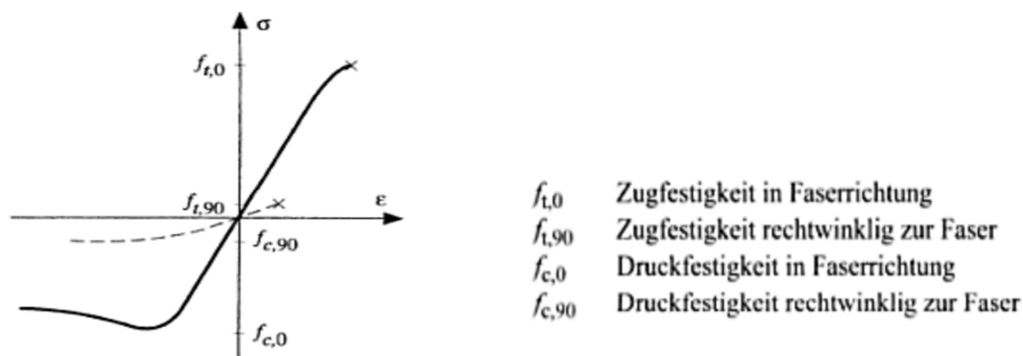


Abb. 1: Spannungsdehnungslinien für fehlerfreies Holz unter Zug (t) und Druck (c) in Faserrichtung (Volllinie) und rechtwinklig zur Faser (strichliert), (Neuhaus (2007), S.22)

Nachfolgende Tabelle zeigt die Festigkeiten einiger wichtiger Hölzer:

Tab. 1: Mittlere Festigkeiten von Bauhölzern (Neuhaus 2007, S. 35)

Holzart	Zugfestigkeit f_t in N/mm ²	Druckfestigkeit f_c in N/mm ²	Biegefestigkeit f_m in N/mm ²	Schubfestigkeit f_v in N/mm ²
Nadelhölzer				
Fichte	80	40	68	7,5
Tanne	80	40	68	7,5
Kiefer	100	45	80	10
Lärche	105	48	93	9
Douglasie	100	50	80	9,5
Western Hemlock	90	45	75	7,5
Southern Pine	(100) ³⁾	50	85	9
Yellow Cedar	(90) ³⁾	50	80	9,5
Laubhölzer				
Eiche	110	52	95	11,5
Buche	135	60	120	10
Teak	115	58	100	10
Keruing, Yang	(110) ³⁾	53	103	10,5
Afzelia, Doussie	(120) ³⁾	70	115	12,5
Merbau	(140) ³⁾	70	130	15
Angélique, Basralo-cus	130	70	120	12
Azobé, Bongossi	180	95	180	14

Folgende Charakteristika des Holzes sind für den Einsatz im Bauwesen von Bedeutung:

- Anisotropie: in seinen drei Hauptachsrichtungen (axial, radial, tangential) weist Holz deutlich unterschiedliche Eigenschaften auf. Axial ist die Richtung mit der größten Festigkeit, Steifigkeit und der höchsten Dimensionsstabilität. Weiters ist in dieser Richtung das geringste Quell- und Schwindmaß zu verzeichnen. Die radiale und tangential Richtung weisen eine geringere Festigkeit und eine höheres Quell- und Schwindverhalten auf.
- Inhomogenität: Die natürlichen Wachstumsmerkmale der Bäume, wie z.B. Äste, führen zu teilweise sehr unterschiedlichen Eigenschaften innerhalb eines Werkstücks. Weiters wird die Festigkeit von der Rohdichte und der Jahrringbreite stark beeinflusst.

- Porosität: Durch den Strukturaufbau des Holzes ergibt sich eine gewisse Porosität, was Ursache der geringen Wärmeleitfähigkeit ist. (vgl. Burger, Skript FH- Kuchl (2008), S.3. ff.)
- Hygroskopizität: Holz hat die Eigenschaft sich dem Umgebungsklima anzupassen. Das heißt, der Feuchtigkeitsgehalt von Holz ändert sich je nach relativer Feuchtigkeit und Temperatur des Umgebungsklimas.

2.1.3 Holzprodukte

Grundsätzlich kann zwischen unvergütetem Vollholz und vergütetem Vollholz unterschieden werden, wobei vergütetes Vollholz unter dem Begriff Holzwerkstoff bekannt ist. Aufgrund der sehr komplexen Struktureigenschaften (hygroskopisch, anisotrop, ...) ist es für den Einsatz im Bauwesen sinnvoll, durch gewisse Veredelungsprozesse das Holz zu homogenisieren.

Folgende Eigenschaften können durch eine Weiterverarbeitung beeinflusst werden:

- Festigkeit: steigt
- Homogenität: steigt
- Isotropie: steigt
- Wärmedämmung: steigt
- Oberflächengüte: steigt

In Abb. 2 werden die heute angebotenen Holzbaustoffe auf Holzbasis in einer Übersicht dargestellt.

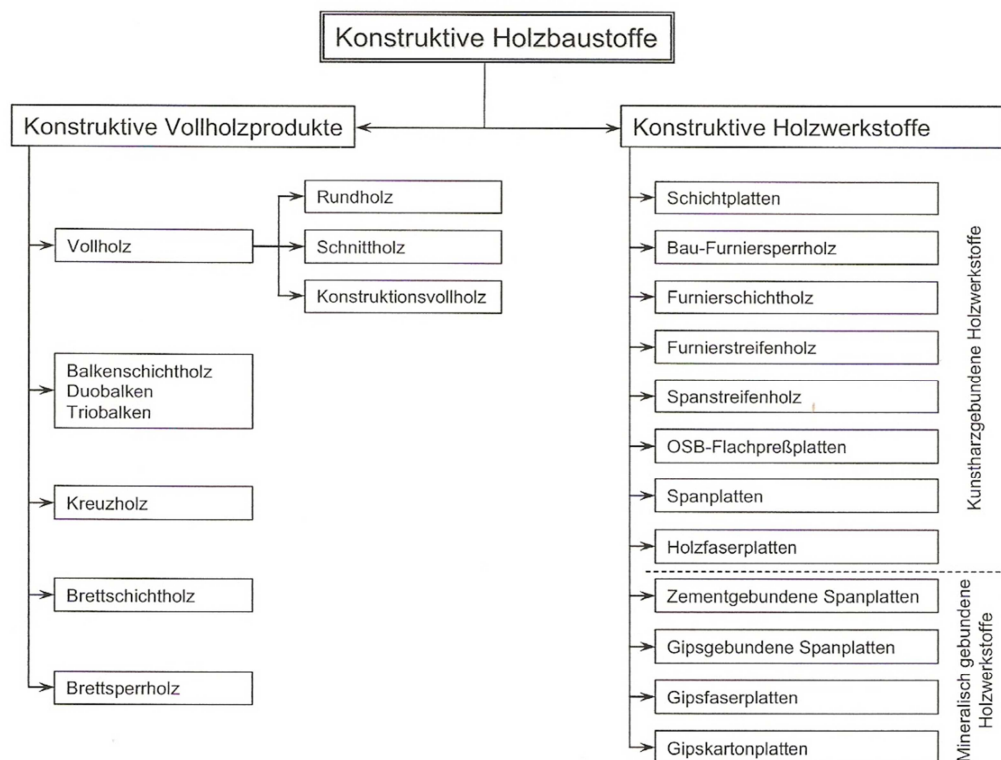


Abb. 2: Übersicht über die konstruktiven Holzbaustoffe (Burger, FH- Kuch- Skriptum (2008), S. 17)

2.1.4 Relevante Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe

In diesem Kapitel wird auf die für den Wintergarten- Zubau verwendeten Holzwerkstoffe näher eingegangen.

Brettschichtholz (BSH):

Bei BSH handelt es sich um stabförmige Bauteile, die aus mindestens drei flachseitig, faserparallelen miteinander verleimten Brettern bestehen. Durch die Festigkeitssortierung der Lamellen und den schichtweisen Aufbau mit starrer Verbindung resultiert eine Homogenisierung. Diese Balkenquerschnitte können auch in gekrümmter und verdrehter Ausführung hergestellt werden. Zu einem Balkenquerschnitt aus Vollholz kann eine um 5-10 % höhere zulässige Biegespannung erreicht werden. (vgl. Burger, Skriptum FH- Kuchl (2008), S. 25.ff)

Bau- Furniersperrholz (BFU):

BFU besteht aus dünnen, mehreren kreuzweise verleimten Furnierlagen, die symmetrisch zur Mittellage angeordnet werden. Diese bilden ein flächiges Bauteil, welches je nach Wunsch auf seine Breite aufgetrennt werden kann. Aufgrund der vielen einzelnen Schichten wird der Effekt der Homogenisierung verstärkt, was zu einer hohen Formstabilität und hohe Festigkeit führt. (ebd.)

2.1.5 Bautechnisch relevante Eigenschaften:

Folgende Argumente sprechen für den Einsatz von Holz:

- geringer Primärenergieaufwand bei der Produktion (leichte Verarbeitung)
- zählt zu den nachwachsenden Rohstoffen, der bei Einhaltung des Nachhaltigkeitsprinzips auch in Zukunft zur Verfügung stehen wird
- konstruktiver Baustoff mit wärmedämmender Wirkung
- hohe Widerstandfestigkeit gegen Säuren und Salze
- gutes Verhältnis von Eigengewicht zu Festigkeit

Diesen vielen Vorteilen stehen einige Nachteile gegenüber:

- empfindlich gegenüber Feuchtigkeit
- aufgrund der geringen Festigkeit sind die Spannweiten vergleichsweise gering
- große Streuung seiner mechanischen Eigenschaften
- anisotropie und Inhomogenität (vgl. Burger, Skriptum FH- Kuchl (2008), S. 25.ff)

2.2 Glas

Der Ausdruck „Glas“ leitet sich vom germanischen Wort *glasa ab*, steht für das Glänzende und das Schimmernde und gehört zur Gruppe der „anorganisch- mineralischen“ Baustoffe im Bauwesen. Aufgrund seiner Transparenz hat Glas in der heutigen Architektur einen sehr hohen Stellenwert und wird beinahe bei jedem Hochbauprojekt zum Einsatz gebracht. Glas ist ein Schmelzprodukt mit amorpher Struktur, da es beim Abkühlvorgang nicht kristallisieren kann. Es können sich zwar Kristallkeime beim Abkühlen ausbilden, jedoch bleibt für den eigentlichen Kristallisationsprozess nicht genügend Zeit. Weiters zeichnet sich Glas dadurch aus, dass es keinen festen Schmelzpunkt und bei sinkender Temperatur zunehmende Zähigkeit aufweist. Die zur Erzeugung benötigten Rohstoffe sind Quarzsand, Kalk und Soda. (vgl. Kolbitsch (2012), S.1)

Übersicht der geschichtlichen Entwicklung für die Herstellung von Glas:

- | | |
|------------------|---|
| - Um 650 v. Chr. | Glasrezept vom assyrischen König Assurbanipal |
| - Römer | Gussglas |
| - Mittelalter | Zylinderblasverfahren und Mondglasverfahren |
| - Seit 15. Jh. | Glasmacherkunst in Venedig |
| - 17. Jh. | Walzverfahren vom Unternehmen Saint-Gobain |
| - 19 Jh. | Passagen, Bahnhöfe, Gewächshäuser |
| - 1851 | Kristallpalast in London von Joseph Paxton |
| - 1905 | Ziehverfahren |
| - 1952 | Floatverfahren vom Unternehmen Pilkington |

(vgl. Ofner (2007), S. 2 ff.)

2.2.1 Eigenschaften von Glas

Eine besondere Eigenschaft von Glas ist sein Spröbruch bei einem nahezu vollständig linear-elastischen Werkstoffverhalten. Kommt es zum Bruch, so treten kaum plastische Verformungen auf und es kommt bei zu starker Beanspruchung zum schlagartigen Versagen des Werkstoffs, somit können Spannungsspitzen nicht durch Plastifizieren abgebaut werden. Stahl hingegen kann durch sein ausgeprägtes Fließplateau diese Spannungen umlagern. In Abb. 3 sind zum Vergleich von Glas, Stahl und Beton die Arbeitslinien dargestellt. Das schlagartige Versagen des Glases bei der kritischen Zugspannung und damit das Versagen ohne Ankündigung (sprödes Werkstoffverhalten) ist beim Konstruieren mit Glas ein gravierender Nachteil im Vergleich zu duktilen Baustoffen. (ebd.)

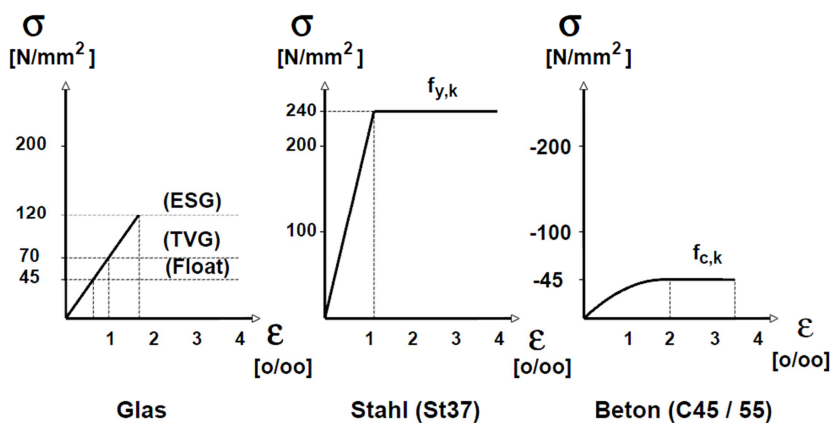


Abb. 3: Spannungs- Dehnungslinie von Glas, Stahl und Beton (Ofner (2007), S. 3)

Folgende Punkte müssen beim Konstruieren mit Glas berücksichtigt werden:

- Vermeidung von Zwängungen im Glas durch angrenzende Bauteile, Temperaturendehnungen und Toleranzen
- Bei Verbindungen und Lagerungen von Glas mit anderen Werkstoffen ist der Direktkontakt mit härteren Baustoffen zu vermeiden
- Durch Kerben entstehende Spannungsspitzen sind zu bedenken
- Auswirkungen eines Glasbruchs müssen überlegt und geplant werden

In Tab. 2 sind die physikalischen Eigenschaften von drei verschiedenen Gläsern dargestellt, wobei Kalk- Natronsilicatgläser die im Bauwesen am häufigsten eingesetzten Gläser sind. Borosilicatgläser werden vor allem in den Bereichen mit hohem chemischem Angriff und Temperatureinwirkungen eingesetzt. (vgl. Kolbitsch (2012), S. 8)

Tab. 2: Physikalische Eigenschaften von Gläsern (Kolbitsch (2012), S 8)

Phys. Eigenschaften		Kalk- Natronsilicatglas	Borosilicatglas	Erdalkali- Silicatglas
Dichte (18°C)	Kg/m^3	2500	2200-2500	2700
Härte (Knoop)	GPa	6	4,5-6	5-6
E- Modul	N/mm^2	$70 \cdot 10^3$	$(60-70) \cdot 10^3$	$77 \cdot 10^3$
Poisson- Zahl	-	0,2	0,2	0,2
$f_{bz,k}$	N/mm^2	45	45	45
Spez. Wärmekap.	J/(kg.K)	$0,72 \cdot 10^3$	$0,8 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$
Wärmeleitfähigkeit	$\text{W/m}^2\text{K}$	1	1	0,8-1,1
α_{lin}	$1/\text{K}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$(3,1- 6,0) \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$

2.2.2 Herstellung

Bei der Herstellung von Glas werden die gemahlene Ausgangsstoffe (vor allem SiO_2) im Schmelzofen auf ca. 1600 °C erhitzt und geschmolzen. Nach einer Abkühlung auf ca. 1000 °C wird die Schmelze zu Tafeln geformt und weiter auf einen Temperaturbereich von 100 °C bis 800 °C abgekühlt. Die heutige industrielle Fertigung von Glas verwendet vor allem pulverförmige Bestandteile zur Erzeugung der Schmelze, wobei der Anteil der natürlichen Rohstoffe für die Glasschmelze 80% beträgt, die restlichen 20 % bestehen aus Recycling- Bruchglas. (vgl. Kolbitsch (2012), S. 9 ff.)

Nachfolgend wird eine Übersicht über die Prozesse bei der Glasherstellung dargestellt:

Tab. 3: Prozesse bei der Glasherstellung (Kolbitsch (2012), S.10)

Produktion	Ziehen	Blasen	Pressen	Floatglaserzeugung	Gießen und walzen	Auslaugen/Faserherstellung
	Abkühlen	Abkühlen	Abkühlen	Abkühlen	Abkühlen	Abkühlen
Bearbeitung	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Bedrucken	schleifen, bohren, beschichten, polieren, färben, säureätzen, schmelzen, gravieren	schleifen, bohren, beschichten, polieren, färben, säureätzen, schmelzen, gravieren	schleifen, bohren, beschichten, bedrucken, biegen, laminieren, vorspannen, sandstrahlen, verspiegeln, säureätzen,	schleifen, bohren, beschichten, bedrucken, biegen	Härten, verdichten, profilieren
Produkte	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Glasrohre, optisches Glas, Fasern	Glashohlgefäße, Trinkgläser, Lampen, Laborgläser	Glaslinsen, Glasblöcke, Bildschirme	Fenster und Fasadenverglasungen, konstruktive Verglasungen, Spiegel, Einrichtungselemente	Flachglas, Gussglas, Kochfelder	Glaswolle, Textilfasern, Steinwolle

Auf die drei heute am häufigsten verwendeten Herstellungsarten von Glas wird etwas näher eingegangen:

- Float- Verfahren

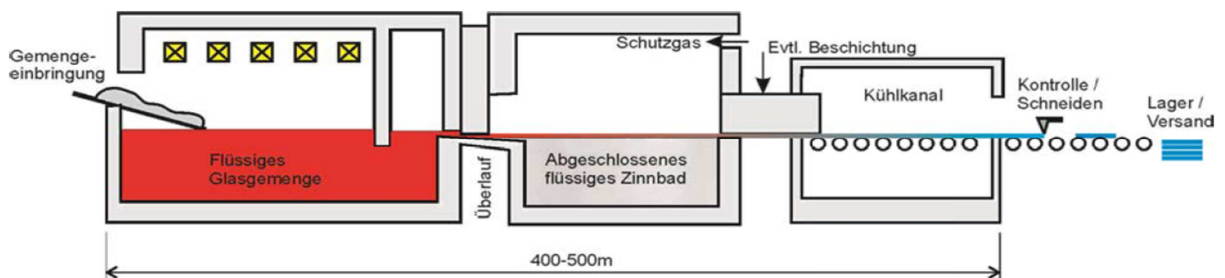


Abb. 4: Grundaufbau einer Floatglasanlage (Wittel 2011, S.17)

Das 1959 von Pilkington entwickelte Float- Verfahren ist seit den 80er Jahren das gängigste Verfahren zur Erzeugung von Flachglas. Vor allem aufgrund der niedrigen Herstellkosten, der ausgezeichneten optischen Qualität und der großformatigen Herstellung der Floatglasscheiben. (ebd.)

- Zieh- Verfahren

Das Ziehverfahren wurde bis ca. 1960 für die Erzeugung von Flachglas als gängigstes Verfahren angesehen. Es wird dabei ein Glasband aus dem Schmelzbad direkt nach oben gezogen. Die Dickeneinstellung erfolgt dabei durch die Ziehgeschwindigkeit. Aufgrund der schlechten Oberflächenbeschaffenheit des Glases, wurde dieses Verfahren sehr schnell vom Float- Verfahren ersetzt. (ebd.)

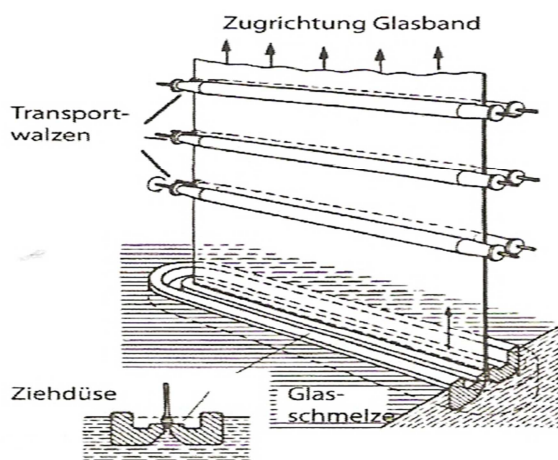


Abb. 5: Fourcault- Verfahren (Kolbitsch (2012), S.12)

- Gieß- und Walzverfahren

Bei diesem Verfahren wird das Glas entweder diskontinuierlich auf eine Platte gegossen und danach ausgewalzt oder in einen kontinuierlichen Prozess durch Auslaufen der Schmelze aus einer Wanne zwischen Walzen geformt.

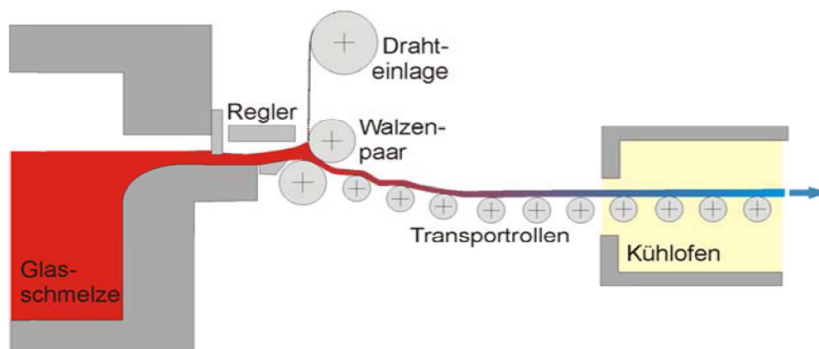


Abb. 6: Walzglasherstellung (Wittel (2011), 14)

Im Vergleich zum Floatglas muss Walzglas erst durch Schleifen und Polieren der Oberfläche zu einer ebenen und durchsichtigen Glasscheibe weiterverarbeitet werden. Mit diesem Verfahren wird auch Drahtglas hergestellt, das früher auch als Sicherheitsglas und Brandschutzglas bezeichnet wurde. (ebd.)

2.2.3 Produkte im konstruktiven Einsatz

Da Flachglas, auch bezeichnet als Floatglas, für die Anwendung im Bauwesen vielen Anforderungen nicht entspricht, muss es einem Veredelungsprozess unterzogen werden. In diesem Punkt wird nur auf die im Bauwesen am häufigsten eingesetzten und relevanten Flachgläser und deren Veredelungsprodukte für den konstruktiven Einsatz eingegangen.

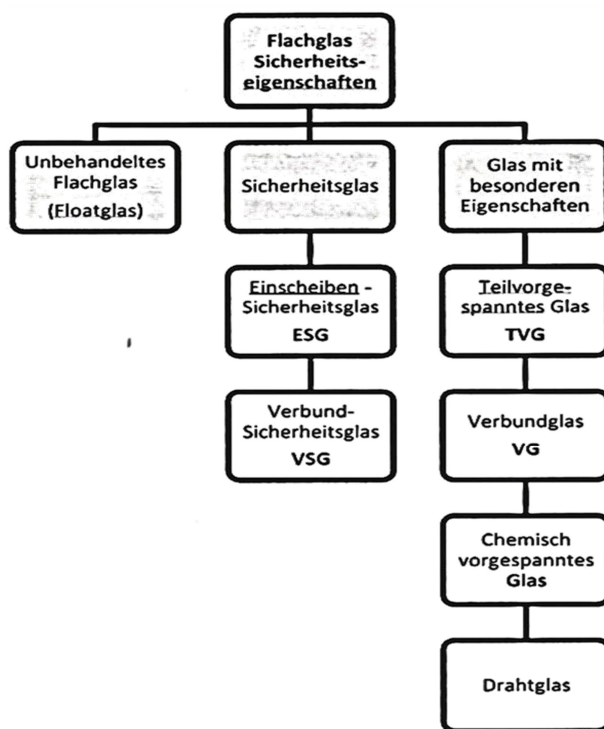


Abb. 7: Veredelungsprodukte von Flachglas (Kolbitsch (2012), S.15)

- Floatglas (Flachglas): wird etwa in 95 % der Flachglasanwendungen eingesetzt.
- Einscheibensicherheitsglas (ESG): ist ein Glas das durch erneutes Erhitzen bis zum Transformationspunkt und anschließendes Abkühlen in einen Eigenspannungszustand versetzt wird. Nach dieser Wärmebehandlung steht die Glasscheibe an ihren Oberflächen unter Druckbeanspruchung und im Kern der Scheibe unter Zugspannung. Durch dieses Verfahren kann die Glasscheibe weitaus höhere Zugspannungen aufnehmen als unbehandeltes Floatglas.

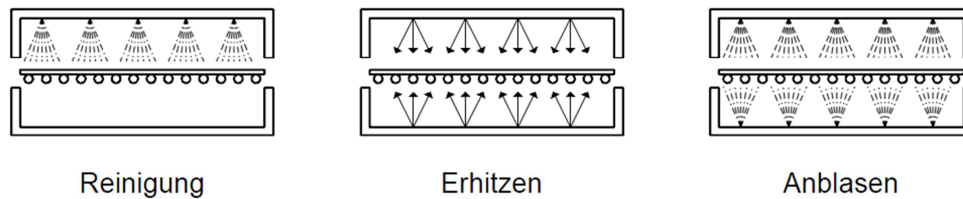


Abb. 8: Herstellung von ESG (Wörner (2001), S.10)

- Teilvorgespanntes Glas (TVG): wird durch den gleichen Herstellungsprozess wie ESG hergestellt, jedoch mit einem etwas langsameren Abkühlvorgang. Dadurch kommt es zu geringeren Spannungsunterschieden und somit zu einer geringeren eingepprägten Vorspannung. Die Biegefestigkeit liegt zwischen jenes von unbehandelten Floatglas und ESG. (Wörner (2001), S.13)
- Verbundsicherheitsglas (VSG): besteht aus mindestens zwei Glasscheiben (Floatglas, TVG, ESG), die mit einer Folie aus Polyvinyl- Butyral (PVB) mit einander verbunden werden. Der Vorteil liegt darin, dass bei Bruch der Glasscheibe die Bruchstücke an der Folie haften bleiben. Somit wird das Risiko von Verletzungen erheblich vermindert und eine gewisse Resttragfähigkeit gewährt. (Wörner (2001), S. 10)

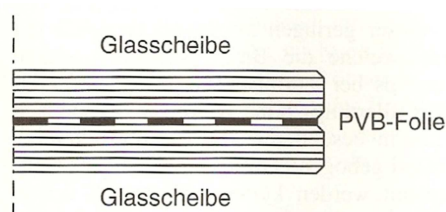


Abb. 9: Aufbau von VSG (Wörner (2001), S.16)

Je nach Veredelungsprozess ändern sich die Bruchbilder signifikant und sind daher entscheidend für den jeweiligen Einsatzzweck. Floatglas zerbricht in sehr spitze, verletzungsgefährdende Glassplitter und weist keine Resttragfähigkeit auf (linkes Bild in Abb. 10). Vorgespanntes Glas (ESG) hingegen zerbricht in viele Einzelstücke. Wird nun eine Folie zwischen zwei ESG Scheiben eingebettet, so bleibt nach Bruch eine gewisse Scheibentragwirkung erhalten. Teilvorgespanntes Glas bildet ein Zwischenprodukt zwischen Floatglas und ESG und wird nicht in die Kategorie Sicherheitsgläser nach ÖNORM B 3710 eingestuft. (vgl. Kolbitsch (2012), S.15)

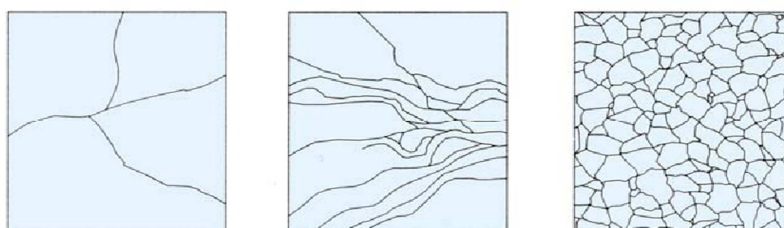


Abb. 10: Bruchbilder von Floatglas, TVG und ESG (Edl (2008), S.25)

2.3 Klebstoffe

2.3.1 Einteilung der Klebstoffe

Klebstoffe können in zwei wesentliche Ordnungsprinzipien eingeteilt werden.

- Einteilung nach der chemischen Basis

Hierbei werden zwei Gruppen unterschieden, die auf organischen und anorganischen Verbindungen basierenden Klebstoffe. Mengenmäßig stellen die organischen Klebstoffe den weitaus größten Teil dar. Diese unterteilen sich weiter in Klebstoffe natürlicher und künstlicher Basis. Silikone bestehen sowohl aus organischen wie auch aus anorganischen Verbindungen.

Die Klebstoffe unterscheiden sich vor allem in Bezug auf:

- Unterschiedliche Klebfestigkeiten und Alterungsbeständigkeiten
- Verarbeitungs- und Anwendungstemperaturen (vgl. Habenicht (2009), S. 5 ff.)

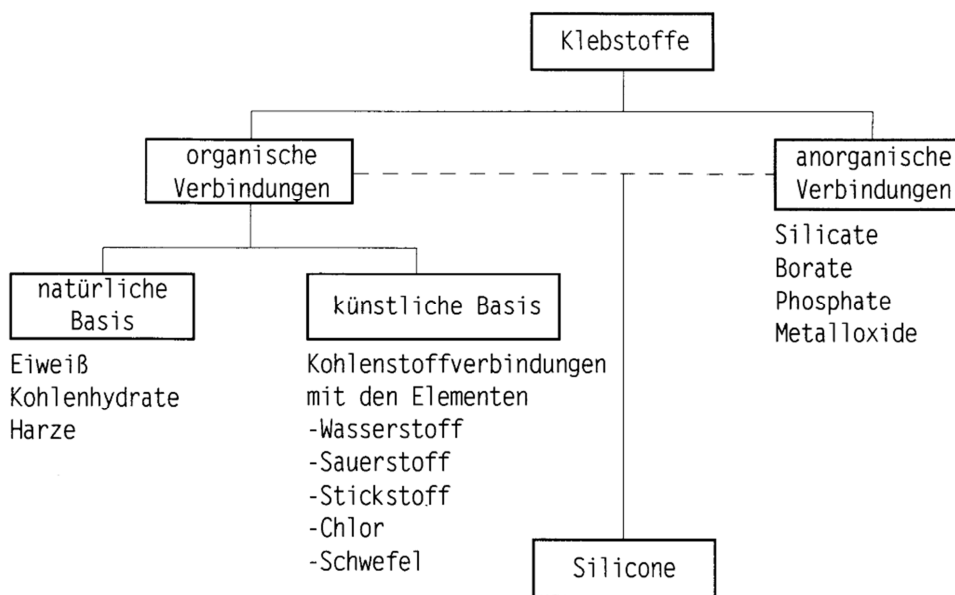


Abb. 11: Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis (Habenicht (2009), S. 5)

- Einteilung nach dem Abbindemechanismus

Der in Abb. 12 dargestellten Grafik liegen folgende Kriterien zugrunde:

- Molekülzustand zu Beginn des Klebens: bei chemisch reagierenden Systemen liegen reaktionsbereite Monomermoleküle gleicher oder verschiedener Art vor, welche miteinander zu einer polymeren Klebeschicht reagieren. Bei physikalisch abbinden Systemen bestehen bereits seit Anfang an fertige Polymerverbindungen. Durch Lösemittelsysteme oder erhöhte Temperaturen werden diese in einen benetzungsfähigen Zustand gebracht.
- Anzahl der an der Reaktion beteiligten Komponenten: bei chemisch reagierenden Systemen sind in der Regel zwei miteinander gemischte Reaktionspartner bei der Klebschichtbildung

beteiligt (Zweikomponenten- Reaktionsklebstoffe). Der Abbindevorgang bei physikalischen Systemen erfolgt grundsätzlich nur mit einer Komponente, mit dem bereits im endgültigen Zustand befindlichen Polymer. Reaktive Klebstoffe stellen eine Kombination der chemisch und physikalisch abbindenden Kunststoffe dar. (ebd.)

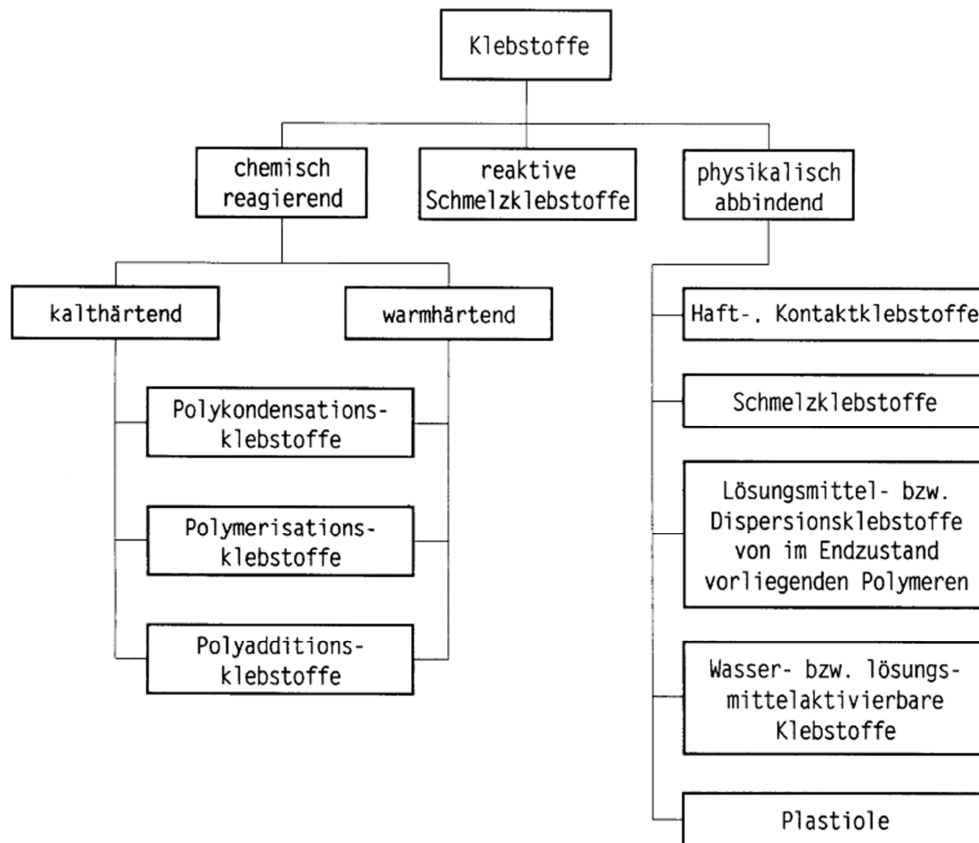


Abb. 12: Einteilung nach dem Abbindemechanismus (Habenicht (2009), S. 6)

2.3.2 Klebstofftypen

Da es eine Fülle von Klebstoffen gibt, wird an dieser Stelle nur auf die für die Arbeit relevanten Klebstoffe eingegangen.

- „Silikone sind höhermolekulare Verbindungen, denen ein alternierend aus SiliziumundSauerstoffatomen aufgebautes dreidimensionales Gerüst zu Grunde liegt. Für Klebstoffsysteme werden Prepolymere (im Vorstadium zu einem richtigen Polymer) eingesetzt, deren Kettenenden durch funktionelle Gruppen so gestaltet sind, dass sie unter Einwirkung von Luftfeuchtigkeit (Einkomponenten-Systeme) oder durch chemischer Reaktion zweier Komponenten (Zweikomponenten-Systeme) zu einem hochmolekularen Polymer vernetzen“. (Edl (2008), S,28 ff.)

Wesentliche Eigenschaften von Silikonklebstoffen sind:

- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Sehr hohe Flexibilität bei tiefen Temperaturen

- Hervorragende Witterungsbeständigkeit
 - Gute Beständigkeit gegenüber schwachen Säuren und Basen
- „Polyurethane leiten sich von der Isocyansäure ab. Diese gilt als äußerst reaktionsfreudig und addiert sehr leicht Verbindungen, welche über ein aktives (bewegliches) Wasserstoffatom verfügen. Bei Einkomponentensystemen handelt es sich um feuchtigkeitsvernetzende Systeme, wobei die vorvernetzten Prepolymere mit dem Wasserstoff aus der Luftfeuchtigkeit zu Polymeren reagieren. Zweikomponentensysteme bestehen aus niedrigmolekularen Polyisocyanaten und Polyolen“. (ebd.)
- „Klebstoffe auf Acrylatbasis sind Polymerisationsklebstoffe. Dabei weisen Einkomponentensysteme derart stabilisierte Monomere auf, dass eine Polymerisation erst beim Auftragen auf die Fügeteile erfolgt. Sie beginnt, wenn Spuren von Feuchtigkeit (Cyanacrylatklebstoffe) oder Metallionen bei gleichzeitigem Ausschluss von Sauerstoff (anaerobe Klebstoffe) wirksam werden. Auch Strahlungen werden eingesetzt um die Polymerisation auszulösen (z.B. UV-Strahlung). In Zweikomponentensystemen wird die Polymerisation ebenfalls durch Radikale ausgelöst, die Aktivierung der Radikale erfolgt dabei, anstatt durch Strahlung, durch einen zugesetzten Härter. Als wichtigster Vertreter dieser Systeme gelten die Methacrylatklebstoffe“. (ebd.)
- Epoxidharze sind härtbare Reaktionsharze die mit einem Härter und evtl. Zusatzstoffen zu einem duroplastischen Kunststoff umgesetzt werden. Hergestellt wird dieser Klebstoff aus einer Reaktion von Bisphenol und Epichlorhydrin. Bei der Verarbeitung werden üblicherweise zwei Komponenten, das Epoxidharz und der Härter, in einem bestimmten Mischverhältnis vermischt. Charakteristisch für diesen Klebstoff ist sein geringes Schrumpfmaß bei der Aushärtung, seine hohen mechanischen und chemischen Eigenschaften, zudem ist der geruchslos. (vgl. Wikipedia (10.2.2013))

2.4 Verbindungsmittel

Beim Konstruieren mit Holz ist das Detail der Verbindungsstelle zweier oder mehrerer Bauteile von besonderer Bedeutung. Von diesen Detailanschlüssen hängen unter anderem die Dauerhaftigkeit und die Wirtschaftlichkeit der Gesamtkonstruktion stark ab.

Folgende Eigenschaften bestimmen die Wahl des Verbindungsmittels:

- Übertragbare Kraft
- Beanspruchungsrichtung
- Last- Verformungsdiagramm
- Verschiebungsmodul

Grundsätzlich können die Verbindungsmittel nach dem Baustoff, der Technologie, der Wirkungsweise, der Ökonomie und nach der Form eingeteilt werden. Weiters spielt im Holzbau die Demontierbarkeit und Lösbarkeit der Verbindungen eine große Rolle. Hierbei unterscheidet man

zwischen vollständig lösbaren (Bolzen, Stabdübel), bedingt lösbaren (Nägel, Schrauben) und unlösbaren (Klebung) Verbindungen.

Grundsätzlich kann man die Holzverbindungen in zwei große Gruppen gliedern:

Zimmermannsverbindungen:

- Längsverbindungen
- Querverbindungen
- Eckverbindungen
- Schrägverbindungen
- Auf- und Anverbindungen
- Sparrenverbindungen
- Blockverbindungen

Ingenieurmäßige Holzverbindungen:

- Klebeverbindungen
- Dübel besonderer Bauart
- Stabdübel, Passbolzen, Bolzen
- Nagelverbindungen
- Nagelblechbauweise
- Genagelte Stahlplatten mit Gelenkbolzen
- Loch- und Winkelbleche

(vgl. Winter, Hollinsky, Wolfsgruber (2007), S.113)

2.4.1 Klebeverbindungen

Da die Grundidee von HGV- Scheiben die statisch wirksame Verklebung von verschiedenen Füge­teilen ist, wird es hier für wichtig empfunden, auf die Verbindungsart näher einzugehen.

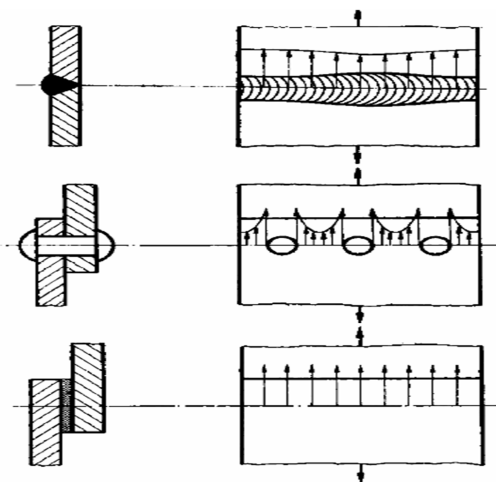


Abb. 13: Qualitative Spannungsverteilung in Schweiß-, Niet- und Klebeverbindungen, (Kreher (2004), S. 59)

In Abb. 13 ist der wesentliche Vorteil einer Verklebung gut ersichtlich, nämlich der der gleichmäßigen Lasteinleitung bzw. Übertragung im Vergleich zu stiftförmigen Verbindungsmitteln. Bei einer Schweißverbindung entsteht zwar auch eine halbwegs gleichmäßige Einleitung, jedoch kommt es beim Schweißen zu einer hohen thermischen Beanspruchung der Fügeteile im Bereich der Schweißnaht. Weiters haben Verklebungen den Vorteil, dass durch diese Verbindungsart nicht nur die Kraft übertragen werden kann, sondern gleichzeitig eine hohe Dichtheit gegen Feuchtigkeit und Gasen erreicht wird. Was natürlich für den Einsatz im Fassadenbereich, wo sehr hohe Anforderungen gegenüber Feuchteschutz herrschen, eine optimale Lösung darstellt.

Es wird grundsätzlich zwischen zwei Verklebungsarten unterschieden:

- Starre Verklebung:

Diese Füge-technik ist heutzutage im modernen Holzbau Stand der Technik. Durch diese Verklebungsart können sehr große Spannweiten erreicht werden und somit kann Holz wirtschaftlich einsetzbar gemacht werden. Durch moderne Leimsysteme ist es möglich, Bauprodukte wie Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz und Furniersperrholz herzustellen.

- Elastische Verklebung

Elastische Verklebungen hingegen stellen eine eher neuere Entwicklung im Holzbaubereich dar. Es hat sich herausgestellt, dass sich vor allem beim Zusammenfügen von unterschiedlichen Materialien, wie beispielsweise Holz und Glas oder Metall und Glas, große Vorteile im Vergleich zu einer starren Verklebung ergeben. Grundsätzlich werden elastische Klebefugen etwas stärker ausgeführt und besitzen deutliche geringere Festigkeiten als starre Systeme. Es bleibt jedoch die Festigkeit über einen wesentlich größeren Dickenbereich erhalten (siehe Abb. 14). Ein Nachteil ergibt sich durch die Nachgiebigkeit der Verbindung, was für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gravierende Einflüsse hat. Diese Nachgiebigkeit hat jedoch auch Vorteile, es können dadurch sehr gut Zwängungen und Bewegungen aufgenommen werden und die Lasten gleichmäßig über die Länge übertragen werden. (vgl. Neubauer (2011). S. 27)

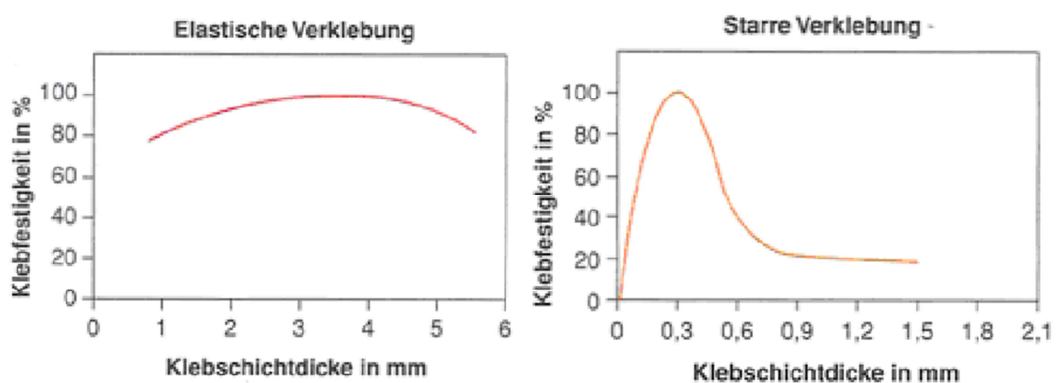


Abb. 14: Unterschied elastische und starre Verklebung, (Neubauer (2011), S.27)

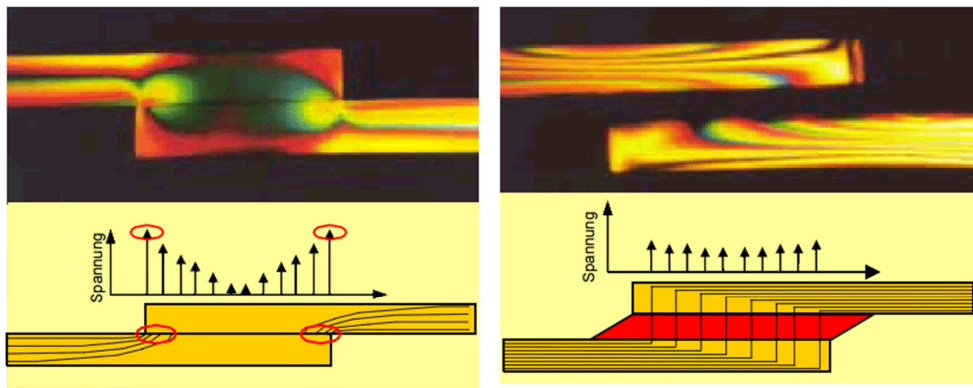


Abb. 15: Spannungsverlauf starre (links) und elastische Verklebung (rechts). (Wallner,(2004), S. 21)

In dieser Abbildung ist klar ersichtlich, dass bei einer starren Verklebung Spannungsspitzen jeweils im Endbereich der Verklebung auftreten. Bei einer elastischen Verklebung hingegen ist mit einem nahezu homogenen Spannungsbild zu rechnen, was dazu führt, dass die Kraft schonender eingeleitet wird.

3 Aussteifung

3.1 Allgemein

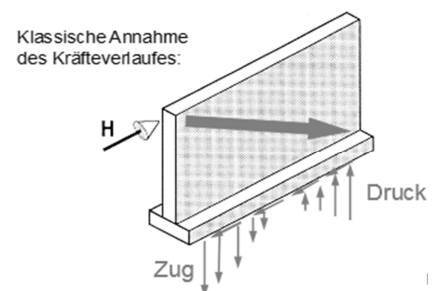
Um die Ableitung von Horizontalkräften in Gebäuden zu gewährleisten, und damit die Stabilität von Hochbaukonstruktionen sicherzustellen, muss jedes Gebäude ausreichend ausgesteift werden.

Aus folgenden Ursachen können Horizontallasten entstehen:

- Wind
- Erdbeben
- Anpralllasten
- Brems- und Beschleunigungskräfte
- Vorkrümmungen
- Gebäudeschiefstellung

Je nach Bauweise eines Gebäudes gestaltet sich die Frage der aussteifenden Wirkung von Bauteilen unterschiedlich. Im Massivbau z.B. können die Wandscheibenelemente und schubfesten Deckenelemente in den meisten Fällen die Horizontallasten ohne weiteres aufnehmen.

- Aussteifung durch Scheiben:
Mauerwerk, Stahlbeton, Holztafeln



- Verbände aus Stahl oder Holz:
Durch diagonal angeordnete Zugbänder werden die Kräfte ins Fundament eingeleitet
- Rahmen aus Stahlbeton, Holz, Stahl:
Durch biegesteife Rahmenecken können die Lasten über Biegung abgeleitet werden. Im Vergleich zur Aussteifung mit Scheiben und Verbänden sind die Verformungen relativ groß.
- Aussteifung durch eingespannte Stützen:
Ähnlich wie beim biegesteifen Rahmen erfolgt die Ableitung durch Biegung. Aufgrund großer Verformungen jedoch nur für eingeschossige Bauten sinnvoll.

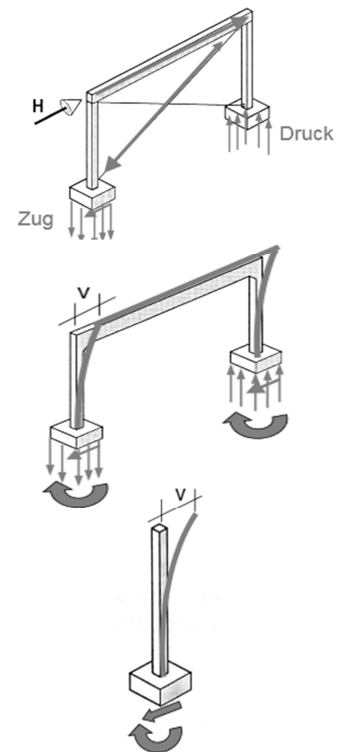


Abb. 16: Aussteifungssysteme (Maas (18.03.2013))

Im Skelettbau hingegen sind solche schubsteifen Decken und Wandscheiben zur Aufnahme der Horizontalkräfte meist nicht gegeben. Oft bedient man sich der Ausbildung eines massiven Treppenkerms, welcher aus Brandschutzgründen in den meisten Fällen sowieso vorgeschrieben ist, als Aussteifungselement.

3.2 Aussteifung durch Holz- Glas- Verbundkonstruktionen

Aufgrund des geringen Aussteifungspotenzials des Holzbaus wurde gerade in diesem Bereich im letzten Jahrzehnt versucht, neue Entwicklungen voranzutreiben. So konnte ein Verbundsystem entwickelt werden, das zwei innovative und zukunftssträchtige Baustoffe einerseits dazu nutzt, die Gebäudeaussteifung zu übernehmen und andererseits, gleichzeitig eine wetterfeste Gebäudehülle zu bilden. Mit diesem neuartigen System können die Potenziale von Holz und Glas optimal genutzt werden. Glas, welches hauptsächlich aus optischen Gründen der Transparenz im Fenster-Fassadenbereich und als Gebäudehülle eingesetzt wird, kann so zur Ableitung von hohen Druckkräften herangezogen werden. Es muss dabei so eingesetzt werden, dass ausschließlich Druckkräfte auf das Glas wirken. (siehe Spannungs- Dehnungsdiagramm Abb. 3).

Dieses System der Verbundwirkung von Holz und Glas als statisch wirksames Element, ist in der Wirtschaft und auf einigen Universitäten auf großes Interesse gestoßen. So entstanden im Laufe der Zeit eine Vielzahl von Dissertationen, Diplomarbeiten und Bachelorarbeiten. Nachfolgend werden einige dieser Arbeiten zur Übersichtlichkeit dargestellt.

„1999: HAMM, Jan: „Tragverhalten von Holz und Holzwerkstoffen im statischen Verbund mit Glas.“
(Dissertation EPF Lausanne, 1999. Erstbegutachter: Prof. Julius Natterer)
SCHWERPUNKT: Erststudien zum statischen Verbund zwischen Holz und Glas

- 2004: KREHER, Klaus: „Tragverhalten und Bemessung von Holz-Glas-Verbundträgern unter Berücksichtigung der Eigenspannungen im Glas.“ (Dissertation EPF Lausanne, 2004. Erstbegutachter: Prof. Julius Natterer) SCHWERPUNKT: Bemessung von HGV-Trägern und Bau des Hotel Palafitte
- 2005: NIEDERMAIER, Peter: „Holz-Glas-Verbundkonstruktionen. Ein Beitrag zur Aussteifung von filigranen Holztragwerken.“ (Dissertation TU München, 2005. Unter der Leitung von: Prof. Heinrich Kreuzinger) SCHWERPUNKT: Aussteifung mittels HGV-Scheiben im Wintergarten und Fassadenbau
- 2007: WEINAND, Yves: „Holz-Glas-Verbund als großflächige Scheibensysteme zur Gebäudeaussteifung.“ (Schlussbericht 06/07, Forschungsprojekt BUWAL an der EPF Lausanne, Projektnr. 2005.05, in Zusammenarbeit mit Dr.-Ing. Klaus Kreher) SCHWERPUNKT: Gebäudeaussteifung mittels HGV-Scheiben
- 2008: EDL, Thomas: „Entwicklung von wandartigen verklebten Holz-Glas-Verbundelementen und Beurteilung des Tragverhaltens als Aussteifungsscheibe.“ (Forschungsprojekt an der HFA, 2008.) SCHWERPUNKT: Produktentwicklung Koppelleiste – baupraktisch umsetzbare Konstruktionslösung
- 2008: NEUBAUER, Georg; SCHÖBER, Klaus-Peter: „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) SCHWERPUNKT: Beanspruchungsklassen für System EDL, experimentelle bauphysikalische und statische Studien zu HGV-Scheibe“
- (vgl. Hochhauser et. al., (2011), S.11)
- 2011: HOCHHAUSER, Werner: „Ein Beitrag zur Berechnung und Bemessung von geklebten und geklotzten Holz- Glas- Verbundscheiben.“ (Dissertation 2011) SCHWERPUNKT: Forschungsprojekt der Technischen Universität über Holz- Glas- Verbundkonstruktionen, kombinierte Lastabtragung über Schubverklebung und Klotzung“
- 2011: HOCHHAUSER, Werner; WINTER, Wolfgang; KREHER, Klaus: „Holz- Glas- Verbundkonstruktionen, State of the Art, Forschungsbericht, Studentische Arbeiten.“ (Forschungsendbericht 2011) SCHWERPUNKT: Forschungsprojekt der Technischen Universität über Holz- Glas- Verbundkonstruktionen: Berechnungs- und Bemessungskonzepte, Ausgewählte Arbeiten aus den Fachbereichen Architektur und Bauingenieurwesen, Leitfäden zur Berechnung und Bemessung von Scheiben, Trägern und Platten.“

Im Laufe der Zeit haben sich grundsätzlich zwei Systeme etabliert, auf die in dieser Arbeit näher eingegangen wird. Bei beiden Systemen wird unabhängig von der Aussteifungswirkung das Konstruktionsprinzip angewandt.

- Holzriegel- Unterkonstruktion: Diese sind hauptverantwortlich für den vertikalen Lastabtrag bis ins Fundament und zur Aufnahme der Windnormalkräfte. Diese P-R- Konstruktion befindet sich an der inneren, wettergeschützten Seite.
- Glasscheibe- Koppelleiste: Die Glasscheibe wird mit der umlaufenden Koppelleiste verklebt und anschließend die Koppelleiste mit der aufgeklebten Scheibe mit der P-R- Konstruktion verschraubt. Der Grund, wieso nicht die Glasscheibe mit der Unterkonstruktion direkt verklebt wird, ist der, dass auf der einen Seite eine Austauschbarkeit gewährleistet werden soll und auf der anderen Seite kann auf der Baustelle keine qualitativ hochwertige Verklebung stattfinden. Somit kann eine witterungsunabhängige und staubfreie Verklebung im Produktionswerk stattfinden, wobei ein hoher Vorfertigungsgrad erreicht und somit eine schnelle Montage auf der Baustelle gewährleistet werden kann.
- Versiegelung: der Spalt zwischen den Elementen, der aufgrund von Bautoleranzen und von Verschraubung auftritt, wird entweder durch Nassversiegelung oder Trockendichtprofilen gegen Feuchtigkeitseintritt geschlossen.

Schubverklebung mit gezahnter BFU Koppelleiste

Mit diesem System der Holzforschung Austria wird durch die umlaufende Verklebung die Horizontalkraft durch ein Schubfeld abgetragen. Die gezahnte Koppelleiste hat den Sinn, die Ansichtsbreite der P-R- Konstruktion auf ein Minimum zu reduzieren und trotzdem eine Verschraubung der Leisten zu ermöglichen. Abb. 17 zeigt die einzelnen Fertigungs- und Montageschritte. Von links nach rechts:

- Verklebung der Glasscheibe mit der Koppelleiste (Birkenfurniersperrholz)
- Transport der Elemente auf die Baustelle (P-R- Konstruktion ist bereits fertig montiert)
- Positionieren und Verschrauben der Elemente mit der P-R- Konstruktion
- Versiegeln der Fugen
- Aussteifende Wirkung

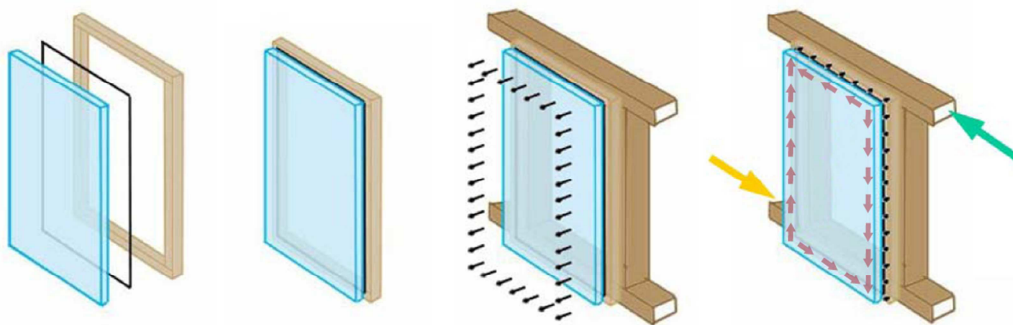


Abb. 17: System Schubverklebung mit gezahnter Koppelleiste (Neubauer, Schober, (2008), S.1), rechtes Bild bearbeitet.

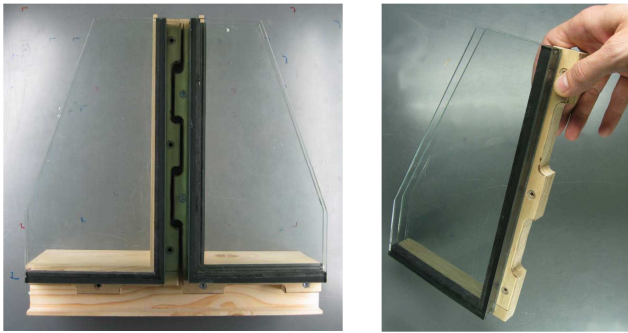


Abb. 18: Schubverklebung mit gezahnter Koppelleiste, (Edl (2008), S. 234/235)

Schubverklebung und Verklotzung mit L- Förmiger Koppelleiste

Als Weiterentwicklung der reinen Schubverklebung gilt das System der Technischen Universität Wien, hierbei wird zur Schubverklebung eine Klotzung in den Eckbereich hinzugefügt. Dadurch erfolgt eine kombinierte Lastabtragung durch Ausbildung eines Schubfeldes und einer Druckdiagonale. Durch diese Konstruktion können im Vergleich zur reinen Schubverklebung die aufnehmbaren Horizontalkräfte gesteigert werden. Nachstehende Grafiken verdeutlichen die zwei Tragmechanismen.

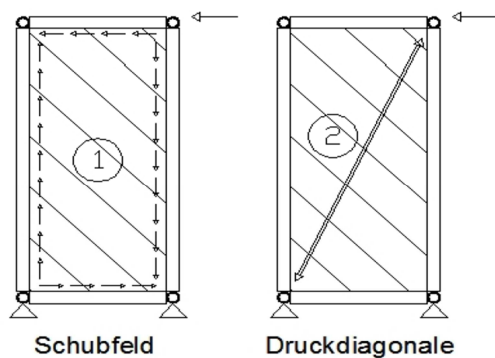


Abb. 19: Tragmechanismen Schubfeld (links) und Druckdiagonale (rechts), (Hochhauser, (2011), S.13)

Die Kraftübertragung der Druckkomponente zwischen Glas und Koppelleiste erfolgt dabei durch Klötze die im Eckbereich angeordnet werden und ausschließlich Druckkräfte übertragen können.

Variante 1: Umlaufend schubverklebt und geklotzt- Einzelscheibe:



Abb. 20: Kombinierte Beanspruchung. System ITI/ TU- Wien

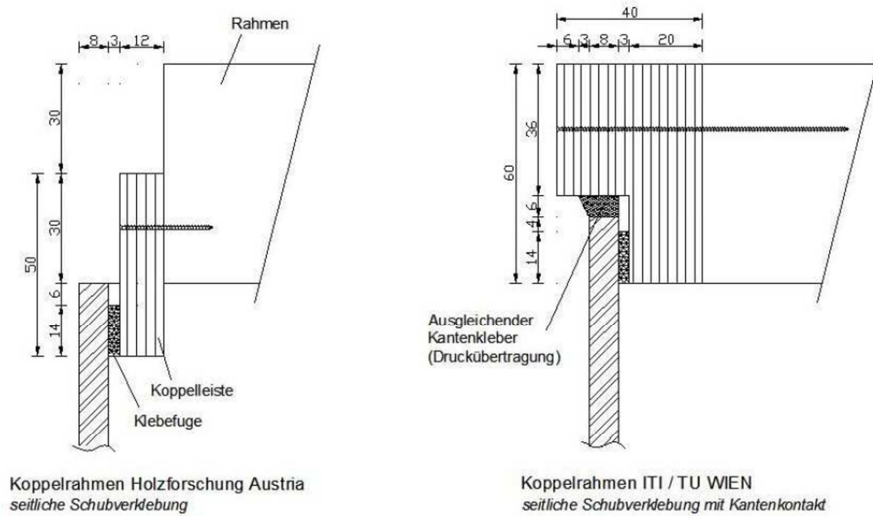


Abb. 21: Detail reine Schubverklebung der HFA (links) und Schubverklebung und Verklotzung der TU- Wien (rechts), (Hochhauser et.al. (2011), S. 14)

Schubverklebung mit überlappender GFK- Koppelleiste

Aufbauend auf den Forschungen zur Schubverklebung einer gezahnten Koppelleisten der HFA, wurden durch die Firmen Knapp GmbH und Eckelt Glas GmbH neue Ansätze der Koppelleiste entwickelt. Statt der bisher verwendeten Birkenfurniersperrholzleiste wurden GFK- Leisten, die überlappt angeordnet werden, verwendet. GFK hat in diesem Fall den Vorteil, dass es Feuchtigkeitsunempfindlich ist. Durch die Überlappung kann wiederum die gewünschte schmale Ansichtsbreite erreicht werden.



Abb. 22: GFK- Koppelleiste (Knapp GmbH (28.04.2013))

3.2.1 Analytische Berechnungsmethoden

Federmodell für Schubfeldtheorie

Das Federmodell nach Kreuzinger und Niedermaier für Schubfelder wurde erstmals 2005 bei den Karlsruher Tagen vorgestellt. Dabei hatte man die Idee, mit Glas beplankte Rahmenkonstruktionen zur Aussteifung von Wintergärten und Fassaden heranzuziehen. Die Lastenleitung der einseitig beplankten Elemente erfolgt dabei am Kopfriegel. Für dieses beschriebene System wurde folgendes Federmodell zur analytischen Berechnung entwickelt. (vgl. Hochhauser et.al. (2011), S. 42. ff)

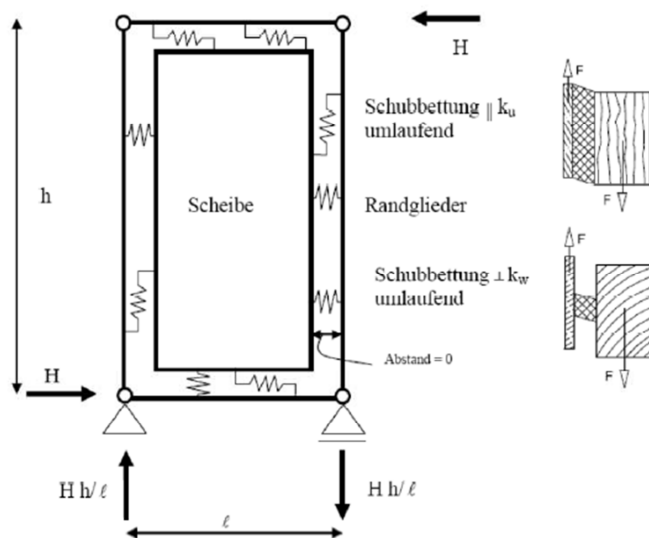


Abb. 23: Federmodell für Schubfeldtheorie nach Kreuzinger und Niedermaier (Kreuzinger, (2005), S.3)

Durch die elastische Verklebung zwischen Glas und Holzunterkonstruktion, wird bei Horizontalbeanspruchung der Unterkonstruktion die Glasscheibe zum Mittragen angeregt und es entstehen Schub- und Zugspannungen. Dabei wird angenommen, dass die Deformation der Scheibe und der Randglieder im Vergleich zu den Klebstoffverformungen sehr gering sind und daher vernachlässigt werden können und somit als starr angenommen werden können. Weiters ist in dieser Hypothese eine ideal- gelenkige Pfosten- Riegel- Verbindung vorausgesetzt. Deformationen der Scheibe aus der Ebene werden nicht zugelassen. (ebd.)

Federmodell für Fachwerktheorie

Das Federmodell nach Kreuzinger und Niedermaier wurde für die Forschungsprojekte „Holz-Glas-Verbundkonstruktionen“ für die Druckdiagonale (Verklotzung) erweitert. Dieses Modell wurde von Kreher und Hochhauser (2009) vorgestellt. Die vertikalen und horizontalen Beanspruchungen der Rahmenkonstruktion können somit in Abhängigkeit der Exzentrizität e berechnet werden. (ebd.)

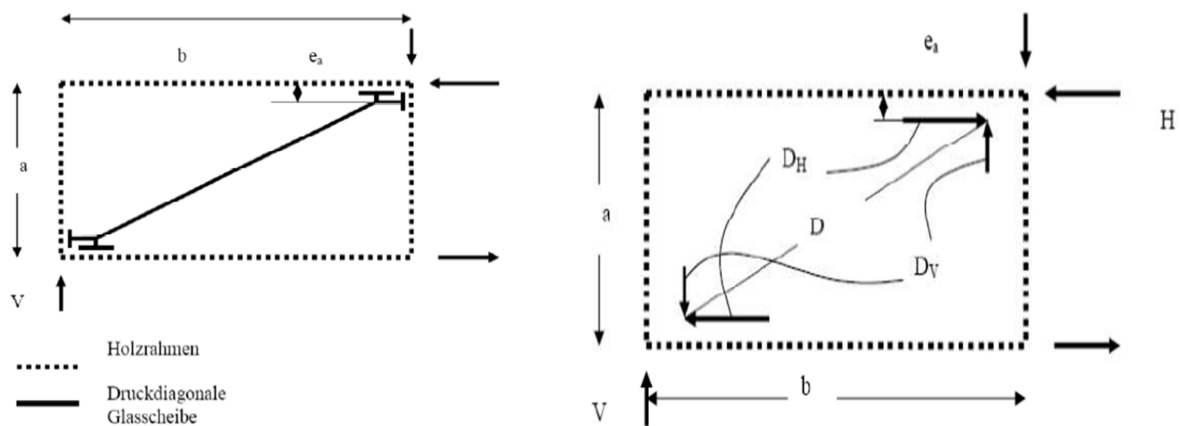


Abb. 24: Modell der Verklotzung (links), resultierende Scheibenbeanspruchung durch Klotzung (rechts) nach Kreuzinger und Niedermaier, (Kreher (2009))

Überlagerung der Federmodelle

Um die Lastverteilung beider Tragmechanismen berechnen bzw. abschätzen zu können, müssen beide Federmodelle (Schubfeld und Druckdiagonale) überlagert werden. Diese Verknüpfung beider Systeme kann über die Deformation der Federmodelle erfolgen. (Hochhauser et.al. (2011), S.203 ff.)

Verformung infolge Schubfeldbeanspruchung:

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

Verformung infolge Diagonalbeanspruchung:

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

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

$$H = u_k * (K_{Schub} + K_{Diagonale}) \quad (3)$$

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

$$H_{Schub} = H * \frac{K_{Schub}}{K_{Schub} + K_{Diagonale}} = H * \frac{1}{1 + \frac{K_{Diagonale}}{K_{Schub}}} \quad (4)$$

$$H_{Diagonale} = H * \frac{K_{Diagonale}}{K_{Schub} + K_{Diagonale}} = H * \frac{1}{\frac{K_{Schub}}{K_{Diagonale}} + 1} \quad (5)$$

mit

H	<i>Horizontale Beanspruchung</i>
u_k	<i>Horizontalverformung</i>
H_{Schub}	<i>Resultierender Schubanteil</i>
$H_{Diagonale}$	<i>Resultierender Diagonalenanteil</i>
K_{Schub}	<i>Systemsteifigkeit des Schubmodells</i>
$K_{Diagonale}$	<i>Systemsteifigkeit des Diagonalenmodells</i>

(ebd.)

Mit diesen Modellen können nun die Steifigkeiten der Schubverklebung längs und quer zur Längsachse und die Steifigkeiten der Horizontal- und Vertikalverklotungen bestimmt werden und somit kann der Kräftefluss nachgewiesen werden. Dadurch ist es auch möglich, die Beanspruchungen der beteiligten Bauteilkomponenten analytisch zu bestimmen und die Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen. (ebd.)

Verallgemeinerung der Federmodelle

Bei den bisher genannten Federmodellen wird davon ausgegangen, dass alle Verformungen ausschließlich aus der Verformung der Klebefuge und der Klötze resultieren. Diese Aussage kann für sehr weiche Klebstoffe zutreffen, jedoch nicht für steife Verklotungen wie Epoxidharz. Daher bedarf es einer Verallgemeinerung der Federmodelle durch das Federgesetz:

$$F = c * u \quad (6)$$

mit

F	<i>Federkraft</i>
c	<i>Federsteifigkeit</i>
u	<i>Federweg</i>

Dieses Federmodell kann je nach Beanspruchung der Bauteilkomponenten in Serie oder parallel geschaltet werden.

Für die Lastabtragung des Schubfeldes sind folgende Bauteile beteiligt:

- Schubverklebung
- Koppelleiste
- Verbindungsmittel
- Rahmenkonstruktion
- Glasscheibe

Für die Druckdiagonale kommen noch zwei hinzu:

- Verklotung
- Rahmengelenk

Nach dem Prinzip der virtuellen Verschiebungen können für beide Tragmechanismen berechnet werden, welchen Beitrag die einzelnen Bauteilkomponenten zur Gesamtweichheit des HGV-Elements haben. Weiters kann eine Rückrechnung der gesamten Systemweichheiten in die Klebefuge und der Verklotzung erfolgen. Die Berechnungen zu diesem Kapitel werden im nachfolgenden Kapitel gesondert angeführt. (ebd.)

Hochhauser hat für diese Berechnungen ein Ersatzfedermodell aufgestellt:

Federmodell nach Hochhauser:

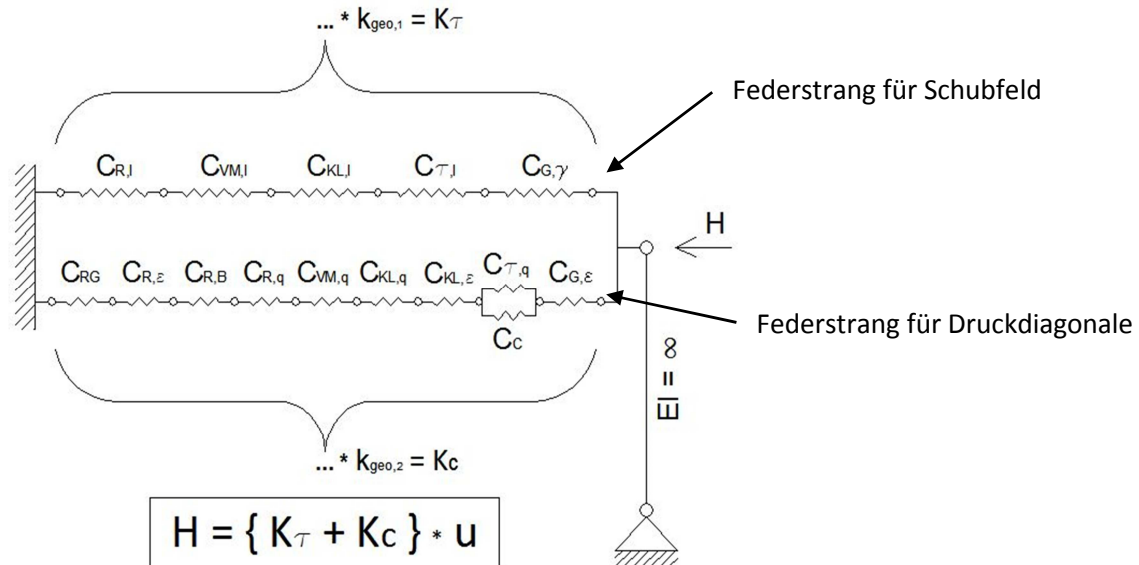


Abb. 25: Federmodell nach Hochhauser, (Hochhauser et.al. (2011), S. 222)

mit

H ... Angreifende Horizontalkraft am Kopfriegel

EI ... Biegesteifigkeit

$k_{geo,1}$... Geometrischer Faktor für den Tragmechanismus Schubfeld

$k_{geo,2}$... Geometrischer Faktor für den Tragmechanismus Druckdiagonale

K_T ... Systemsteifigkeit des Tragmechanismus Schubfeld

K_c ... Systemsteifigkeit des Tragmechanismus Druckdiagonale

u ... Kopfverschiebung

C_i ... Federsteifigkeiten verschiedener am Lastabtrag beteiligten Bauteilkomponenten

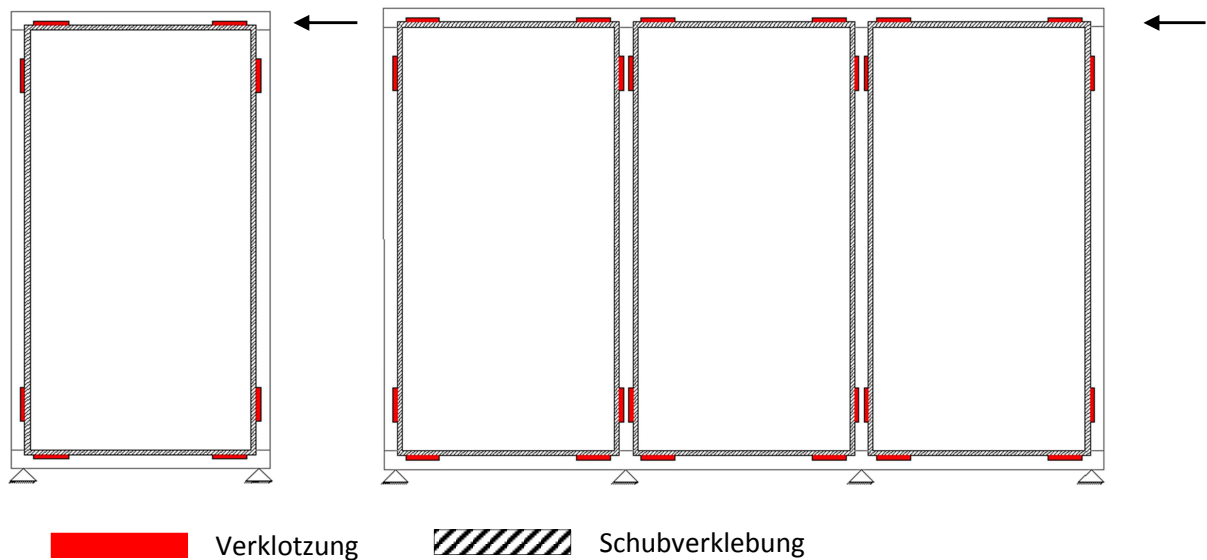
4 Variantenstudie verschiedener HGV- Bausysteme

In diesem Kapitel werden HGV- Scheiben mit ihren verschiedenen Ausführungsformen (geklotzt, schubverklebt, geklotzt & schubverklebt) als Einzelscheibe sowie im Verband (3 nebeneinanderstehende Elemente) angeordnete Scheiben berechnet. Es sollte dabei verglichen werden, wie sich die Systemsteifigkeiten der Elemente und somit die aufnehmbaren Horizontalkräfte für das Gebrauchstauglichkeitsniveau der verschiedenen Systeme und Anordnungen der Elemente verändern.

Übersicht der Varianten

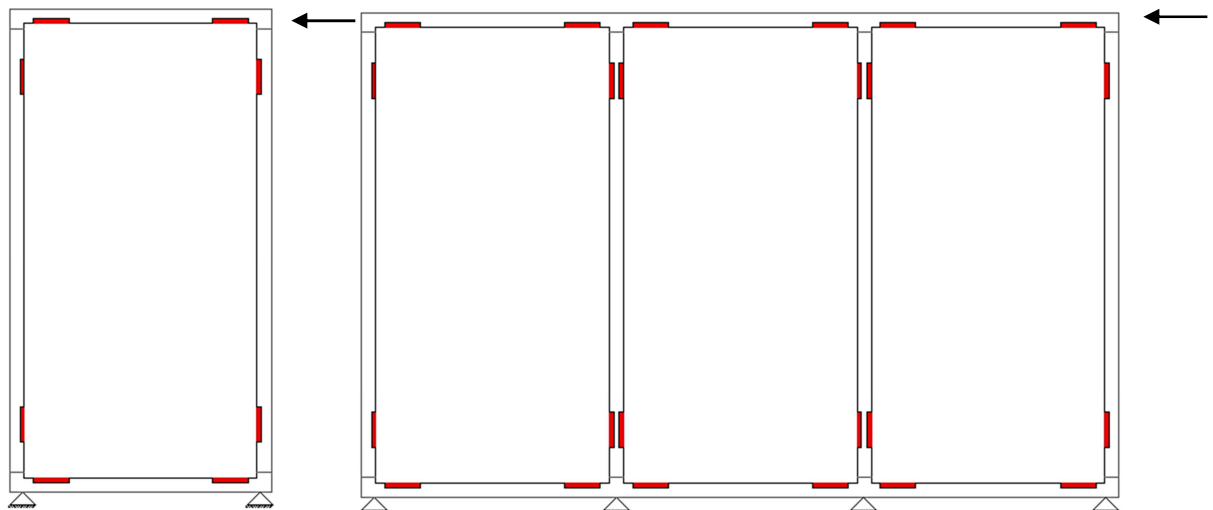
Variante 01: Umlaufend schubverklebt und geklotzt- Einzelscheibe (links)

Variante 02: Umlaufend schubverklebt und geklotzt- im Verband zusammenwirkend (rechts)



Variante 3: Verklotzung- Einzelscheibe (links)

Variante 4: Verklotzung- im Verband zusammenwirkend (rechts)



Variante 5: Schubverklebung – Einzelscheibe (links)

Variante 6: Schubverklebung – im Verband zusammenwirkend (rechts)

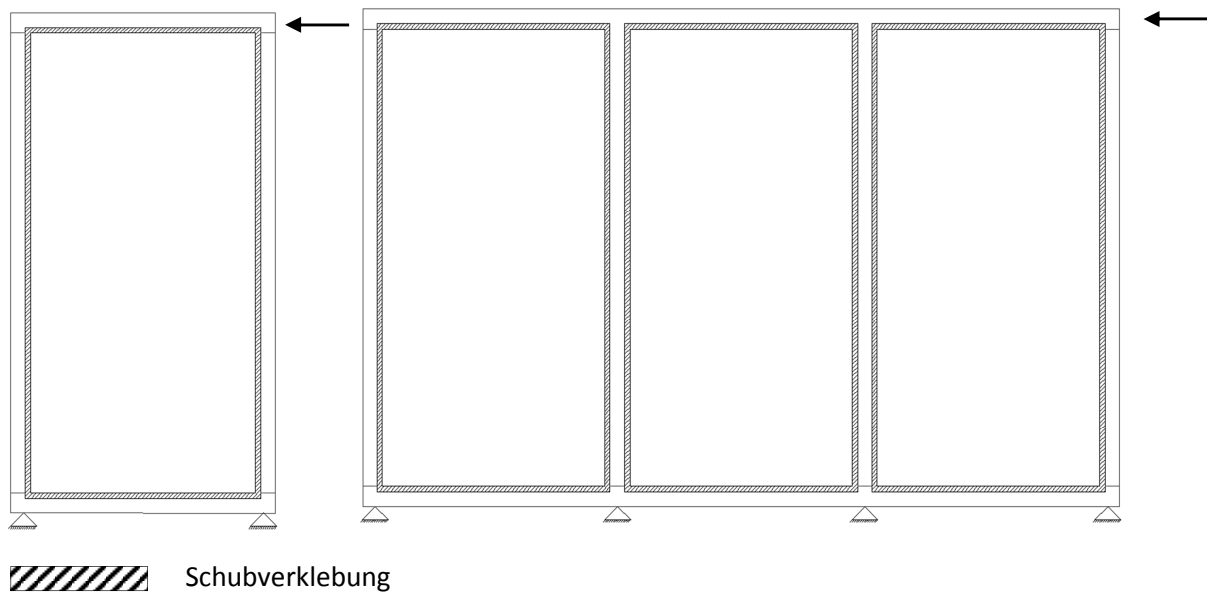


Abb. 26: HGV- Bausysteme, Variantenvergleich

4.1 Materialparameter

Annahmen zu Material und Geometrie:

→ Rahmenkonstruktion:

BSH GL 24 h

$$\rho_{BSH} = 380 \text{ kg / m}^3$$

$$b_R = 60 \text{ mm}$$

$$d_R = 100 \text{ mm (Dicke = Tiefe)}$$

$$G_R = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$E_R = 11600 \text{ N/mm}^2$$

$$I_R = d_R \cdot b_R^3 / 12 = 10 \cdot 6^3 / 12 = 180 \text{ cm}^4$$

→ Rahmengelenk:

Stabdübel

Dimension: Ø 16 mm

Güte: S 235

→ Koppelleiste:

Birkenfurniersperrholz

$$\rho_{KL} = 680 \text{ kg/m}^3$$

$$b_{KL} = 1,2 \text{ cm}$$

$$b_{KL,ges} = 2,7 \text{ cm (gesamte Koppelleistenbreite)}$$

$$d_{KL} = 1,3 \text{ cm}$$

$$d_{KL,ges} = 2,7 \text{ cm (gesamte Koppelleistendicke)}$$

$$E_{KL} = 9333 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{KL} = 185 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{T,KL} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$$

Quellmaß: 0,01 % / % HF-Änderung – längs und quer

(Das Quellmaß längs und quer der Deckfurniere sei identisch.)

$$\Delta u = 6 \%$$

→ Glasscheibe:

Isolierglas (innen: VSG aus 2 * 4 mm ESG;

außen: 2 * 4 mm ESG)

$$l_G = 1250 \text{ mm}$$

$$h_G = 2500 \text{ mm}$$

$$t_G = 8 \text{ mm}$$

$$t_{G,EG} = 16 \text{ mm}$$

$$E_G = 70000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_G = 28000 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu_G = 0,23$$

$$\alpha_{T,G} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$$

$$\rho_G = 2500 \text{ kg/m}^3$$

→ Verbindungsmittel:

Holzbauschrauben mit teilweise glattem Schaft

Dimension: 4 / 80 mm

Güte: 8.8

$e_{VM} = 60 \text{ mm}$ (Verbindungsmittelabstand in Stabmitte)

$n_{VM} = 10$ (Anzahl der VM im Klotzbereich – verdichtete Anordnung mit einem Schraubenabstand von $e_{VM,c} = 3 \text{ cm}$)

→ Schubverklebung:

Silikon

$$b_t = 12 \text{ mm}$$

$$d_t = 3 \text{ mm}$$

$$G_t = 0,37 \text{ N/mm}^2 \text{ (längs = quer; aus Kleinproben der HFA)}$$

$$\tau_{t,k} = 0,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (aus Bemessungsbeispiel der HFA)}$$

$$\sigma_{t,k} = 0,76 \text{ N/mm}^2 \text{ (aus Bemessungsbeispiel der HFA)}$$

$$\epsilon_{t,max} = 232 \% \text{ (aus Kleinprobenversuchen der HFA)}$$

$$T_{t,0} = 20^{\circ}\text{C} \text{ (Herstelltemperatur der Schubverklebung)}$$

→ Verklotzung:

Epoxidharz

$$b_{c,G} = 8 \text{ mm} \text{ (Verklotzungsbreite glasseitig)}$$

$$b_{c,H} = 11 \text{ mm} \text{ (Verklotzungsbreite holzseitig)}$$

$$d_c = 3 \text{ mm}$$

$$e_c = 150 \text{ mm} \text{ (Abstand: Klotzmitte bis Glasecke)}$$

$$l_{c,v} = 200 \text{ mm} \text{ (Länge des vertikal wirkenden Klotzes)}$$

$$l_{c,h} = 200 \text{ mm} \text{ (Länge des horizontal wirkenden Klotzes)}$$

$$E_c = 5700 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,k} = 86 \text{ N/mm}^2 \text{ (Übergang elastisch-plastisch)}$$

$$\epsilon_{c,max} = \sigma_{c,k} / E_c = 86 \text{ N/mm}^2 / 5700 \text{ N/mm}^2 = 0,0151 = 1,51 \%$$

(Hochhauser, W., et.al (2011), S. 298 ff.)

4.2 Berechnung der Wandsteifigkeiten bei verschiedenen Anordnungen und Systemen

Die Berechnung der Systemsteifigkeiten und der aufnehmbaren Horizontalkräfte erfolgt mit Hilfe des von Hochhauser entwickelten Ersatzfedermodells (siehe Abb. 25). Wobei dieses System an die verschiedenen Bausysteme anzupassen ist. Je nachdem ob sich eine Vorformung von Bauteilkomponenten ausbilden kann, sind entsprechende Federn wegzuschalten. Aufgrund dessen kommt es zu einer Steifigkeitsänderung des Systems und zu einer Änderung des Kraftflusses.

Exemplarisch wird für eine Variante (VAR 01) die Steifigkeitsermittlung dokumentiert. Für die Ausführungen VAR 02 bis 04 wird die Berechnung mittels eines EXCEL- Files durchgeführt und lediglich die Ergebnisse dokumentiert.

Folgende Berechnungsformeln wurden aus dem Endbericht „ Holz- Glas- Verbundkonstruktionen, State of the Art, Forschungsbericht, Studentische Arbeiten“ von Hochhauser Werner, Winter Wolfgang und Klaus Kreher ((2010), S. 206 ff.) entnommen.

4.2.1 Umlaufend schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe (VAR 1)

Als ersten Schritt werden die einzelnen Federsteifigkeiten des Systems bestimmt:

Federmodell für Schubfeldtheorie:

1. Gleitung der Schubverklebung

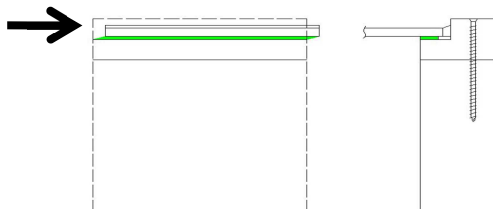


Abb. 27: Verformung der Schubverklebung infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S 206)

$$C_{\tau,l} = \frac{G_{\tau} * b_{\tau}}{d_{\tau}} = \frac{0,037 * 1,2}{0,3} = 0,148 \frac{kN}{cm^2} \quad (7)$$

mit

$C_{\tau,l}$... Federsteifigkeit der Klebefuge in Längsrichtung

G_{τ} ... Schubmodul der Klebefuge

b_{τ} ... Breite der Klebefuge

d_{τ} ... Dicke der Klebefuge

2. Gleitung der Koppelleiste längs:

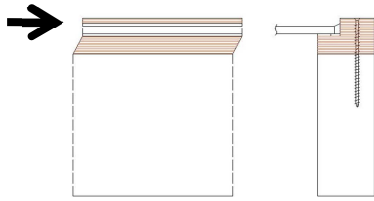


Abb. 28: Verformung der Koppelleiste infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 207)

$$C_{KL,l} = \frac{G_{KL} * b_{KL,ges}}{d_{KL}} = \frac{18,5 * 2,7}{1,3} = 38,423 \text{ kN/cm}^2 \quad (8)$$

mit

 $C_{KL,l}$... Federsteifigkeit der Koppelleiste in Längsrichtung G_{KL} ... Schubmodul der Koppelleiste $b_{KL,ges}$... Gesamtbreite der Koppelleiste d_{KL} ... Dicke der Koppelleiste

3. Verformung der Verbindungsmittel längs der Schraubenachse:

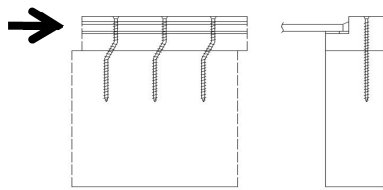


Abb. 29: Verformung der Verbindungsmittel infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 207)

$$C_{VM,l} = m * K_{ser} = 0,168 * 19,93 = 3,482 \text{ kN/cm}^2 \quad (9)$$

$$K_{ser} = \rho_M^{1,5} * \frac{d_{VM}}{23} = 508,33^{1,5} * \frac{4}{23} = 1993,2 \frac{N}{mm} = 19,93 \frac{kN}{cm} \quad (10)$$

Anzahl der Verbindungsmittel in den Riegeln:

$$n_R = \frac{l_G}{e_{VM}} + 1 = \frac{1250}{60} + 1 = 21,833 \rightarrow 21 \quad (11)$$

Anzahl der Verbindungsmittel in den Pfosten:

$$n_P = \frac{h_G}{e_{VM}} + 1 = \frac{2500}{60} + 1 = 42,67 \rightarrow 43 \quad (12)$$

Anzahl der Verbindungsmittel pro Längeneinheit in den Riegeln:

$$m_R = \frac{n_R}{l_G} = \frac{21}{125} = 0,168 \text{ cm}^{-1} \quad (13)$$

Anzahl der Verbindungsmittel pro Längeneinheit in den Pfosten:

$$m_P = \frac{n_P}{h_G} = \frac{43}{250} = 0,172 \text{ cm}^{-1} \quad (14)$$

Maßgebende Anzahl der Verbindungsmittel pro Längeneinheit:

$$m = \min (m_R \vee m_P) = \min(0,168 \vee 0,172) = 0,168 \text{ cm}^{-1} \quad (15)$$

Mittlere Rohdichte:

$$\rho_M = \sqrt{\rho_{BSH} * \rho_{KL}} = \sqrt{380 * 680} = 508,33 \text{ kg/m}^3 \quad (16)$$

mit

$C_{VM,l}$... Federsteifigkeit der Verbindungsmittel in Längsrichtung

m ... Anzahl der Verbindungsmittel pro Längeneinheit

K_{ser} ... Verformungsmodul des Verbindungsmittel

n ... Anzahl der Verbindungsmittel in einer bezogenen Länge

l ... Bezogene Länge

ρ_{BSH} ... Dichte der Unterkonstruktion (hier: Brettschichtholz)

ρ_{KL} ... Dichte der Koppelleiste

d_{VM} ... Durchmesser der Verbindungsmittel gemäß ÖNORM EN 1995

4. Gleitung der Rahmenkonstruktion längs des Rahmens:

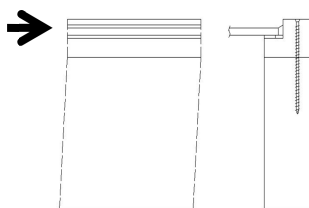


Abb. 30: Verformung der Rahmenkonstruktion infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 208)

$$C_{R,l} = \frac{G_R * b_R}{d_R} = \frac{72 * 6}{10} = 43,2 \text{ kN/cm}^2 \quad (17)$$

mit

$C_{R,l}$... Federsteifigkeit der Unterkonstruktion in Längsrichtung

G_R ... Schubmodul der Unterkonstruktion

b_R ... Gesamtbreite der Unterkonstruktion

d_R ... Dicke bzw. Tiefe der Unterkonstruktion

5. Verzerrung der Glasscheibe:

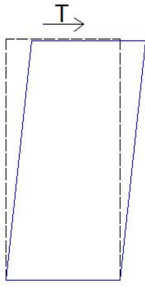


Abb. 31: Verformung der Glasscheibe infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 209)

$$C_{G,\gamma} = \frac{2 * G_G * t_G}{\left(\frac{h_G}{1 + \frac{h_G}{l_G}} \right)} = \frac{2 * 2800 * 0,8}{\left(\frac{250}{1 + \frac{260}{125}} \right)} = 53,76 \text{ kN/cm}^2 \quad (18)$$

mit

 $C_{G,\gamma}$... Federsteifigkeit der Glasscheibe (infolge Gleitung) G_G ... Schubmodul der Glasscheibe t_G ... Dicke der Glasscheibe h_G ... Höhe der Glasscheibe l_G ... Länge der Glasscheibe

Durch Serienschaltung der einzelnen Federn der Bauteilkomponenten kann die äquivalente Gesamtfedersteifigkeit des Tragmechanismus Schubfeld berechnet werden.

$$C_{\tau,\ddot{a}q} = k_u = k_w = \left\{ \frac{1}{C_{VM,l}} + \frac{1}{C_{KL,l}} + \frac{1}{C_{\tau,l}} + \frac{1}{C_{R,l}} + \frac{1}{C_{G,\gamma}} \right\}^{-1}$$

$$= \left\{ \frac{1}{3,349} + \frac{1}{38,423} + \frac{1}{0,148} + \frac{1}{43,20} + \frac{1}{53,76} \right\}^{-1} \approx 0,140 \text{ kN/cm}^2 \quad (19)$$

 $C_{\tau,\ddot{a}q}$... Äquivalente Gesamtfedersteifigkeit des Tragmechanismus Schubfeld

Mit dieser äquivalenten Gesamtfedersteifigkeit kann schlussendlich eine Rückrechnung aller Systemweichheiten in das Verformungsvermögen der Klebefuge durchgeführt werden.

$$G_{\ddot{a}q} = C_{\tau,\ddot{a}q} * \frac{d_{\tau}}{b_{\tau}} = 0,140 * \frac{0,3}{1,2} = 0,035 \text{ kN/cm}^2 = 0,351 \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

 $G_{\ddot{a}q}$... Äquivalenter Schubmodul des Tragmechanismus Schubfeld

Federmodell für Druckdiagonale:

1. Stauchung der Glasscheibe:

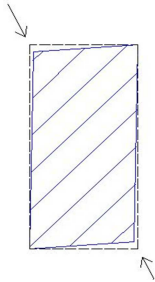


Abb. 32: Verformung der Glasscheibe infolge Druckdiagonale, (Hochhauser et.al. (2011), S. 2012)

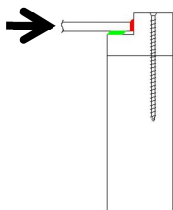
$$C_{G,\varepsilon} = \frac{E_G * t_G * b_{D,G}}{\frac{\sqrt{l_G^2 + h_G^2}}{2}} = \frac{7000 * 0,8 * 31,25}{\frac{\sqrt{125^2 + 250^2}}{2}} = 1252,198 \frac{kN}{cm} \quad (21)$$

$$b_{D,G} = \frac{l_{min}}{4} = \frac{125}{4} = 31,25 \text{ cm} \quad (22)$$

mit

 $C_{G,\varepsilon}$... Federsteifigkeit der Glasscheibe (infolge Stauchung) E_G ... Elastizitätsmodul der Glasscheibe t_G ... Dicke der Glasscheibe $b_{D,G}$... Breite der gläsernen Druckdiagonale ($b_{D,G} = l_{eff}/4$ in Anlehnung an (Hamm, 1999)) h ... Höhe der Glasscheibe l ... Länge der Glasscheibe l_{eff} ... Kleinere Länge aus Breite und Höhe der Glasscheibe

2. Gleitung der Schubverklebung quer zur Fuge und die Stauchung des Klotzmaterials:



Da sich die eingeleiteten Kräfte auf die Schubverklebung und Verklotzung aufteilen, müssen diese Federn parallel geschaltet werden.

Abb. 33: Verformung der Schubverklebung und Verklotzung infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al (2011), S. 213)

$$C_{\tau,q} = \frac{G_{\tau} * l_c * b_{\tau}}{d_{\tau}} = \frac{0,037 * 20 * 1,2}{0,3} = 2,960 \text{ kN/cm} \quad (23)$$

 $C_{\tau,q}$... Federsteifigkeit der Klebefuge in Querrichtung G_{τ} ... Schubmodul der Klebefuge l_c ... Länge der Klotzung b_{τ} ... Breite der Klebefuge d_{τ} ... Dicke der Klebefuge

$$C_c = \frac{E_c * l_c * \frac{b_{c,G} + b_{c,H}}{2}}{d_c} = \frac{570 * 20 * \frac{0,8 + 1,1}{2}}{0,3} = 36100,000 \text{ kN/cm} \quad (24)$$

mit

C_c ... Federsteifigkeit der Klotzung

E_c ... Elastizitätsmodul der Klotzung

l_c ... Länge der Klotzung

$b_{c,G}$... Glasseitige Breite der Klotzung

$b_{c,H}$... Holzseitige Breite der Klotzung

d_c ... Dicke der Klotzung

3. Verformung der Verbindungsmittel quer zur Schraubenachse:

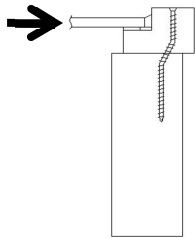


Abb. 34: Verformung der Verbindungsmittel infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 2014)

$$C_{VM,q} = n_c * K_{ser} = 10 * 19,93 = 199,320 \text{ kN/cm} \quad (25)$$

$C_{VM,q}$... Federsteifigkeit der Verbindungsmittel in Querrichtung

n_c ... Anzahl der Verbindungsmittel im Einflussbereich der Klotzung (Lastausbreitungswinkel Holz)

K_{ser} ... Verformungsmodul der Verbindungsmittel

ρ_{BSH} ... Dichte der Unterkonstruktion (hier: Brettschichtholz)

ρ_{KL} ... Dichte der Koppelleiste

d_{VM} ... Durchmesser der Verbindungsmittel gemäß ÖNORM EN 1995

4. Gleitung der Koppelleiste quer zur Leistenachse:

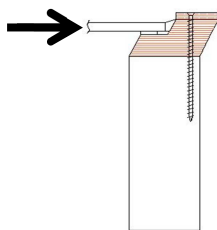


Abb. 35: Verformung der Koppelleiste infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 215)

$$C_{KL,q} = \frac{G_{KL} * (l_c + b_{KL}) * b_{KL}}{d_{KL} + d_\tau + b_{c,H}} = \frac{18,5 * (20 + 1,2) * 1,2}{1,3 + 0,3 + 1,1} = 174,311 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (26)$$

mit

$C_{KL,q}$... Federsteifigkeit der Koppelleiste in Querrichtung (infolge Gleitung)

G_{KL} ... Schubmodul der Koppelleiste

l_c ... Länge der Klotzung

$b_{KL,ges}$... Gesamtbreite der Koppelleiste

d_{KL} ... Wirksame Dicke der Koppelleiste

$b_{c,H}$... Holzseitige Breite der Klotzung

d_τ ... Dicke der Klebefuge

5. Stauchung der Koppelleiste:

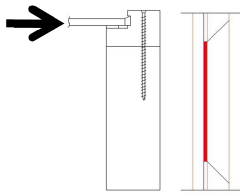


Abb. 36: Pressung der Koppelleiste infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 216)

$$C_{KL,\varepsilon} = \frac{E_{KL,12} * (l_c + b_{KL}) * b_{c,H}}{b_{KL}} = \frac{933,3 * (20 + 1,2) * 1,1}{1,2} = 18137,130 \text{ kN/cm} \quad (27)$$

mit

$C_{KL,\varepsilon}$... Federsteifigkeit der Koppelleiste in Querrichtung (infolge Stauchung)

E_{KL} ... Elastizitätsmodul der Koppelleiste

l_c ... Länge der Klotzung

b_{KL} ... Wirksame Breite der Koppelleiste

$b_{c,H}$... Holzseitige Breite der Klotzung

6. Gleitung der Pfosten – Riegelkonstruktion quer zur Rahmenachse:

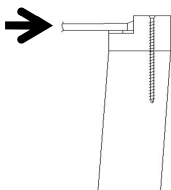


Abb. 37: Verformung der Rahmenkonstruktion infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 217)

$$C_{R,q} = \frac{G_R * l_c * b_R}{d_R} = \frac{72 * 20 * 6}{10} = 864,000 \text{ kN/cm} \quad (28)$$

mit

$C_{R,q}$... Federsteifigkeit der Unterkonstruktion in Querrichtung (infolge Gleitung)

G_R ... Schubmodul der Unterkonstruktion

l_c ... Länge der Klotzung

b_R ... Breite der Unterkonstruktion

d_R ... Dicke der Unterkonstruktion

7. Biegung der Pfosten – Riegelkonstruktion:

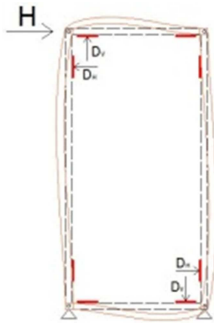


Abb. 38: Biegung der Pfosten und Riegel infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 218)

Federsteifigkeit der Riegelbiegung:

$$C_{R,B-Riegel} = \frac{3 * l_G * E_R * I_R}{e_c^2 * (e_c - l_G)^2} = \frac{3 * 125 * 1160 * 180}{15^2 * (15 - 125)^2} = 28,76 \text{ kN/cm} \quad (29)$$

Federsteifigkeit der Pfostenbiegung:

$$C_{R,B-Pfosten} = \frac{3 * h_G * E_R * I_R}{e_c^2 * (e_c - h_G)^2} = \frac{3 * 276 * 1160 * 180}{15^2 * (15 - 250)^2} = 12,603 \text{ kN/cm} \quad (30)$$

mit

$C_{R,B}$... Federsteifigkeit der Unterkonstruktion (infolge Biegung)

l_G ... Länge der Glasscheibe

E_R ... Elastizitätsmodul der Unterkonstruktion

I ... Flächenträgheitsmoment zweiten Grades der Unterkonstruktion

e_c ... Abstand von Klotzmittelpunkt zur Glasecke

8. Dehnung des gezogenen Stiels:

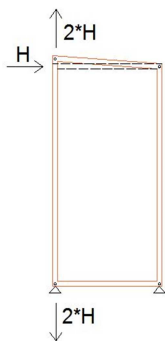


Abb. 39: Dehnung des gezogenen Stiels infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 219)

$$C_{R,\varepsilon} = \frac{E_R * d_R * b_R}{\frac{h_G}{2}} = \frac{1160 * 10 * 6}{\frac{250}{2}} = 556,80 \frac{kN}{cm} \quad (31)$$

mit

$C_{R,\varepsilon}$... Federsteifigkeit des gezogenen Stiels

E_R ... Elastizitätsmodul der Unterkonstruktion

d_R ... Dicke bzw. Tiefe des Stiels

b_R ... Breite des Stiels

h_G ... Höhe der Glasscheibe

9. Verformung des Rahmengelenks:

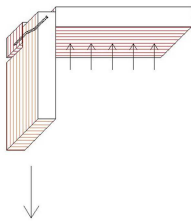


Abb. 40: Deformation des Rahmengelenks infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 220)

$$C_{RG} = n_{VM,RG} * K_{ser} = 1 * 51,53 = 51,53 \text{ kN/cm} \quad (32)$$

Wobei:

$$K_{ser} = \rho_{BSH}^{1,5} * \frac{d_{VM}}{23} = 380^{1,5} * \frac{16}{23} = 5153,088 \text{ N/mm} = 51,53 \text{ kN/cm} \quad (33)$$

mit

C_{RG} ... Federsteifigkeit des Rahmengelenks

K_{ser} ... Verformungsmodul des / der Verbindungsmittel im Rahmengelenk

$n_{VM,RG}$... Anzahl der Verbindungsmittel im Rahmengelenk

ρ_{BSH} ... Dichte der Unterkonstruktion (hier: Brettschichtholz)

d_{VM} ... Durchmesser des / der Verbindungsmittel im Rahmengelenk gemäß ÖNORM EN 1995

Um die Gesamtfedersteifigkeit der Druckdiagonale zu erhalten, werden, ähnlich wie bei der Ermittlung des Schubfeldes, die Federn seriell geschaltet. Mit dem Unterschied, dass hier eine Parallelschaltung zweier Federn erfolgt.

Gesamtfedersteifigkeit des horizontal wirkenden Klotzes:

$$\begin{aligned} C_{c,\ddot{a}q,h} = K_H &= \left\{ \frac{1}{C_{VM,q}} + \frac{1}{C_{KL,q}} + \frac{1}{C_{KL,\varepsilon}} + \frac{1}{C_{\tau,q} + C_c} + \frac{1}{C_{G,\varepsilon}} + \frac{1}{C_{R,q}} + \frac{1}{C_{R,\varepsilon}} + \frac{1}{C_{RG}} + \frac{1}{C_{R,B}} \right\}^{-1} \\ &= \left\{ \frac{1}{199,32} + \frac{1}{174,311} + \frac{1}{18137,13} + \frac{1}{2,960 + 36100} + \frac{1}{1252,198} + \frac{1}{864,0} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{556,80} + \frac{1}{51,531} + \frac{1}{12,603} \right\}^{-1} = 8,823 \text{ kN/cm} \end{aligned} \quad (34)$$

$C_{c,\ddot{a}q} \dots$ Äquivalente Gesamtfedersteifigkeit des Tragmechanismus Druckdiagonale

Gesamtfedersteifigkeit des vertikal wirkenden Klotzes:

$$\begin{aligned} C_{c,\ddot{a}q,h} = K_V &= \left\{ \frac{1}{C_{VM,q}} + \frac{1}{C_{KL,q}} + \frac{1}{C_{KL,\varepsilon}} + \frac{1}{C_{\tau,q} + C_c} + \frac{1}{C_{G,\varepsilon}} + \frac{1}{C_{R,q}} + \frac{1}{C_{R,\varepsilon}} + \frac{1}{C_{RG}} + \frac{1}{C_{R,B}} \right\}^{-1} \\ &= \left\{ \frac{1}{199,32} + \frac{1}{174,311} + \frac{1}{18137,13} + \frac{1}{2,960 + 36100} + \frac{1}{1213,224} + \frac{1}{864,0} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{535,385} + \frac{1}{51,531} + \frac{1}{28,760} \right\}^{-1} = 14,522 \text{ kN/cm} \end{aligned} \quad (35)$$

Wiederum kann eine Rückrechnung aller Systemweichheiten in die Verformbarkeit der Verklotzung durchgeführt werden:

$$E_{\ddot{a}q,h} = C_{c,\ddot{a}q,h} * \frac{d_c}{l_c * b_{c,G}} = 8,546 * \frac{0,3}{20 * 0,8} = 0,1526 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,602 \text{ N/mm}^2 \quad (36)$$

$$E_{\ddot{a}q,v} = C_{c,\ddot{a}q,v} * \frac{d_c}{l_c * b_{c,G}} = 14,522 * \frac{0,3}{20 * 0,8} = 0,2717 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,723 \text{ N/mm}^2 \quad (37)$$

$E_{\ddot{a}q} \dots$ Äquivalenter Elastizitätsmodul der Klotzung, welcher alle Systemweichheiten beinhaltet

Systemsteifigkeit infolge Schubverklebung:

$$\begin{aligned} K_\tau &= \frac{1}{\frac{2}{k_u * l} * \left(\frac{1}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{h_G}{3 * l_G}} + \frac{\frac{h_G}{l_G}}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{l_G}{3 * h_G}} \right)} \\ &= \frac{1}{\frac{2}{0,140 * 125} * \left(\frac{1}{1 + \frac{0,140}{0,140} * \frac{260}{3 * 125}} + \frac{\frac{250}{125}}{1 + \frac{0,140}{0,140} * \frac{125}{3 * 260}} \right)} \\ &= 3,791 \text{ kN/cm} \end{aligned} \quad (38)$$

Systemsteifigkeit infolge Verklotzung:

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{1}{2 * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l_G}} \right)^2 * \left(\frac{\left(\frac{h_G}{l_G} \right)^2}{K_V} + \frac{1}{K_H} \right)} = \frac{1}{2 * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{15}{125}} \right)^2 * \left(\frac{\left(\frac{250}{125} \right)^2}{14,489} + \frac{1}{8,316} \right)} \\ &= 0,744 \text{ kN/cm} \end{aligned} \quad (39)$$

Aufnehmbare horizontale Gesamtlast für:

$$H_{zul} = (K_\tau + K_c) * u_{zul} = (3,791 + 0,744) * 0,50 = \mathbf{2,27 \text{ kN}} \quad (40)$$

$$u_{zul} = \frac{h}{500} = \frac{2500}{500} = 5,0 \text{ mm} \quad (41)$$

$$\text{Wandscheibensteifigkeit} = (K_{\tau} + K_c) = (3,791 + 0,744) = \mathbf{4,53 \text{ kN/cm}} \quad (42)$$

Lastanteil der Schubverklebung:

$$H_{\tau} = H_{zul} * \frac{K_{\tau}}{K_{\tau} + K_c} = 2,28 * \frac{3,791}{3,791 + 0,744} \cong 1,90 \text{ kN} \triangleq \mathbf{84\%} \quad (43)$$

Lastanteil der Verklotzung:

$$H_c = H_{zul} * \frac{K_c}{K_{\tau} + K_c} = 2,50 * \frac{0,744}{3,791 + 0,744} \cong 0,37 \text{ kN} \triangleq \mathbf{16\%} \quad (44)$$

4.2.2 Umlaufend schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe im Verband

Aufgrund der Anordnung der HGV- Elemente im Verband, können gewisse Federn von Bauteilkomponenten entfallen und somit kommt es zu einer Änderung der Systemsteifigkeit und auch zu einer Umverteilung der Lastanteile von Schubverklebung und Verklotzung. Diese Systemsteifigkeitsberechnung gilt in diesem Fall nur für die mittlere Scheibe.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- zwischen zwei nebeneinander liegenden Elementen erfolgt eine Kraftübertragung von einer Koppelleiste zur anderen

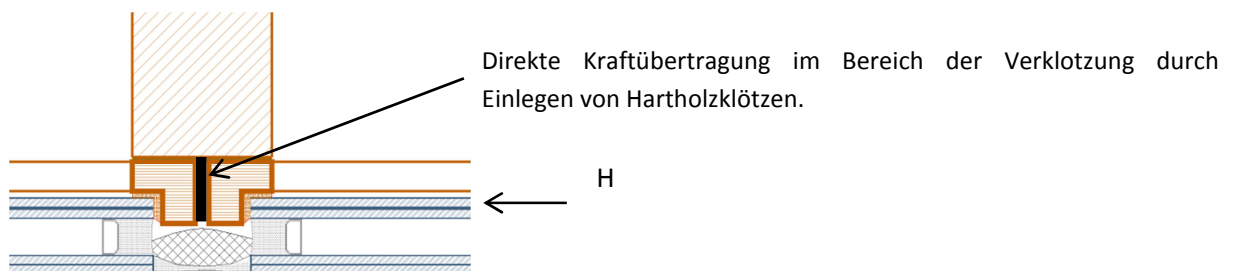


Abb. 41: Detail HGV- Element, Kräfteweiterleitung (Rosliakova (2012))

Folgende Federn entfallen:

- $C_{R,I}$ → Gleitung der Rahmenkonstruktion längs des Rahmens
Durch eine Verschraubung der Fußschwelle bzw. des Pfostens mit dem Fundament und eines durchlaufenden Kopfriegels kann sich eine Verformung des Rahmens nicht mehr ausbilden.
- $C_{r, B}$ - Riegel und Pfosten → Biegung der Pfosten - Riegelkonstruktion

Die Biegung der Unterkonstruktion wird durch die Anordnung der Scheiben nebeneinander unterbunden, da Druckkräfte nicht in die Unterkonstruktion eingeleitet werden, sondern in die nächste Scheibe transferiert werden. Die Riegelbiegung am Fußpunkt wird durch eine Fundamentplatte verhindert. Am Kopfpunkt wird die Biegung durch einen durchlaufenden Kopfriegel und durch die Auflast der Dachkonstruktion bzw. durch Nutzlasten verringert. In diesem Beispiel wird zur Vereinfachung deshalb angenommen, dass sich diese gar nicht ausbilden kann. Bei den Randelementen kann sich auf einer Seite jedoch sehr wohl eine Pfostenbiegung ausbilden. Für diesen Variantenvergleich wird vereinfacht angenommen, dass das HGV- Element links und rechts von einer Scheibe begrenzt wird und die Pfostenbiegung somit nicht stattfinden kann.

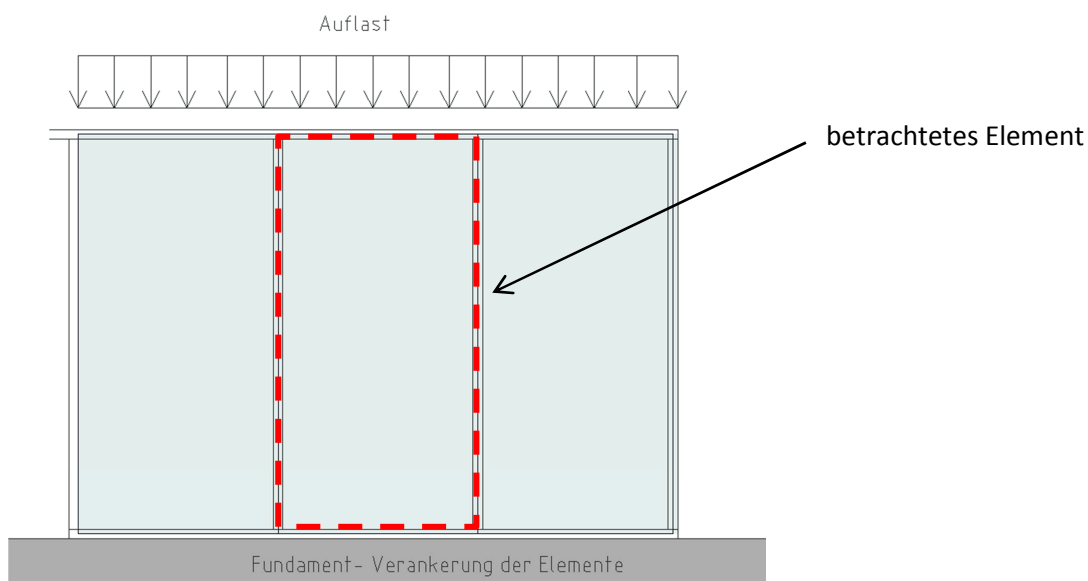


Abb. 42: HGV- Elemente im Verband

- $C_{KL, q} \rightarrow$ Verformung der Koppelleiste infolge Druckbeanspruchung

Da im Bereich der Verklotzungen zwischen den nebeneinanderliegenden Koppelleisten in Fugen Metallteile eingelegt werden, kann eine direkte Kraftweiterleitung (siehe Abb.16) erfolgen und somit ein Verformen der Koppelleiste unterbunden werden.

- $C_{R, q} \rightarrow$ Gleitung der Pfosten – Riegelkonstruktion quer zur Rahmenachse

Es gilt wiederum die Annahme, dass das Element links und rechts von den Scheiben begrenzt ist, wodurch sich diese Verformung nicht ausbilden kann.

- $C_{RG} \rightarrow$ Verformung des Rahmengelenks

Die angrenzenden Bauteile der betrachteten HGV- Scheibe (Fundament, durchlaufender Kopfriegel, Auflast der Dachkonstruktion) machen ein Verformen des Rahmengelenks sehr unwahrscheinlich und werden somit weggeschaltet.

Ergebnis der Berechnungen:

Tab. 4: Berechnungsergebnisse einer schubverklebten und geklotzten HGV- Scheibe im Verband

Lastanteil der Schubverklebung:	$H_t =$	1,90	[kN]
Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	10,79	[kN]
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	12,69	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_t + K_c =$	23,38	[kN/cm]

Vergleichende Betrachtung der Kräfteverteilung einer Schubverklebung und Verklotzung für eine Einzelscheibe und eine Scheibe im Verband mit gleichartigen Tragmechanismen.

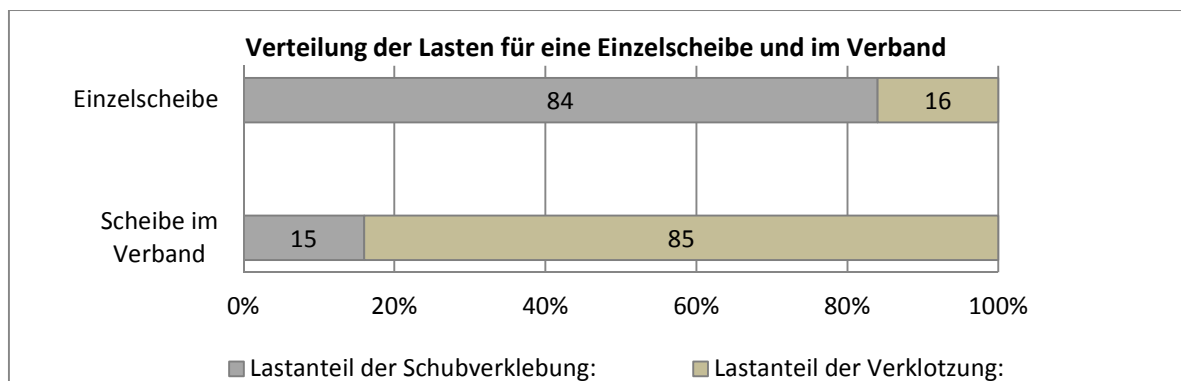


Abb. 43: Vergleich der Lastaufteilung bei schubverklebten und verklotzten Scheiben

Die Abb. 43 zeigt, wie sich die Aufteilung der Kräfte für die Bausysteme VAR 01 und VAR 02 ändert. Hier zeigt sich, dass der Anteil, der bei einer Einzelscheibe der Schubverklebung zugeteilt wurde, bei einem Verband genau der Verklotzung entspricht. Dies passiert aufgrund der Weichheiten, die bei der Druckdiagonale für eine Einzelscheibe auftreten. Da im Verband genau die größten Weichheiten entnommen wurden, entsteht diese Verschiebung der Aufteilung. Es sei hier angemerkt, dass die berechneten Steifigkeiten für eine Scheibe gelten und nicht, wie vielleicht angenommen werden könnte, für drei nebeneinander liegende Scheiben. Solche Berechnungen werden im Kapitel 4.4 behandelt.

4.2.3 Ausschließlich geklotzte HGV- Scheibe

Für eine ausschließlich geklotzte Scheibe wird der Anteil der Schubverklebung komplett außer Acht gelassen. Daher wird in diesem Fall die Horizontalkraft nur über eine Druckdiagonale abgeleitet.

Ergebnis der Berechnungen für eine Einzelscheibe

Tab. 5: Berechnungsergebnisse einer geklotzten Einzelscheibe

Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	0,37	[kN] ($\cong 100\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	0,37	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_t + K_c =$	0,74	[kN/cm]

Analog zu Punkt 4.2.2 sind die Federn für ein im Verband liegendes, geklotztes Scheibenelement zu vernachlässigen.

- $C_{r, B}$ - Riegel und Pfosten → Biegung der Pfosten - Riegelkonstruktion
- $C_{KL, q}$ → Verformung der Koppelleiste infolge Druckbeanspruchung
- $C_{R, q}$ → Gleitung der Pfosten – Riegelkonstruktion quer zur Rahmenachse
- C_{RG} → Verformung des Rahmengelenks

Ergebnis der Berechnungen für eine Scheibe im Verband liegend:

Tab. 6: Berechnungsergebnisse einer geklotzten Scheibe im Verband

Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	10,79	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	10,79	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_r + K_c =$	21,57	[KN/cm]

4.2.4 Ausschließlich schubverklebte HGV- Scheibe

Ergebnis der Berechnungen einer Einzelscheibe

Tab. 7: Berechnungsergebnisse einer schubverklebten Einzelscheibe

Lastanteil der Schubverklebung:	$H_r =$	1,90	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	0,00	[kN] ($\triangleq 0\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	1,90	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_r + K_c =$	3,79	[KN/cm]

Analog zu Punkt 5.3.2 wird folgende Feder für eine ausschließlich schubverklebte und im Verband liegende Scheibe aus der Berechnung genommen:

- $C_{R, I}$ → Gleitung der Rahmenkonstruktion längs des Rahmens

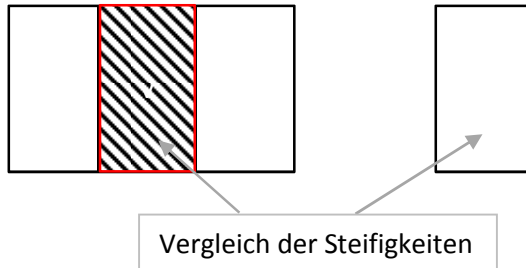
Ergebnis der Berechnungen für eine Scheibe im Verband liegend:

Tab. 8: Berechnungsergebnisse einer schubverklebten Scheibe im Verband

Lastanteil der Schubverklebung:	$H_r =$	1,90	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	0,00	[kN] ($\triangleq 0\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	1,90	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_r + K_c =$	3,80	[KN/cm]

4.3 Auswertung und Vergleich der Berechnungsergebnisse

Vergleich einer Scheibe im Verband liegend und als Einzelement



Eine Gegenüberstellung der verschiedenen Bausysteme, welche eine alternative Ausführungsform für den Zubau des Wintergartens darstellen soll, zeigt massive Unterschiede. Nach Abb. 44 ist eine verklotzte Scheibe, im Verband liegend, 29-mal so steif wie eine verklotzte Einzelscheibe. Bei einer schubverklebten und verklotzten Scheibe hingegen ist der Unterschied um einiges geringer, der Faktor liegt bei 5,6. Die Verbandwirkung einer reinen Schubverklebung hat kaum Auswirkungen auf die Wandsteifigkeit.

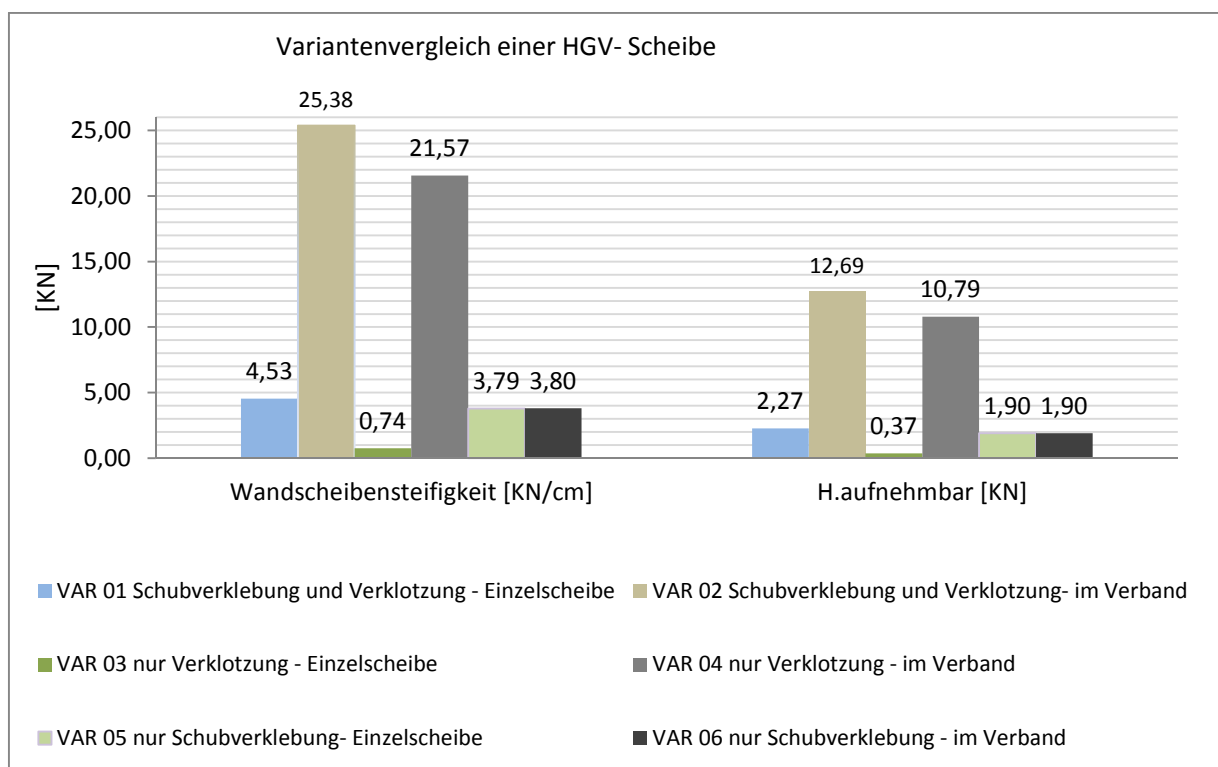


Abb. 44: Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse der verschiedenen Bausysteme

In Abb. 45 wird dargestellt, wie weit sich die Horizontalkraft steigern lässt, bis ein Versagen der Schubfuge bei einer schubverklebten Scheibe eintritt und die kritische Beullast bzw. die max. Druckspannung im Klotz einer schubverklebten – und verklotzten Einzelscheibe erreicht wird.

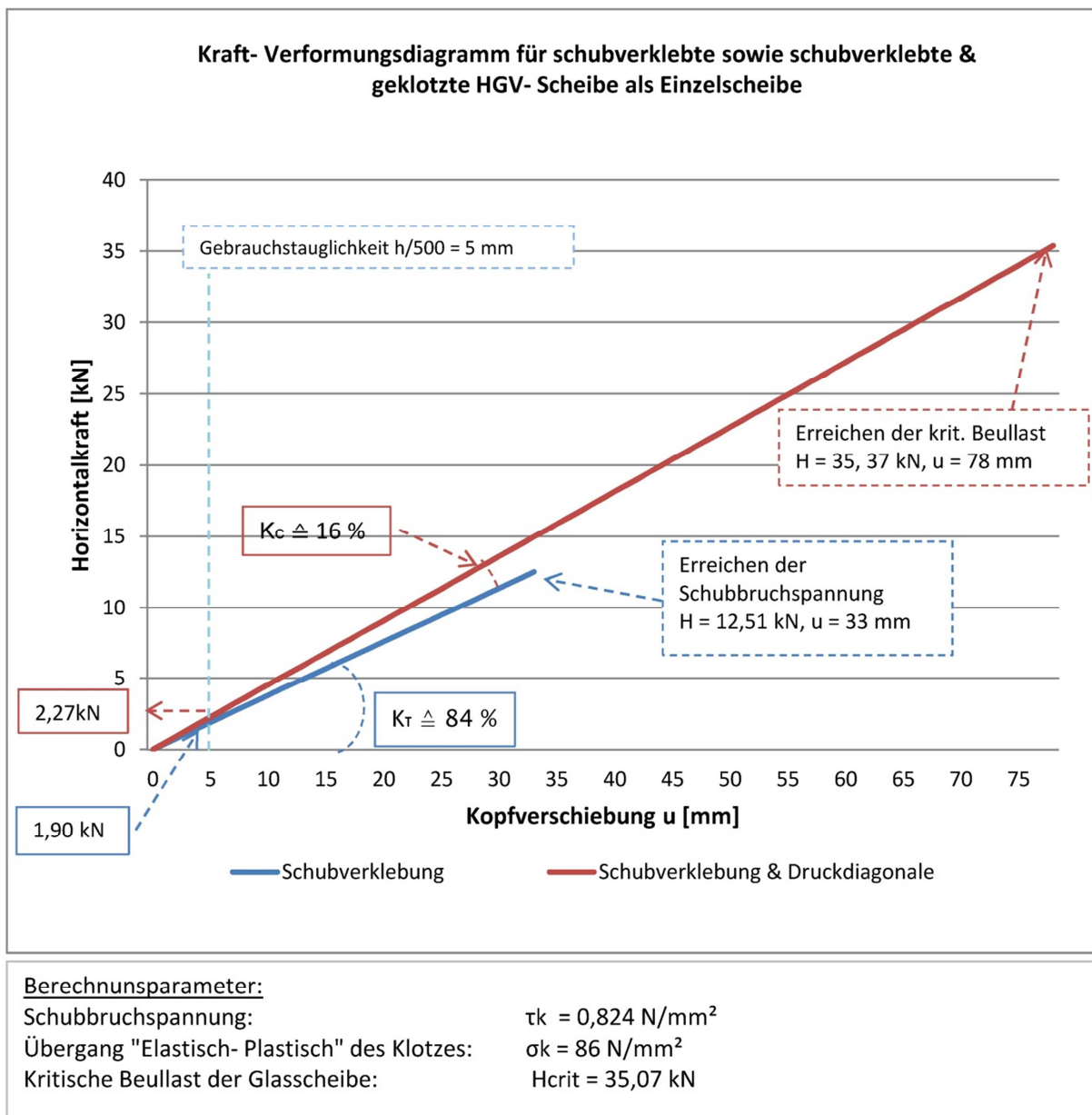


Abb. 45: Kraft – Verformungsdiagramm einer Schubverklebung, Schubverklebung & Klotzung (Einzelscheibe)

Analog zur Abb. 45 wird in der nachstehenden Grafik ein Kraft- Verformungsdiagramm dargestellt, wobei in diesem Fall nicht eine Einzelscheibe betrachtet wird, sondern ein im Verband liegendes Element. Auch hier ist die gegenverkehrte Lastaufteilung der Schub- und Druckkomponente wieder auffallend. Die Druckdiagonale kann entweder durch Überschreiten der maximalen Druckspannung der Klötze versagen oder durch Überschreiten der max. zulässigen Beullast der Glasscheibe. Sowohl in Abb. 45 als auch in Abb. 46 ist die kritische Beullast als maßgebende Versagensursache heranzuziehen.

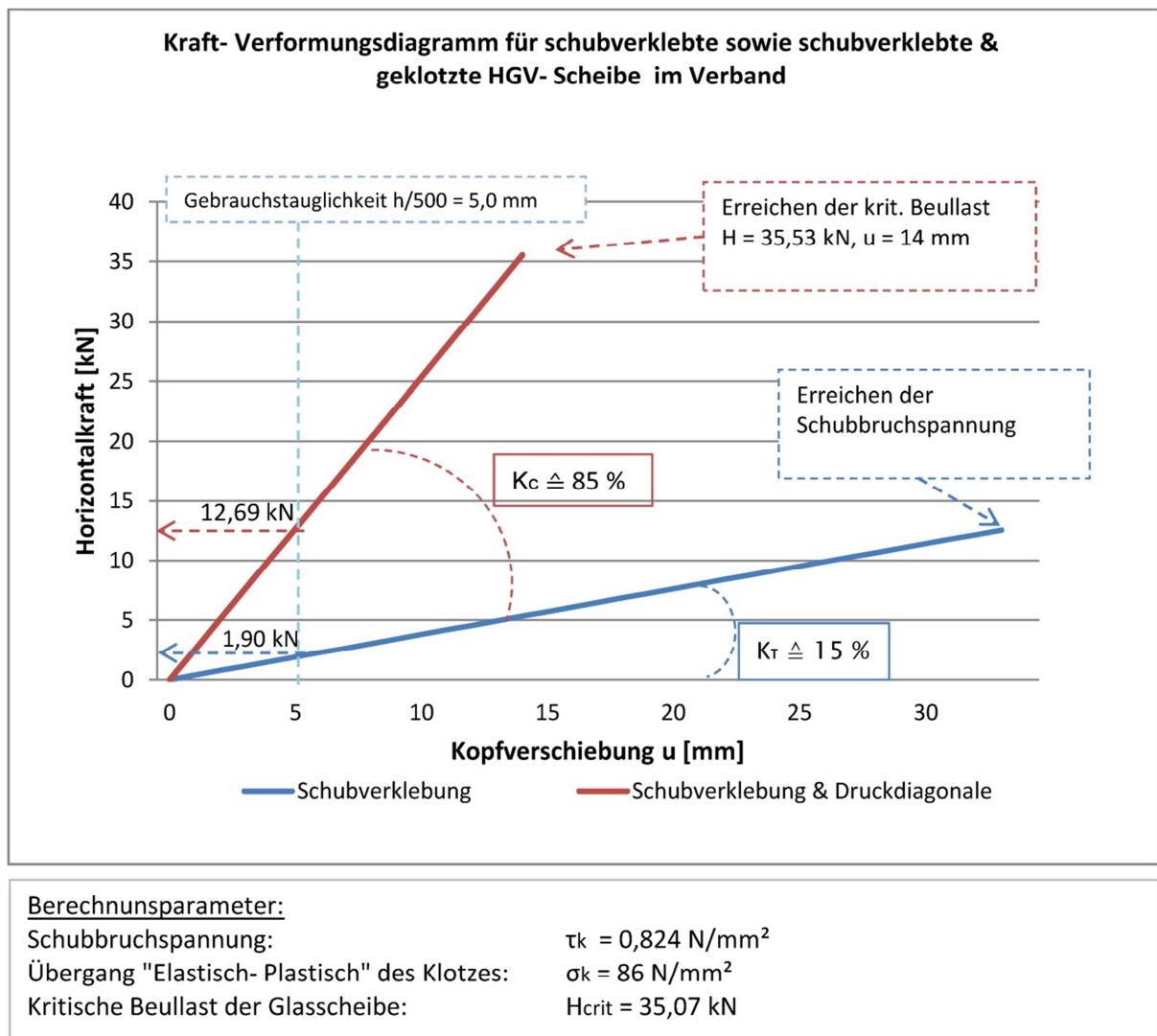


Abb. 46: Kraft – Verformungsdiagramm einer Schubverklebung, Schubverklebung & Klotzung im Verband

Abschließend zum Kapitel Variantenstudie verschiedener HGV – Bausysteme, werden in Abb. 47 die Varianten mit den gesamt aufnehmbaren Lasten dargestellt. Bei der Darstellung der Druckdiagonale – Einzelscheibe wurde es für nicht sinnvoll erachtet, den Graph bis zur Erreichung der krit. Beullast darzustellen, da diese eine Kopfverschiebung von ca. 50 cm erfahren müsste. Weiters wurden die Berechnungen einer schubverklebten Einzelscheibe und einer schubverklebten Scheibe im Verband nicht gesondert angeführt, da sich diese kaum unterscheiden. Bei den übrigen Systemen ist ein absolut markanter Unterschied der Steifigkeiten zu erkennen.

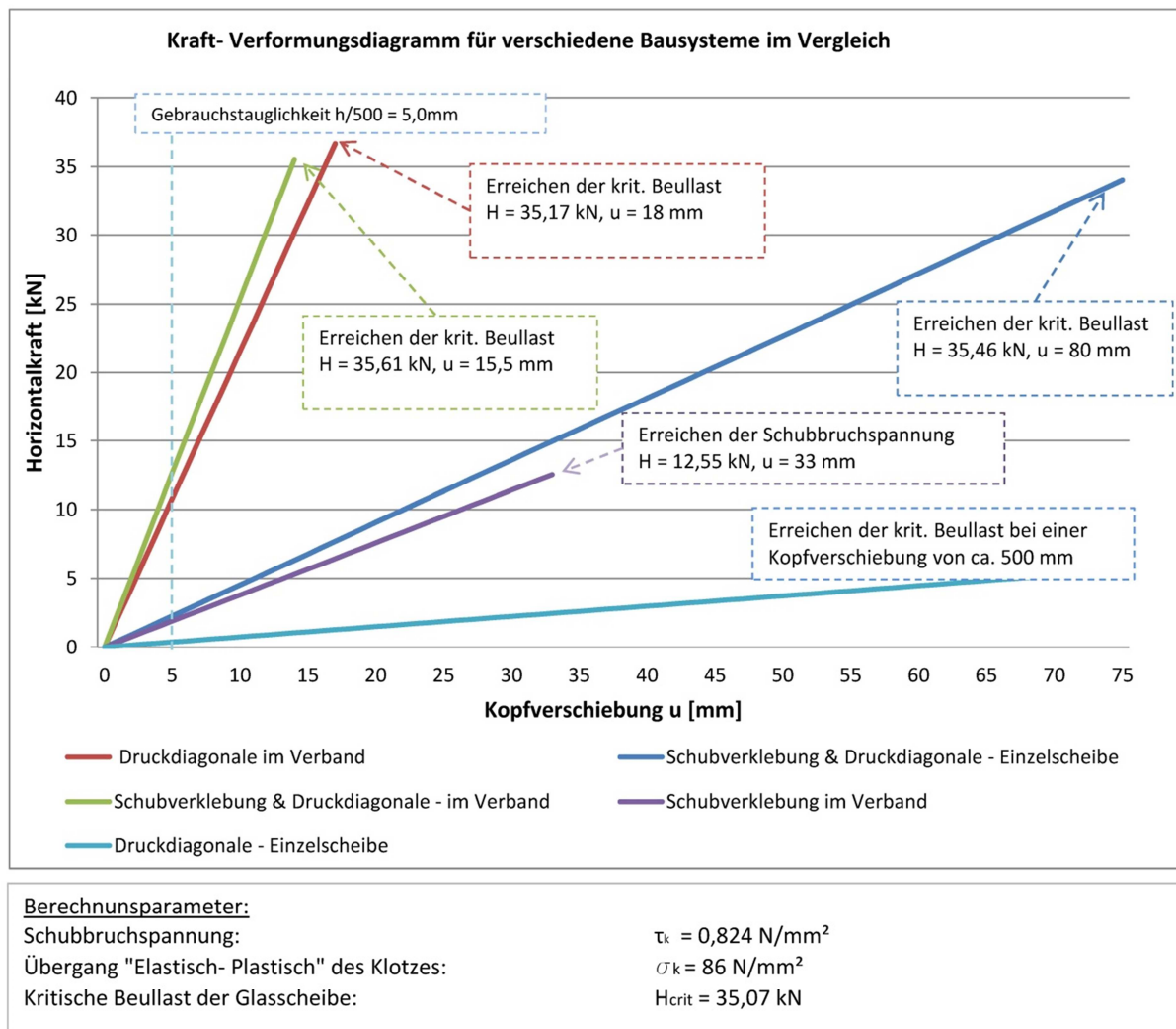
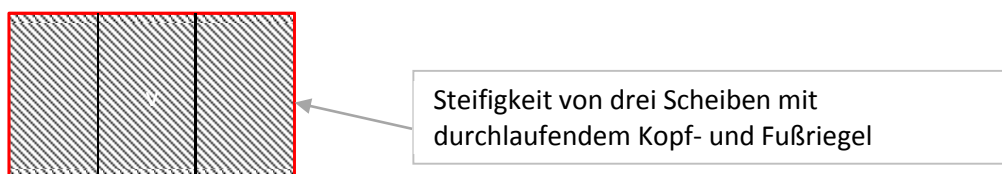


Abb. 47: Kraft - Verformungsdiagramm, Gegenüberstellung aller Varianten für eine Scheibe

Wandscheibensteifigkeit von drei nebeneinander angeordneten Elementen



In Abb. 48 wird die Steifigkeit dreier nebeneinander angeordneten Wandscheiben in grafischer Form dargestellt. Vereinfacht wurden die einzelnen Steifigkeiten der Wandscheiben parallel geschaltet. Zu erkennen ist, dass das System Schubverklebung und Verklotzung die steifste Variante darstellt und die reine Schubverklebung das weichste System beinhaltet. Besonders ins Auge sticht die Tatsache, dass bei der reinen Schubverklebung die Verbandwirkung (Erhöhung der Steifigkeit) kaum Auswirkungen hat.

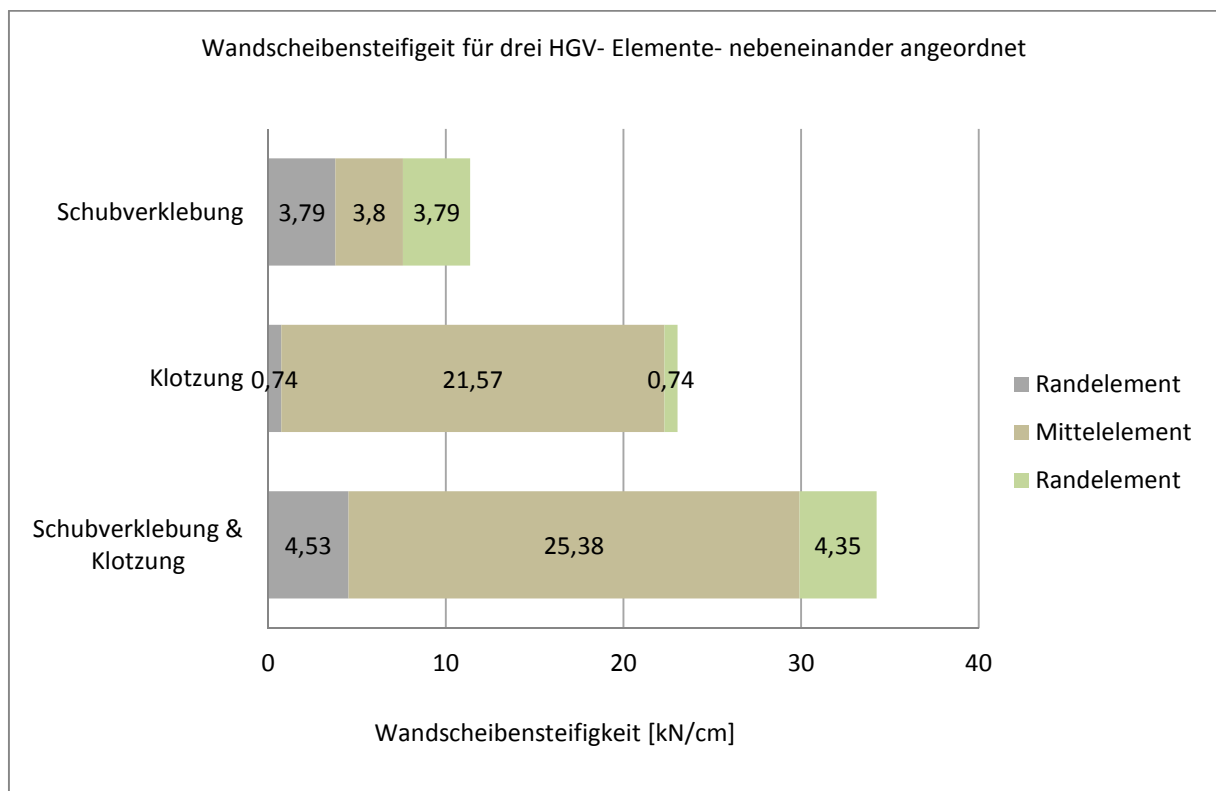


Abb. 48: Wandscheibensteifigkeit für drei nebeneinander angeordnete Elemente

4.4 Vergleich der Steifigkeitsberechnungen mit „SOFISTIK“

Um die Berechnungsergebnisse validieren zu können, wurden, in Zusammenarbeit mit Herrn Professor Dr. Borut Dobovisek, Berechnungen von drei nebeneinander angeordneten HGV-Wandscheiben mit dem Programm „SOFISTIK“ durchgeführt.

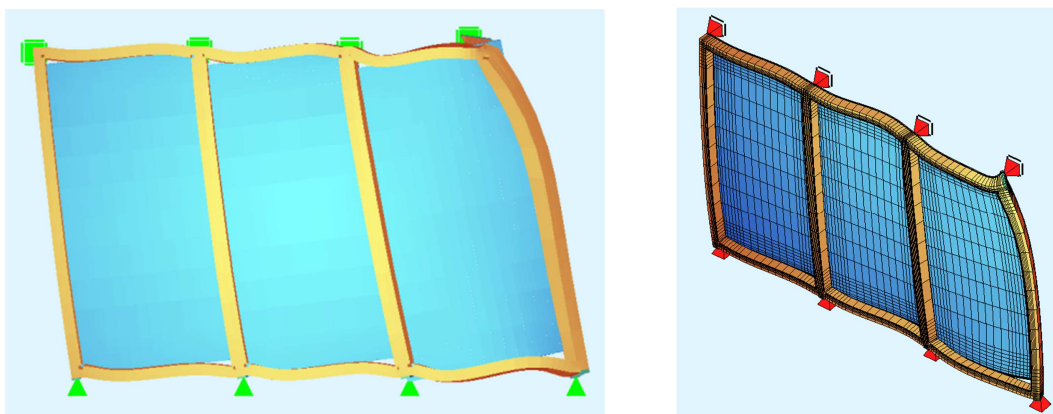


Abb. 49: Steifigkeitsberechnung mit SOFISTIK (Dobovisek/ Weissensteiner,(März 2013))

Variante Schubverklebung und Verklotzung

Zum Unterschied der Berechnungen in Punkt 4.2.1 bis 4.2.4 wurde bei dieser Berechnung der Kopf- und Fußriegel nicht durchgehend eingegeben, da dies im Programm sehr schwierig zu handhaben ist. Daher tritt eine Riegelbiegung auf, siehe Abb. 49. Für das mittlere Element kann sich jedoch keine Biegung der Pfosten ausbilden, daher wurde das Federmodell nach Hochhauser wiederum angepasst. Ebenfalls müssen die Federn der Verbindungsmittel weggeschaltet werden, da die Koppelleiste und die Unterkonstruktion als ein Element eingegeben wurden.

Für die Randelemente sind die Berechnungsannahmen, die unter Kapitel 4.1 durchgeführt wurden, passend.

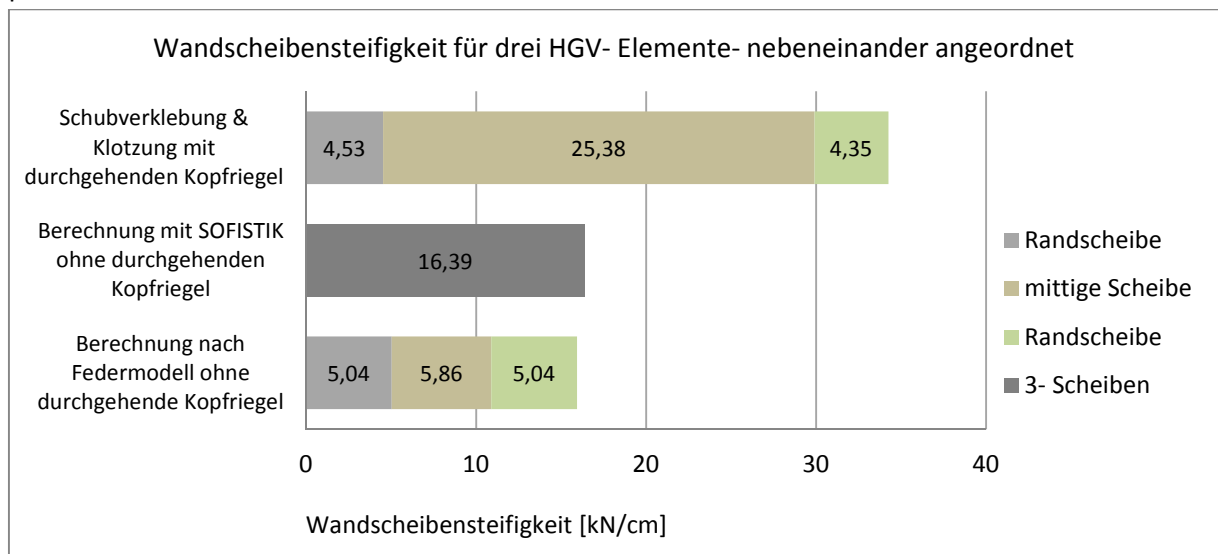


Abb. 50: Vergleich der Steifigkeitsberechnung mit Federmodell nach Hochhauser und SOFISTIK für Schubverklebung und Klotzung

Die obenstehende Grafik zeigt sehr gute Übereinstimmungen beider Berechnungsmethoden (Abweichungen betragen ca. 3 %). Abweichungen kommen wahrscheinlich aufgrund der Geometrieingabe, die in diesem Programm sehr schwierig zu handhaben ist, zustande. Die Auswirkungen eines durchgehenden Kopfriegels sind ebenfalls in dieser Grafik sehr gut ersichtlich.

Variante reine Schubverklebung

Da die Koppelleiste und der Rahmen als ein Bauteil eingegeben wurden, müssen die Federn der Verbindungsmittel entfernt werden. Der nicht durchlaufende Riegel hat bei der reinen Schubverklebung keinen Einfluss.

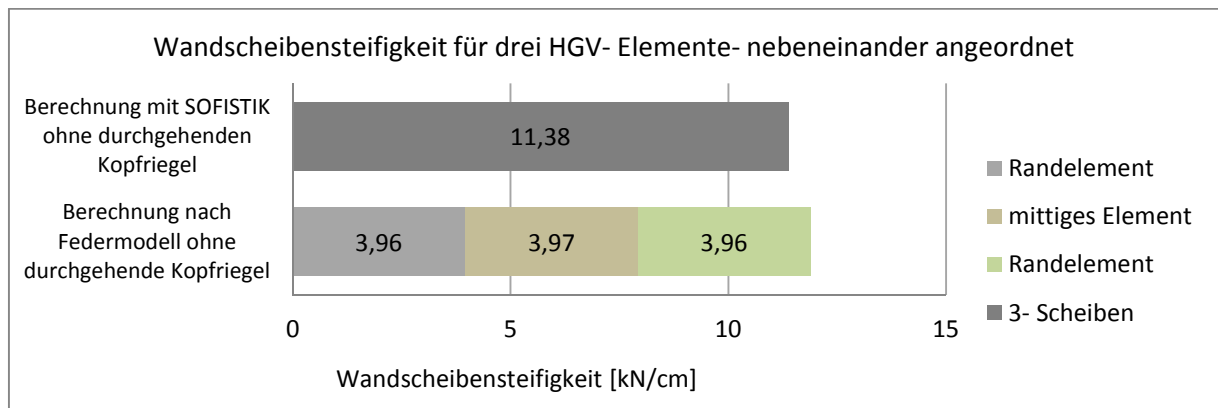


Abb. 51: Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Federmodell nach Hochhauser und SOFISTIK für reine Schubverklebung

Die Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmungen beider Berechnungsmethoden. Die Abweichungen liegen bei ca. 4 %, was wiederum der Geometrieeingabe zugrunde zu legen ist.

Da die Vergleiche der Steifigkeitsberechnungen von Wandscheiben einer reinen Schubverklebung und einer Schubverklebung & Klotzung die Richtigkeit der Berechnungen bewiesen haben, wird auf den Vergleich einer Ausführung mit einer reinen Verklotzung verzichtet.

5 Zubau Wintergarten

Dieser Wintergartenzubau in Vösendorf/Süd (Niederösterreich) soll einen ersten Prototypen von HGV- Scheiben darstellen. Ziel dieses Bauwerks soll es nicht sein, Sonderkonstruktionen zu entwickeln bzw. auszuarbeiten, sondern es sollten im Zuge dessen Standarddetails entwickelt werden, die später in anderen Bauwerken ebenso umgesetzt werden können. Durch diese erstmalige Umsetzung von geklotzten und schubverklebten HGV- Scheiben soll die Praxistauglichkeit unter Beweis gestellt werden. Neben der konstruktiven und statischen Umsetzung dieses Gebäudes wurde auch besonders auf die bauphysikalische Konzeption geachtet. So will man eine natürliche Lüftung und Luftheizung in Form einer Trombewand, umgesetzt in HGV- Bauweise, verwirklichen. Dieses Thema wird in Punkt 5.6 eigens behandelt.



Abb. 52: Bestehendes Einfamilienhaus (Rosliakova (2012))

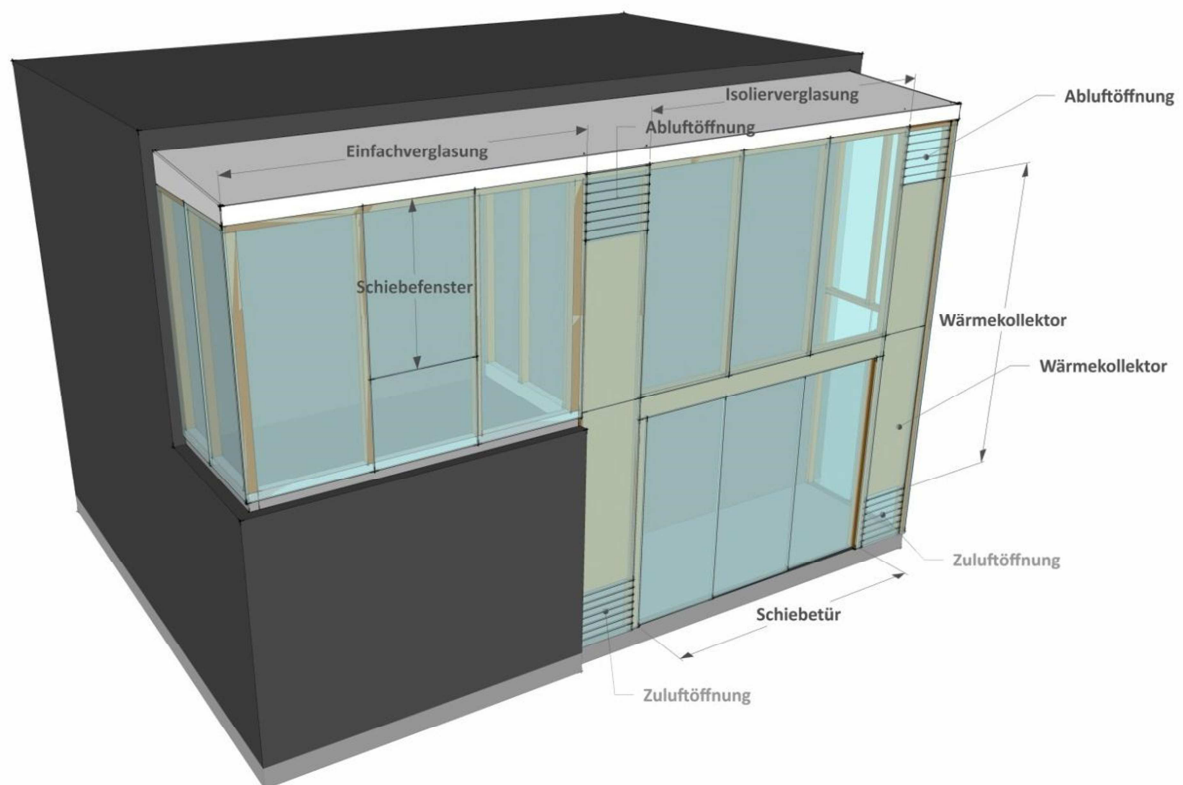


Abb. 53: Wintergartenkonstruktion- Zubau

Grundriss- Erdgeschoss

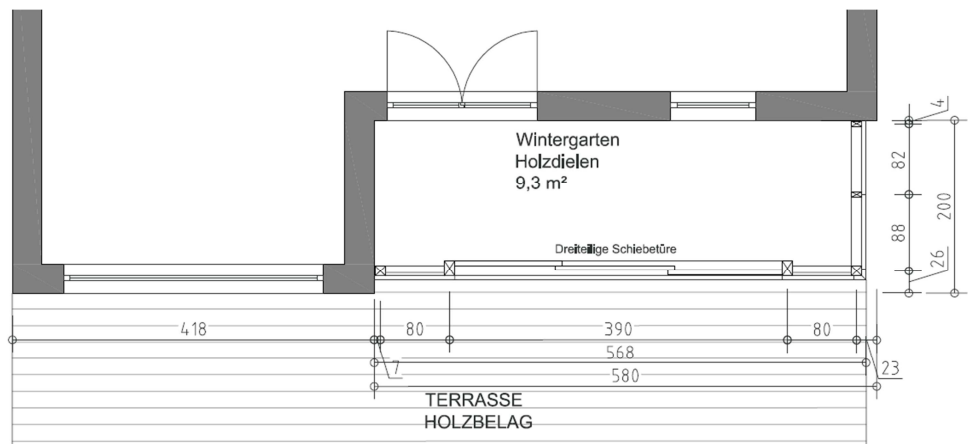


Abb. 54: Grundriss- Wintergartenzubau- Erdgeschoss

Grundriss- Obergeschoss

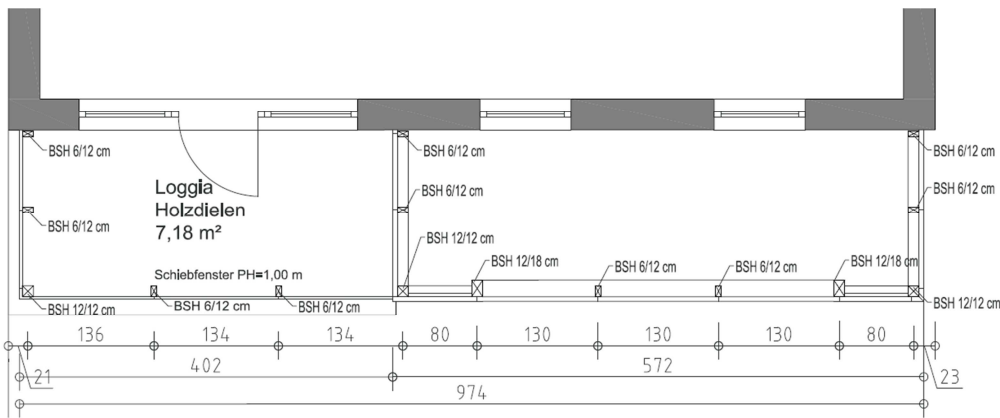


Abb. 55: Grundriss- Wintergartenzubau- Obergeschoss

Ansicht seitlich

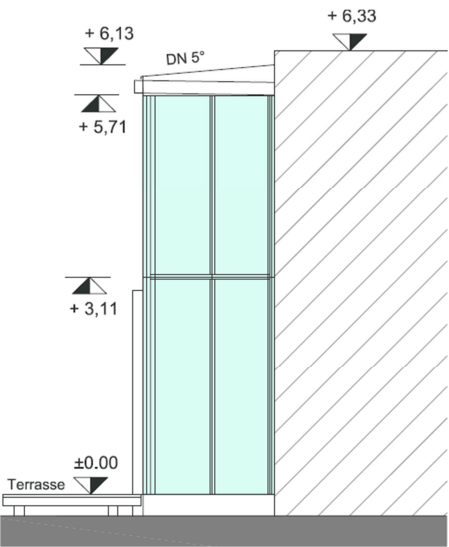


Abb. 56: Ansicht-seitlich- Wintergartenzubau

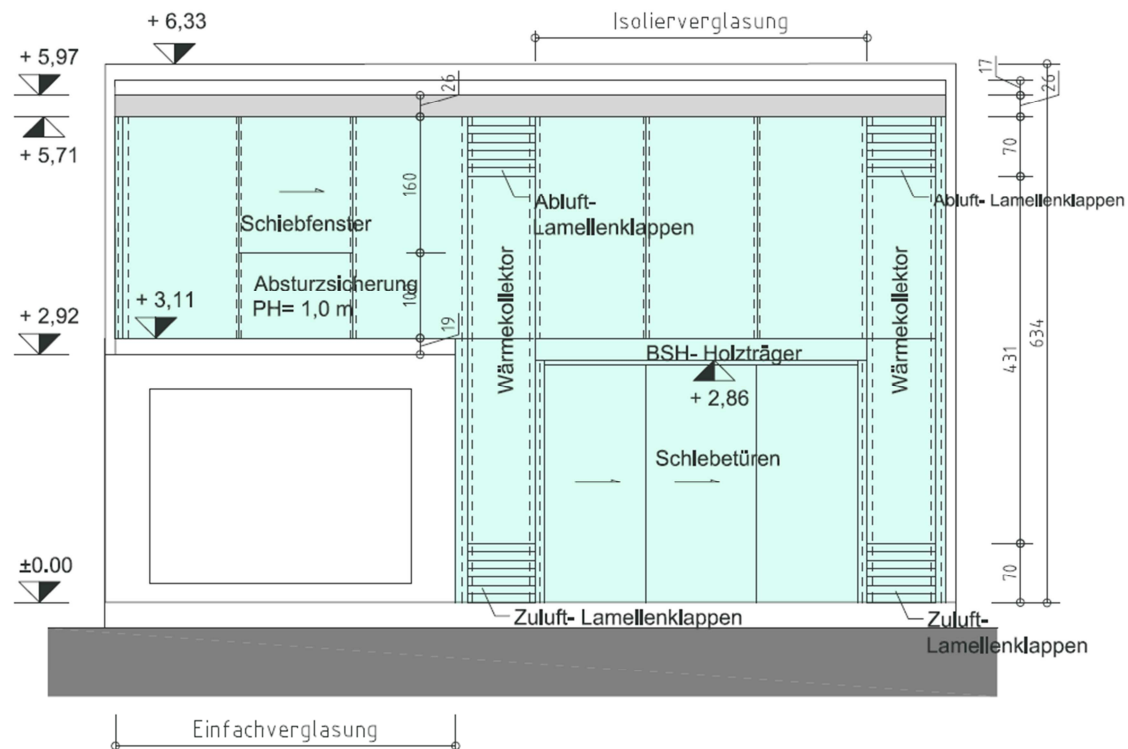
Ansicht Fassadenfront (Nord/West):

Abb. 57: Ansicht- Fassadenfront- Wintergartenzubau

Ziel des Prototypen:

- 1) Anwendung der Bemessungsvorschläge nach HGV- Endbericht (Hochhauser et.al. (2011)) für schubverklebte und geklotzte Scheiben als aussteifendes Element.
- 2) Konstruktive Umsetzung von HGV- Elementen unter Berücksichtigung der Bautoleranzen, jedoch keine Ausarbeitung von Sonderlösungen, sondern mit Bedacht auf die Entwicklung von Standarddetails. Somit können längerfristige Anwendungslösungen bzw. Details entstehen, die für den Standard- Fassadenbau eingesetzt werden können.
- 3) Unter anderem soll auch die Dauerhaftigkeit der Verklebung beobachtet werden. Gerade in den Bereichen, wo Kondensatausfall vorhanden ist, sind verstärkt Kontrollen durchzuführen.
- 4) Durch die Umsetzung ist es möglich, eine bauphysikalische Beurteilung dieser Konstruktion vorzunehmen und die Konstruktion nach Bedarf in dieser Hinsicht zu verbessern und evtl. mit den Berechnungsergebnissen zu validieren (Wärmebrückenberechnung).
 - Messen der minimalen Oberflächentemperaturen an mehreren Stellen
 - Beobachtung von Kondensat in Bezug auf Menge bzw. betroffene Fläche und Stelle am Bauwerk
- 5) Durch den Einbau von zwei Wärmekollektoren soll der Effekt einer natürlichen Lüftungsanlage nach dem Prinzip einer Trombewand unter Beweis gestellt werden. Am Bauwerk können die Luftströme in Bezug auf die Geschwindigkeit und das Volumen in Abhängigkeit der Außentemperaturen und der Witterungsverhältnisse gemessen werden. Es wird auch angedacht, den Luftkanal zwischen Speichermasse und Verglasung variabel zu gestalten.

Dadurch könnte man den Einfluss der Tiefe des Luftkanals auf die Luftgeschwindigkeit bestimmen. So könnte schlussendlich ein System entwickelt werden, mit dem man den Luftspalt je nach Sonneneinstrahlung, Temperatur und gewünschtem Luftwechsel anpasst, um den gewünschten Effekt zu erreichen.

5.1 Konstruktion

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Anschlussdetails, die das HGV- System betreffen, dargestellt und erläutert. Dargestellt wird nicht nur ein System, sondern alle Ausführungssysteme, die im Laufe der Ausarbeitung der Diplomarbeit entwickelt oder vom Institut ITI ausgearbeitet wurden. Eingegangen wird vor allem auf Standarddetails, die nicht speziell für den Wintergarten-Zubau entwickelt wurden.

5.1.1 Ausführung mit schmaler L- BFU- Koppelleiste und Konsolenaufleger

Dieses Konstruktionssystem wurde am ITI-TU-Wien entwickelt. Da die im Labor erprobten, breiten Koppelleisten (6,0 cm) nur für einzelne Elemente passend sind, aufgrund der Ansichtsbreite aber nicht für mehrere, nebeneinander angeordnete Scheibenelemente eingesetzt werden können, wurde eine etwas kleinere Leiste entwickelt. Diese hat jedoch den Nachteil, dass, aufgrund der kleinen Bauteilabmessungen, die Übertragung der Kräfte zwischen Koppelleiste und Unterkonstruktion nicht ausschließlich durch die Schrauben erfolgen kann. Somit entstand die Idee, die Kräfte in den Eckbereichen durch Anordnung von Metallwinkeln abzufangen.

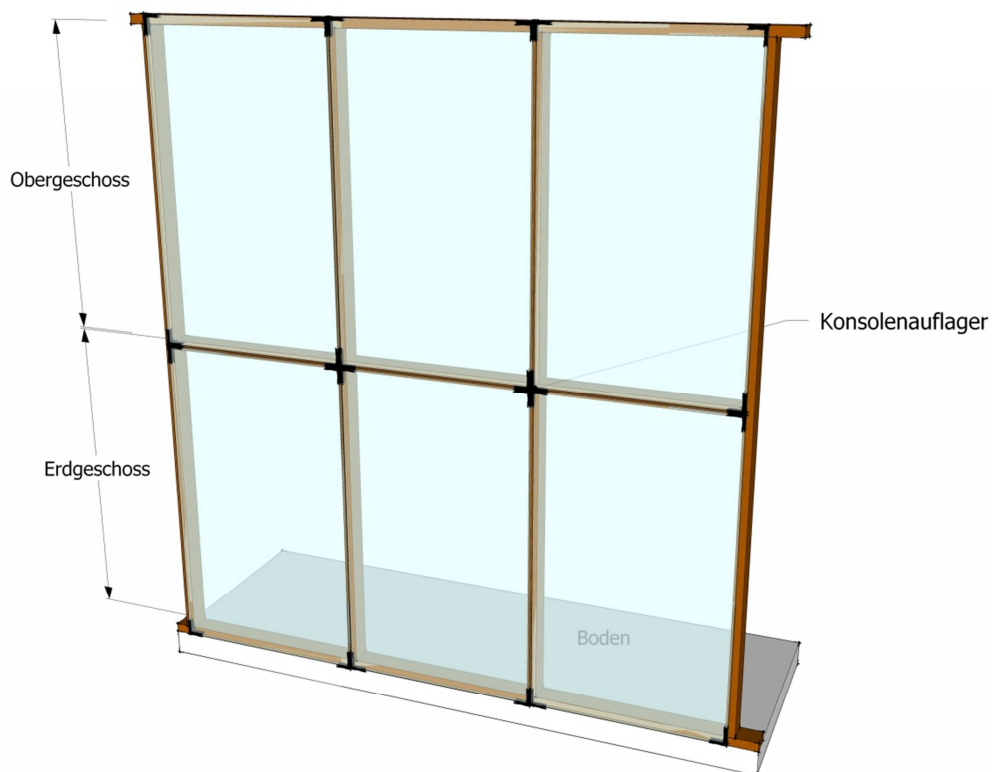


Abb. 58: Mehrgeschossige HGV-Elemente mit Konsolenaufleger

Durch die Winkel, die an die Pfosten montiert werden, können die Druckkräfte aus der Druckdiagonale (Verklotzung) abgefangen und in die Unterkonstruktion eingeleitet werden. Da die Verschraubung der Koppelleisten nur mehr zu Montagezwecken herangezogen werden kann, müssen die Schubkräfte durch zusätzliche Verschraubungen eingeleitet werden. Dies kann z.B. durch Klemmplättchen, die evtl. in die Koppelleiste eingefräst sind, erfolgen. Diese aufgeschraubten Plättchen können zusätzlich die Funktion der Sogsicherung übernehmen.

Abb. 59 zeigt die einzelnen Bauteilkomponenten des Konstruktionssystems der schmalen Koppelleiste mit Konsolenaufleger.

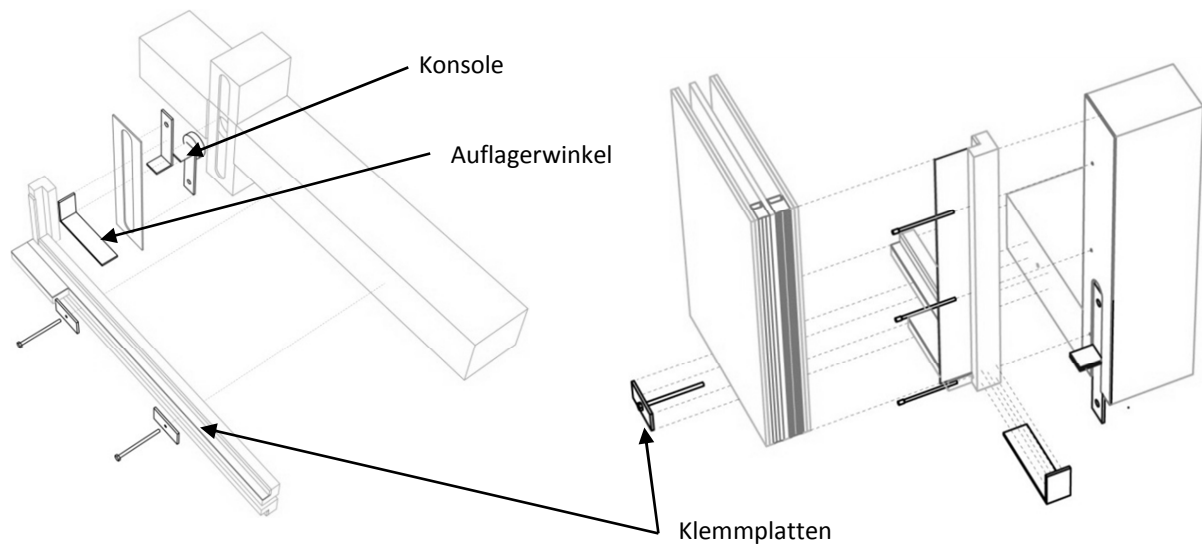


Abb. 59: Explosionszeichnung HGV-Konstruktion mit Konsolenaufleger (Rosliakova, (2012))

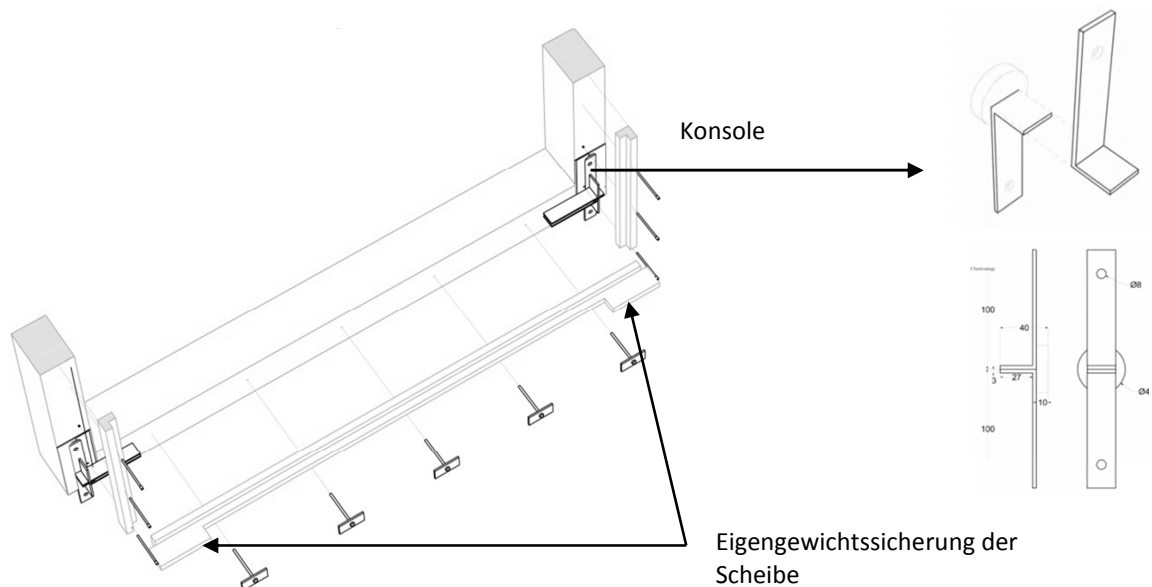


Abb. 60: Explosionszeichnung-Konstruktion-Konsolenaufleger (Rosliakova, (2012))



Abb. 61: Eckdetail des Konsolenaufagers- 1:1 Modell (links und Mitte), Befestigung der Koppelleisten mit Klemmplatten (rechts), (ITI- TU Wien (2012))

Elementstoß- Horizontalschnitt/ Vertikalschnitt

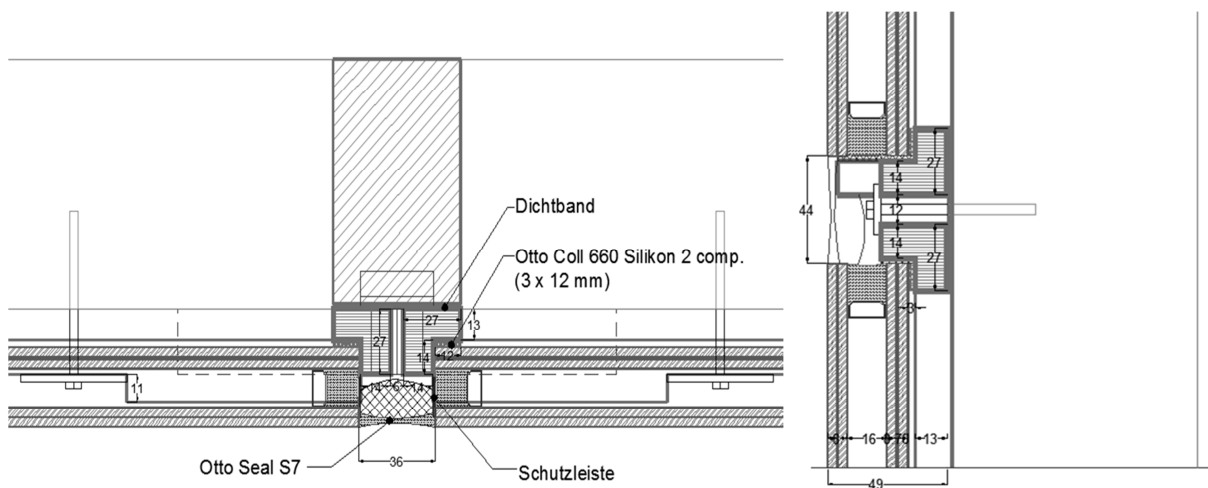


Abb. 62: Elementstoß- Horizontalschnitt (links), Vertikalschnitt (rechts), (Rosliakova, (2012))

Als problematisch kann bei dieser Ausführung die sehr breite Silikonfuge zwischen den zwei Scheibenelementen angesehen werden. Als Alternative zur Nassversiegelung der Fuge kann ein Trocken- Dichtprofil verwendet werden. Dies bietet den Vorteil, dass sowohl eine schnellere Montage gewährleistet werden kann, als auch, bei Austausch der Elemente, die Profile leicht entfernt und wieder verwendet werden können.

In den Eckbereichen wird die Koppelleiste breiter ausgeführt, dies dient bei Versagen der Klebefuge zur Sicherung des Glasscheibeneigengewichts. Die Klotzung wird durch eine Ausfräsung in den Koppelleisten und durch Ausfüllung mit Epoxidharz ausgeführt.

In den Knotenpunkten der Konsolenaufleger ist zu beachten, dass an diesen Stellen die Gefahr, dass sich dreidimensionale Wärmebrücke bilden, sehr hoch ist. Als Alternative zum Metall könnte an dieser Stelle mit neuartigen Werkstoffen, wie Polyamid- Profilen, gearbeitet werden. Diese bieten den Vorteil, dass eine leichtere Bearbeitung (ähnlich dem Holz) gewährleistet werden kann, die

Wärmeleitfähigkeit um ein Vielfaches niedriger ist und somit örtliche Wärmebrücken vermieden werden können.

Die Koppelleiste im Endbereich (Endstoß) kann mit 60mm Breite (je nach Pfosten- Breite) ausgeführt werden und somit gibt es an dieser Stelle keine Probleme bei der Verschraubung der Leisten mit der Unterkonstruktion. Diese breiten Koppelleisten wurden ausreichend am Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau erprobt und können mit Gewissheit eingesetzt werden. Bei den schmalen Leisten hingegen wurden bislang noch keine Versuche durchgeführt, daher sind evtl. vor dem Einsatz in der Baupraxis noch Versuche notwendig.

Übergang Isolierverglasung auf Wärmekollektor- Horizontalschnitt/ Vertikalschnitt

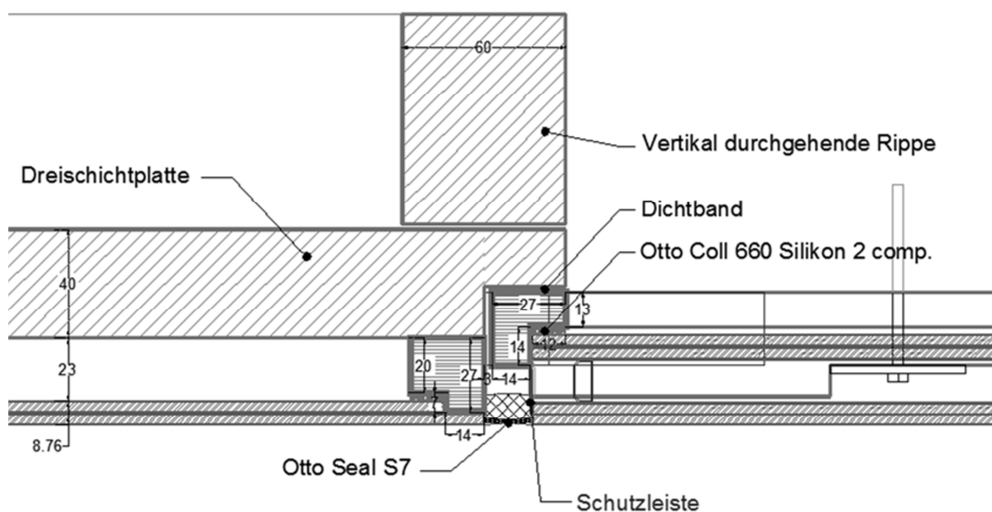


Abb. 63: Detail Isolierverglasung- Wärmekollektor, Horizontalschnitt- Wärmekollektor (links), Vertikalschnitt (rechts), (Rosliakova (2012))

Mit dem System „schmale Koppelleiste mit Konsolenaufleger“ kann in weiterer Folge eine Konstruktion entwickelt werden, bei der, bei mehrgeschossigen HGV-Ausführungen, die Zwischenriegel entfallen können. Dies würde einerseits einen Vorteil in architektonischer Hinsicht bringen und andererseits die Gefahr einer Wärmebrückenbildung minimieren. An der Innenscheibe der Elemente ablaufendes Kondenswasser kann sich somit nicht mehr in den Eckbereichen des Zwischenriegels sammeln und die Konstruktion schädigen.

5.1.2 Ausführung mit schmaler- gezahnter BFU- Koppelleiste

Eine Weiterentwicklung der schmalen Koppelleiste stellt die Ausführung einer verzahnten- schmalen Koppelleiste dar. Diese bietet den Vorteil, dass dadurch Randabstände für die Verschraubung wieder eingehalten werden (mit Vorbohrung, 3*d). Im Bereich der Schubverklebung sind daher keine Klemmplatten mehr erforderlich. In den Ecken, in denen geklotzt wird, muss die Koppelleiste gerade ausgeführt werden, um eine Verklotzung auf beiden Seiten zu ermöglichen. Um die Kraft der Druckdiagonale einleiten zu können, muss, aufgrund der geringen Breite der Koppelleiste, eine Klemmplatte mit der Unterkonstruktion verschraubt werden.

Die oben dargestellten Zeichnungen zeigen die Ansichten der Koppelleistenausführungen für unterschiedliche Elementstöße. Bei Mittelstößen werden, ähnlich der flachen Koppelleiste der HFA, die Leisten gezahnt ausgeführt. Bei den äußeren Elementen, also wo kein weiteres anschließt, kann die Koppelleiste breit ausgeführt werden.

Weiters wird durch Ausbildung einer Stufenfalz- Isolierverglasung die zu versiegelnde Fuge an der Außenscheibe verkleinert.

In Abb. 66 werden die Vertikalschnitte der schmalen- gezahnten Koppelleistenausführung dargestellt. Diese Details entsprechen grundsätzlich der Horizontalschnitte, wobei im Klotzbereich die Klemmplatte aus einem L- Winkel besteht, um gleichzeitig eine Eigengewichtssicherung zu erreichen. Weiters wird angedacht, die Koppelleiste an der oberen Seite nach vorne hin etwas abzuschrägen (ca. 5°). Dadurch kann anfallendes Tauwasser nach vorne abrinnen und bleibt nicht im Eckbereich stehen. Unerlässlich ist eine qualitativ hochwertige Versiegelung oder eine Druckimprägnierung der Leisten.

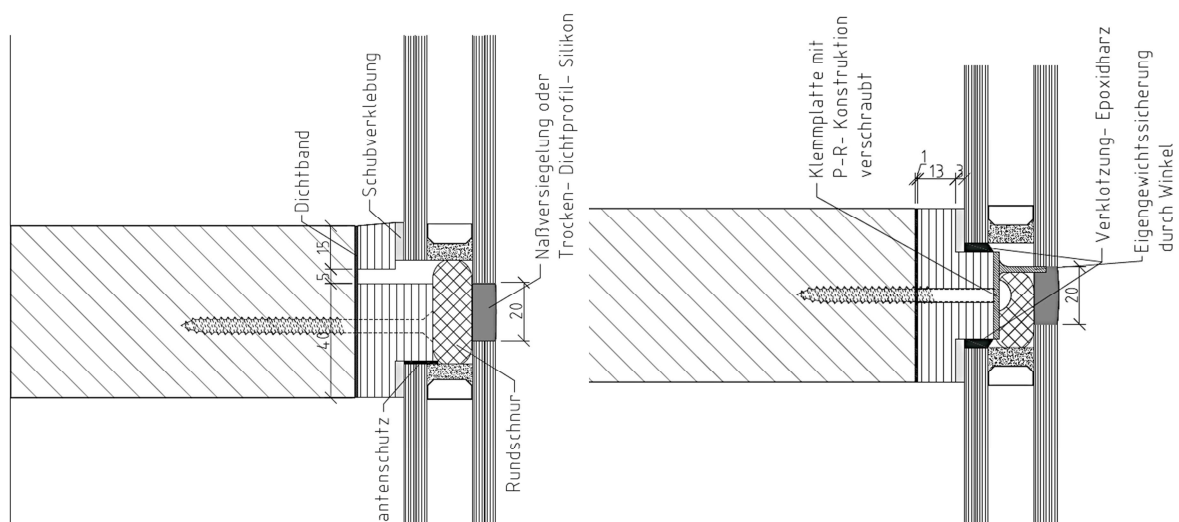


Abb. 66: Vertikalschnitt- gezahnte Koppelleiste, links- Bereich der Schubverklebung, rechts- Klotzbereich

Eine Ausführung der aussteifenden Verglasung mit Einfachglas, welche im Bereich der Loggia angeordnet wird, wird nachfolgend dargebracht:

Um eine geschlossene Glasfläche zu erhalten, werden in den Eckbereichen ESG- Vorsatzschalen aufgeschraubt. Dabei ist für eine Hinterlüftung der ESG- Panele zu sorgen.

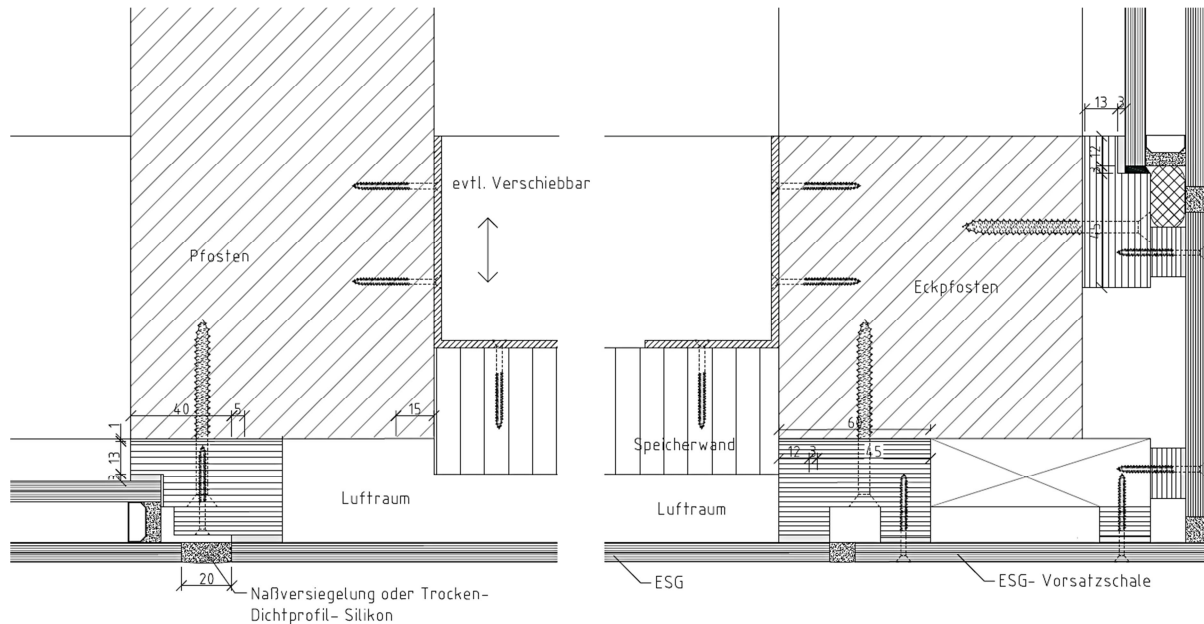


Abb. 69: Horizontalschnitt- Wärmekollektor- Eckpanel

Die Speicherwand des Wärmekollektors wird zwischen den Pfosten durch Winkelprofile befestigt. Werden die Winkel mit einem Langloch ausgeführt, so kann sehr einfach und schnell der Luftzwischenraum verstellt und die Luftzirkulation reguliert werden.

5.2 Baugenehmigung/ Haftung

5.2.1 Allgemein

Es ist immer zu unterscheiden ob ein Bauprodukt national oder international (EU) auf den Markt gebracht wird. Für den EU- weiten Einsatz ist die CE- Kennzeichnung, welche auf Basis harmonisierter europäischer Normen und/ oder europäisch technischen Zulassungen erstellt wird, erforderlich. Diese CE- Kennzeichnung von Bauprodukten soll dazu beitragen, einen freien Handel im EU- Binnenmarkt zu gewährleisten.

Grundsätzlich wird für Bauprodukte in Österreich die Verwendbarkeit durch die Baustoffliste ÖE und der ÖA geregelt.

Baustoffliste ÖA: „Die österreichische Baustoffliste ÖA legt für Bauprodukte, die noch nicht der CE- Kennzeichnung unterliegen, den in Österreich erforderlichen Nachweis der Verwendbarkeit fest. Optisch dokumentiert und damit für den Verwender der Baustoffe kenntlich, wird die Erfüllung dieser Anforderungen mit dem Einbaueichen ÜA, welches an den Produkten in geeigneter Form anzubringen ist. Grundlage für die Anbringung des Einbaueichens ÜA durch den Hersteller ist die Vorlage eines positiven Übereinstimmungszeugnisses bzw. einer Herstellererklärung. Die Baustoffliste ÖA wird vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) als Verordnung herausgegeben.“

(vgl. OIB (14.03.2013))

Baustoffliste ÖE: Diese erfasst Baustoffe, für die bereits europäische technische Regelwerke vorliegen. Durch die ÖE- Baustoffliste, wird die Verwendung CE- gekennzeichneteter- Bauprodukte in Österreich geregelt.

Wird auf nationaler Ebene ein Bauprodukt eingesetzt, so ist zu unterscheiden, ob es sich um ein Europäisch geregeltes, um ein National geregeltes oder um ein ungeregeltes Produkt handelt.

Tab. 9: Bestimmungen für Inverkehrbringen und Verwendbarkeit von Bauprodukten in Österreich, (WKO, 20.04.2013)

	Inverkehrbringen	Verwendbarkeit
Europäisch geregeltes Produkt	CE- Kennzeichen	Verwendbarkeitsbestimmungen in der Baustoffliste ÖE
National geregeltes Produkt	ÜA- Einbaueichen und ÖA- Liste	
Ungeregeltes Produkt	-	

Für Produkte die eine CE- Kennzeichnung haben und in der Baustoffliste ÖE enthalten sind, ist ferner eine Konformitätserklärung des Herstellers bzw. ein Konformitätszertifikat einer Überwachungsstelle notwendig, um diese in Bauwerken einsetzen zu können. Liegen keine europäisch technischen Spezifikationen für ein Bauprodukt vor und ist damit die Erlangung eines CE-Kennzeichens nicht möglich, so können Bauprodukte, welche in der ÖA-Liste eingetragen sein müssen, via eines ÜA- Einbaueichens in Verkehr gebracht werden. Für diese Produkte ist dann eine

Übereinstimmungserklärung des Herstellers oder ein Übereinstimmungszeugnis einer akkreditierten Stelle erforderlich. Eine weitere Möglichkeit stellt die sogenannte Österreichische Technische Zulassung (ÖTZ) dar. Diese besteht aus einem Brauchbarkeitsnachweis und den Verwendungsbestimmungen für das jeweilige Bundesland. (vgl. VÖB, 21.05.2013)

Für Holz-Glas-Verbundkonstruktionen von untergeordneter Bedeutung, aber der Vollständigkeit halber zu erwähnen sei noch die Möglichkeiten (der Inverkehrbringung), dass die jeweilige Landesregierung per Verordnung beschließt, dass keine wesentlichen Anforderungen an das Bauprodukt zu stellen sind.

Nachfolgend wird für die in Tab. 9 aufgelisteten Bauproduktregelungen der Ablauf für das Inverkehrbringen und für die Verwendbarkeit dargestellt.

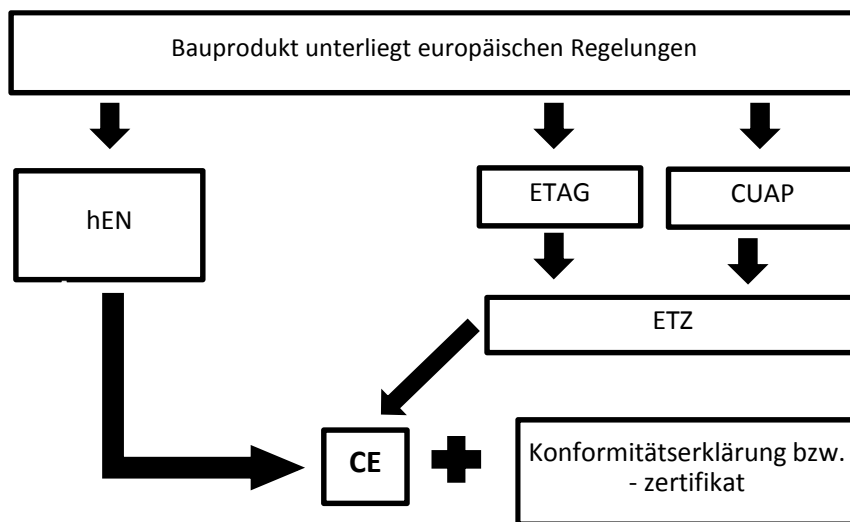


Abb. 70: Inverkehrbringen von Bauprodukten mit CE- Kennzeichnung in Österreich (Proßegger (2010), S.10)

Dabei ist:

hEN: harmonisierte europäische Norm, in dieser sind die Details der CE- Kennzeichnung geregelt und werden von einer europäischen Normenorganisation aufgrund eines erteilten Auftrages von der Kommission erarbeitet. Sie dient als Grundlage für die CE- Kennzeichnung.

ETZ: europäische technische Zulassung, ist eine europäische technische Spezifikation die als Grundlage für die CE- Kennzeichnung verwendet werden kann. Diese wird erstellt, wenn für ein Bauprodukt noch keine hEN existiert.

ETAG: Leitlinien für Europäische technische Zulassungen. Auf Basis einer ETAG kann eine ETZ veröffentlicht werden.

CUAP: einvernehmliche Stellungnahmen der Zulassungsstellen, dienen zur Erreichung einer ETZ falls keine Leitlinien vorliegen

(vgl. OIB (22.03.2013))

Die CE- Kennzeichnung regelt dabei die Brauchbarkeit des Produkts und die Baustoffliste ÖE regelt auf nationaler Ebene die Verwendungszwecke, Klassen und die Verwendungsbestimmungen.

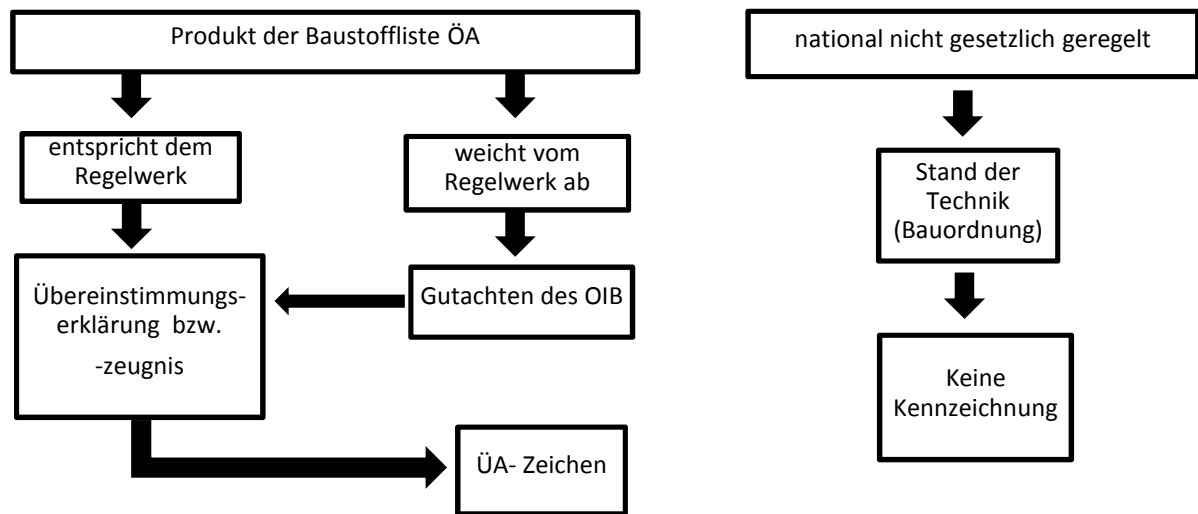


Abb. 71: Inverkehrbringen von Bauprodukten ohne CE- Zeichnung in Österreich (Proßegger, (2010), S.11)

5.2.2 Baugenehmigung für den Zubau- Wintergarten

Geklebte Glasfassaden sind in der Baustoffliste ÖE- enthalten, jedoch ist in Österreich nur die Verwendung der Typen I und III nach ETAG 002 zulässig.

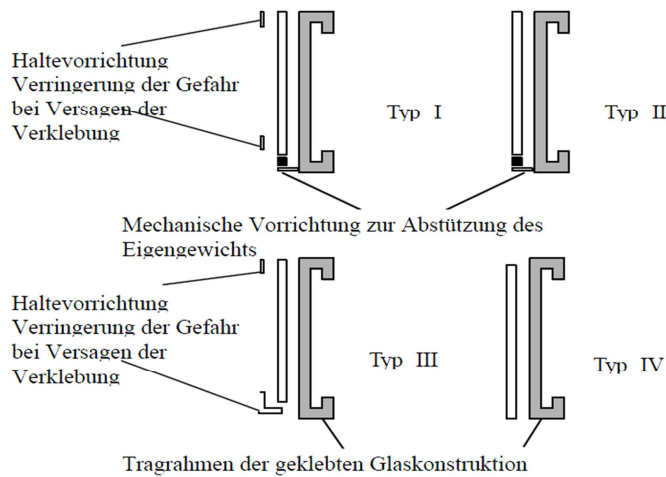


Abb. 72: Typen von SSGS laut ETAG 002 (EOTA, (1998), S.7)

„Typ I: Mechanische Übertragung des Eigengewichts des Füllelements auf den Tragrahmen der Verklebung und von dort auf die tragende Konstruktion. Die Verklebung überträgt alle anderen einwirkenden Lasten. Es werden Haltevorrichtungen verwendet, um die Gefahr im Fall des Versagens der Verklebung zu verringern.“

Typ III: Die Verklebung überträgt alle einwirkenden Lasten, einschließlich des Eigengewichts des Füllelements, auf den Tragrahmen der Verklebung und von dort auf die tragende Konstruktion. Es

werden Haltevorrichtungen verwendet, um die Gefahr im Fall eines Versagens der Verklebung zu verringern.“ (vgl. EOTA (1998), S. 6)

Nach Typ I würde das für die Umsetzung des Wintergartens bedeuteten, dass an der Unterkante aller Glaselemente Verklotzungen für den Eigengewichtsabtrag vorhanden sein und zusätzlich Haltevorrichtungen an der Ober- und Unterkante angebracht werden müssen. Nach Typ III sind lediglich Haltevorrichtungen, jeweils an der Unter- und Oberkante aller Glaselemente, anzubringen, um die ETAG 002 einzuhalten. Die vertikale Sicherung kann zum Beispiel durch L- Winkel erfolgen, die horizontale Sogsicherung der Scheibenelemente durch Klemmprofile. Es besteht aber auch die Möglichkeit von der ETAG abzuweichen, also diese Konstruktion ohne jegliche Haltevorrichtung gegen Versagen der Verklebung und ohne Verklotzung auszuführen. In diesem Fall ist jedoch für jedes Bauwerk eine gesonderte Zulassung der örtlichen Baubehörde erforderlich. Diese prüft im Einzelfall ob eine Baugenehmigung erteilt wird oder ob entsprechende Nachweise oder Prüfzeugnisse vorgelegt werden müssen, die die Einhaltung entsprechender Sicherheitsniveaus darlegt.

Die Haftung für dieses Bauprojekt muss entweder die ausführende Firma übernehmen, es kann aber auch ein Zivilingenieur als Verantwortlicher herangezogen werden. Weiters muss von der zuständigen Firma eine Person beauftragt werden, die die entsprechenden Qualitätskontrollen der Verklebung bei der Produktion und vor allem auch auf der Baustelle übernimmt. Im Fall des Wintergartens in Vösendorf/Süd (Niederösterreich) sei besonders auf den Publikumsverkehr acht zu nehmen, da es sich um ein Musterhaus handelt und daher überdurchschnittlich viele Menschen das Gebäude betreten. Es ist daher besonders darauf zu achten, dass Sicherheitsgläser zum Einsatz kommen (ESG, VSG).

5.3 Aussteifungssysteme und Nachweise

Bei diesem Zubau wird versucht, verschiedene Aussteifungsvarianten durchzuspielen, die aufzeigen sollen, welche Möglichkeiten grundsätzlich zur Verfügung stehen um eine Glasfassade mit HGV-Scheiben auszusteifen, um so einen Vergleich der Systeme zu ermöglichen. Auf eine Stabilisierung der Fassade mit konventioneller Auskreuzung durch Stahlzugbänder, wird aufgrund des Themenschwerpunkts „HGV- Scheiben im statischen Einsatz“ verzichtet. Weiters wird angenommen, dass der Wintergarten in der Dachebene (horizontal) nicht ausgesteift ist und die volle Last von der Glasfassade übernommen werden muss. Die Aussteifung in Richtung der Seitenflächen des Wintergartens wird durch eine Verankerung der Konstruktion mit dem bestehenden Haus gewährleistet. In der Erdgeschoßebene muss aufgrund des bestehenden Erkers die Aussteifung nicht durch HGV- Elemente übernommen werden. Folgende Varianten werden behandelt:

- Aussteifung durch eine reine Schubverklebung
- Aussteifung durch eine geklotzte HGV- Scheibe, wobei für den Eigengewichtsabtrag eine vertikale Verklebung vorhanden ist (L- Leiste aus BFU)
- Aussteifung durch HGV- Scheibe, die umlaufend schubverklebt und geklotzt ist (L- Leiste aus BFU)

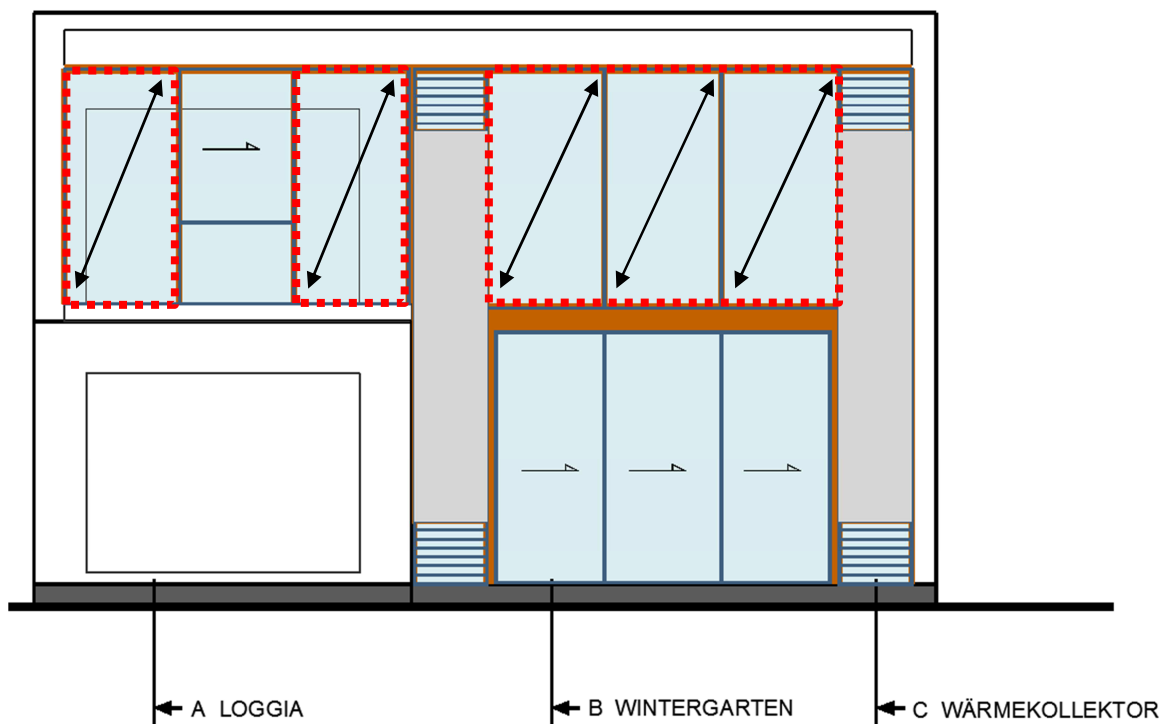


Abb. 73: Aussteifende HGV- Elemente des Wintergartens

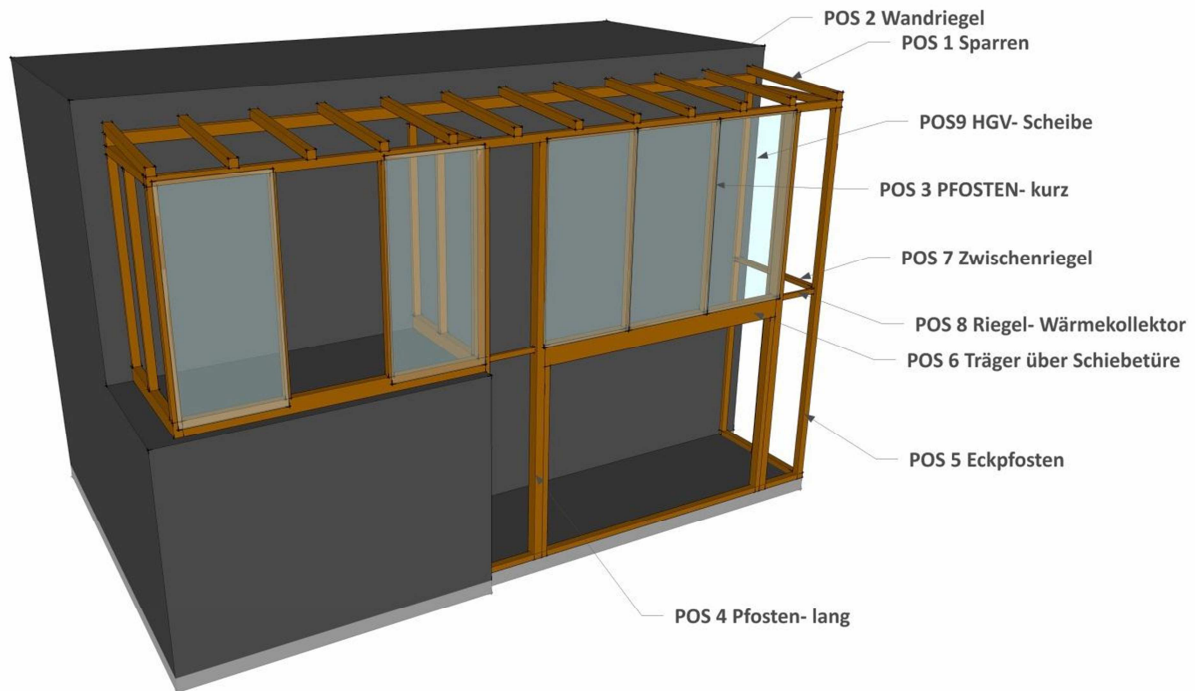
Positionsplan:

Abb. 74: Positionsplan- Wintergartenkonstruktion

Aufgrund des Themenschwerpunkts „HGV- Scheiben als Aussteifung“ werden in dieser Arbeit nur die Berechnungen der Scheiben angeführt. Alle Nachweise, die den konventionellen Holzbau betreffen, werden unabhängig von dieser Arbeit ausgearbeitet.

5.3.1 Lastaufstellung

Schneelastberechnung nach [ÖNORM B 1991-1-3]

- Ort: 2334 Vösendorf/Süd, A = 194 m ü. A.
- Schneelastzone: Z = 2
- Rechenwert für Z: Z_R = 2
- Formbeiwert: μ₁ = 0,8
- Charakteristische Schneelast auf dem Boden:

$$s_k = (0,642 * Z + 0,009) * \left(1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right) = 1,40 \frac{kN}{m^2} \quad (45)$$

- Charakteristische Schneelast auf der Dachkonstruktion

$$s = s_k * \mu = 1,12 \frac{kN}{m^2} \quad (46)$$

- Charakteristische Schneelast normal:

$$Ek = s * \cos(5^\circ) = 1,12 \frac{kN}{m^2} \quad (47)$$

Windlastberechnung nach [ÖNORM B 1991-1-4]

- Seehöhe: siehe Schneelastberechnung
- Abmessungen: $H/B/D = 6/10/2$ m
- Grundwerte der Basisgeschwindigkeit und Basisgeschwindigkeitsdruck (Werte angenommen für Baden bei Wien → nächst gelegene Ortschaft): $v_{b,0} = 25,5$ m/s ; $q_{b,0} = 0,41$ kN/m²
- Geländekategorie: III
- Böengeschwindigkeit:

$$\frac{q_p}{q_{b,0}} = 1,75 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29} = 1,51 \quad (48)$$

$$q_p = q_{b,0} * Faktor = 0,41 * 1,51 = 0,62 \frac{kN}{m^2} \quad (49)$$

- Reibungskräfte können aufgrund der Größe vernachlässigt werden!!
- Anströmung Wand 90° (Wind auf Frontseite): vereinfachte Berechnung da $h/b < 2$

$$w_{e,10} = q_{p(z)} * c_{pe} = 0,62 * -0,45 = -0,28 \frac{kN}{m^2} (Sog) \quad (50)$$

$$w_{e,10} = 0,62 * 0,8 = 0,49 \frac{kN}{m^2} (Druck) \quad (51)$$

- Anströmung Wand 0° (Wind auf Seitenflächen): für die Teilflächen A-B-C wird aufgrund der Abmessungen ein Mittelwert ermittelt:

$$c_{p,e,mittel} = \frac{-1,2 - 0,9}{2} = -1,05 \quad (52)$$

$$w_{e,10} = -1,05 * 0,62 = \pm 0,65 \frac{kN}{m^2} (Sog und Druck) \quad (53)$$

Für weiterführende Berechnungen wird als Winddruck und Windsog aus Sicherheitsgründen und Vereinfachungen **1 kN/m²** (Druck und Sog) für Anströmung 90° sowie auch für 0° angenommen.

Eigengewicht der Konstruktion [ÖNORM B 1991-1-1]

Tab. 10: Charakteristisches Eigengewicht der Konstruktion

Pultdach			
Neigungswinkel $\alpha =$			5°
<u>STÄNDIGE LASTEN, DACHAUFBAU</u>			
Deckung incl. Lattung und Konterlattung			0,60 kN/m ²
Abdichtung bzw. Unterdach			0,05 kN/m ²
Schalung	2,4 cm	x 6 kN/m ³ =	0,14 kN/m ²
Sparren bzw. Dämmung			0,15 kN/m ²
Dämmung, Dampfsperre			0,05 kN/m ²
Unterkonstruktion			0,05 kN/m ²
Gipskarton GKF	1	x 0,15 kN/m ³ =	0,15 kN/m ²
Summe der ständigen Lasten, bezogen auf die Schräge			$\Sigma g_s = 1,19 \text{ kN/m}^2$

Charakteristische Last aus Eigengewicht der Glasscheibe- Doppelisolierverglasung			
Scheibe innen VSG	2 *4mm ESG	x 25 kN/m ³	= 0,20 kN/m ²
Scheibe außen VSG	2 *4mm ESG	x 25 kN/m ³	= 0,20 kN/m ²
Summe der Glasscheibe			$\Sigma g_s = 0,40 \text{ kN/m}^2$

Charakteristische Last aus Eigengewicht der Glasscheibe- Einfachverglasung			
Scheibe VSG	2 *4mm ESG	x 25 kN/m ³	= 0,20 kN/m ²
Summe der Glasscheibe			$\Sigma g_s = 0,20 \text{ kN/m}^2$

Charakteristische Last aus Eigengewicht der Glasscheibe- Wärmekollektor			
Holzwoleplatte (zementgebunden)	5,0 cm	x 6 kN/m ³ =	= 0,30 kN/m ²
Scheibe außen VSG	2 *4mm ESG	x 25 kN/m ³	= 0,20 kN/m ²
Summe der Glasscheibe			$\Sigma g_s = 0,50 \text{ kN/m}^2$

5.3.2 Aussteifung durch HGV- Scheiben mit umlaufender Schubverklebung

Abb. 75 verdeutlicht die Aussteifung der Wintergartenkonstruktion bei einer reinen Schubverklebung der HGV- Elemente für die Aufnahme von Horizontalkräften. Die Horizontalkraft- Ableitung wird je nach Windrichtung dem äußeren Element zugewiesen. In diesem Fall wird jedoch die Horizontalkraft von rechts (roter Pfeil) nicht der äußeren Scheibe zugeordnet, da an dieser Stelle der Wärmekollektor bis nach oben hin durchläuft und dieser keine aussteifende Wirkung hat. Da es bislang keine Untersuchungen zur Verteilung der Kräfte auf mehrere Scheiben, die nebeneinander angeordnet sind, gibt, wird aus Sicherheitsgründen der ersten HGV- Scheibe (in diesem Fall der zweiten) die volle Last zugeteilt. Die Aussteifung in der Erdgeschosebene erfolgt durch eine durchlaufende Druckkomponente zum Erker hin. Zusätzlich muss auch auf die Aufnahme von Sogkräften geachtet werden.

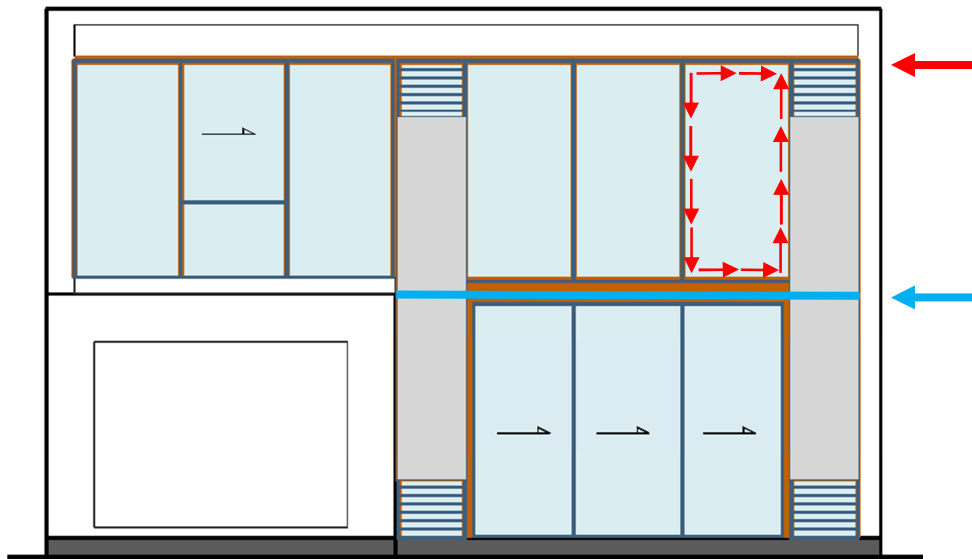


Abb. 75: Aussteifung durch HGV- Elemente

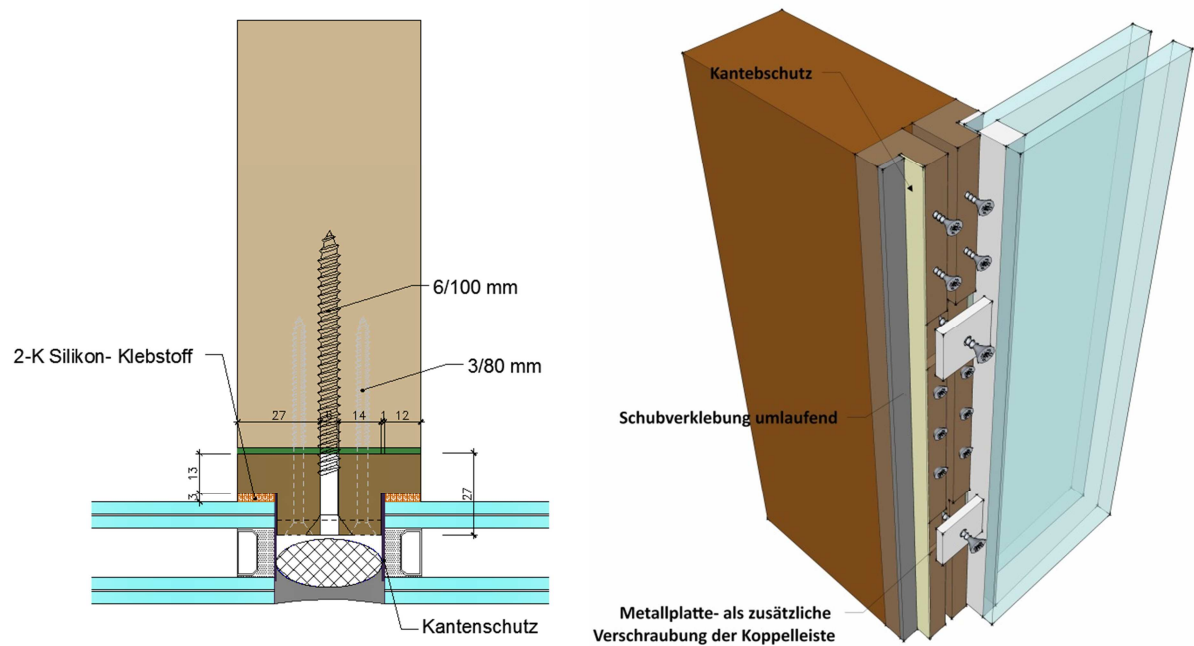


Abb. 76: Elementstoß- Schnitt durch Konstruktion (links), Ansicht der Koppelleiste (rechts)

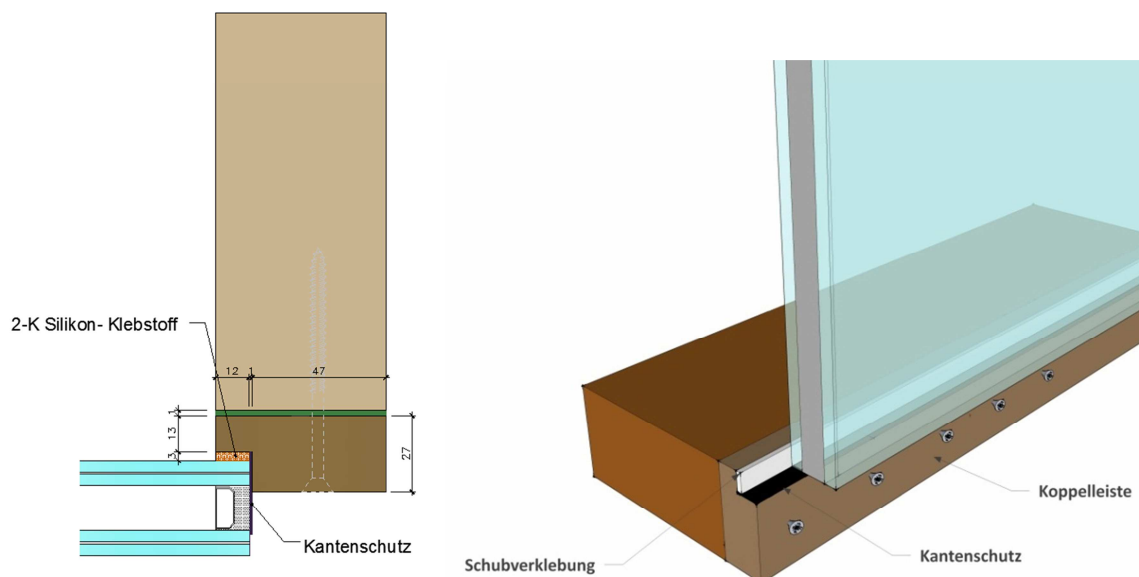


Abb. 77: Element- Enddetail (keine anschließenden Elemente)

Die oben dargestellten Grafiken zeigen die Koppelleisten der schubverklebten Scheibe. Eine Verklotzung in den Eckbereichen besteht in diesem Fall nicht und es wird davon ausgegangen, dass das Glas keinen direkten Kontakt zum Holz hat und somit keine Druckdiagonale ausgebildet wird. Aufgrund der sehr schmalen Koppelleisten ist eine Befestigung direkt durch die Leisten nicht mehr so einfach möglich. Die Verschraubung direkt durch die Koppelleisten dient vorwiegend nur zu Montagezwecken und wird mit Senkkopfschrauben 4/70 mm ausgeführt. Die Übertragung der Schubkraft erfolgt durch eingefräste Metallplättchen, mit einer Verschraubung 6/100 mm (siehe Abb.

76) die alle 30 cm angeordnet wird. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Ausführung mit schmaler Koppelleiste noch nicht durch Versuche validiert worden ist.

Annahmen zu Material und Geometrie:

Hier werden unter anderem auch Angaben angeführt, die zur späteren Berechnung der Verklotzung dienen sollen.

→ Rahmenkonstruktion:

BSH GL 24 h

$$\rho_{BSH} = 380 \text{ kg / m}^3$$

$$b_R = 60 \text{ mm}$$

$$d_R = 140 \text{ mm (Dicke = Tiefe)}$$

$$G_R = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$E_R = 11600 \text{ N/mm}^2$$

$$I_R = d_R * b_R^3 / 12 = 14 * 6^3 / 12 = 252 \text{ cm}^4$$

→ Rahmengelenk:

Stabdübel

$$\varnothing 16 \text{ mm}$$

Güte: S 235

→ Koppelleiste:

Birkenfurniersperrholz

$$\rho_{KL} = 680 \text{ kg/m}^3$$

$$b_{KL} = 12 \text{ mm}$$

$$b_{KL,ges} = 27 \text{ mm (gesamte Koppelleistenbreite)}$$

$$d_{KL} = 13 \text{ mm}$$

$$d_{KL,ges} = 27 \text{ mm (gesamte Koppelleistendicke)}$$

$$E_{KL,12} = 9333 \text{ N/mm}^2 \text{ (für eine Dicke von 12 mm } \cong \text{ Klotzbreite)}$$

$$E_{KL,40} = 8925 \text{ N/mm}^2 \text{ (für eine Dicke von 40 mm = } d_{KL,ges})$$

$$f_{c,||,12} = 27,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (für eine Dicke von 12 mm } \cong \text{ Klotzbreite)}$$

$$f_{c,||,40} = 26,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (für eine Dicke von 40 mm)}$$

$$f_{t,90,40} = 36,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (für eine Dicke von 40 mm)}$$

$$G_{KL} = 185 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{T,KL} = 8 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Quellmaß: 0,01 % / % HF-Änderung – längs und quer

(Das Quellmaß längs und quer der Deckfurniere sei identisch.)

$$\Delta u = 6 \% \text{ (vgl. HFA- Endbericht, Handbuch)}$$

→ Glasscheibe:

Isolierglas (innen: VSG aus 2 * 4 mm ESG; außen: 2 * 4mm ESG)

$$l_G = 1300 \text{ mm}$$

$$h_G = 2100 \text{ mm}$$

$$t_G = 8 \text{ mm}$$

$$t_{G,EG} = 14 \text{ mm}$$

$$f_{k,t} = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{k,c} = 900 \text{ N/mm}^2 \text{ (theoretischer Maximalwert)}$$

$$E_G = 70000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_G = 28000 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu_G = 0,23$$

$$\alpha_{T,G} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\rho_G = 2500 \text{ kg/m}^3$$

→ Verbindungsmittel:

Holzbauschrauben mit teilweise glattem Schaft

Dimension: 3 / 80 mm

Güte: 8.8

$e_{VM} = 60 \text{ mm}$ (Verbindungsmittelabstand in Stabmitte)

$n_{VM} = 3$ (Anzahl der VM im Klotzbereich – verdichtete Anordnung mit einem Schraubenabstand von $e_{VM,c} = 2,5 \text{ cm}$)

→ Schubverklebung:

Silikon

$b_\tau = 12 \text{ mm}$

$d_\tau = 3 \text{ mm}$

$G_\tau = 0,37 \text{ N/mm}^2$ (längs = quer; aus Kleinproben der HFA)

$\tau_{t,k} = 0,6 \text{ N/mm}^2$ (aus Bemessungsbeispiel der HFA)

$\sigma_{t,k} = 0,76 \text{ N/mm}^2$ (aus Bemessungsbeispiel der HFA)

$\epsilon_{\tau,max} = 232 \text{ } \%$ (aus Kleinprobenversuchen der HFA)

$T_{\tau,0} = 20^\circ\text{C}$ (Herstelltemperatur der Schubverklebung)

→ Verklotzung:

Epoxidharz

$b_{c,G} = 8 \text{ mm}$ (Verklotzungsbreite glasseitig)

$b_{c,H} = 11 \text{ mm}$ (Verklotzungsbreite holzseitig)

$d_c = 3 \text{ mm}$

$e_c = 75 \text{ mm}$ (Abstand: Klotzmitte bis Glasecke)

$l_{c,v} = 50 \text{ mm}$ (Länge des vertikal wirkenden Klotzes)

$l_{c,h} = 50 \text{ mm}$ (Länge des horizontal wirkenden Klotzes)

$E_c = 5700 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{c,k} = 86 \text{ N/mm}^2$ (Übergang elastisch-plastisch)

$\epsilon_{c,max} = \sigma_{c,k} / E_c = 86 \text{ N/mm}^2 / 5700 \text{ N/mm}^2 = 0,0151 = 1,51 \text{ } \%$

Annahmen zu Modifikations-, Teilsicherheits- und Verformungsbeiwerten:

→ Schubverklebung:

Silikon

$k_{\tau,mod,kurz} = 0,9$

$k_{\tau,mod,lang} = 0,2$

$\gamma_{\tau,M} = 6,0$

$k_{\tau,def,0} = 0,00$

$k_{\tau,def,1} = 1,00$

$k_{\tau,def,2} = 1,60$

→ Verklotzung:

Epoxidharz

$k_{c,mod,kurz} = 0,9$

$k_{c,mod,lang} = 0,2$

$$\gamma_{c,M} = 6,0$$

$$k_{c,def,0} = 0,00$$

$$k_{c,def,1} = 0,70 \text{ gemäß (Bucak, 2009)}$$

$$k_{c,def,2} = 1,55 \text{ gemäß (Bucak, 2009)}$$

(Hochhauser, W., et.al (2011), S. 298 ff.)

Einwirkungen:

$$H_{k,kurz} = 1000 \text{ N} * 1,52 \text{ m}^2 = 1520 \text{ N}$$

$$g_k = 1,19 \text{ kN/m}^2 \text{ (Flächenlast der darüber liegenden Dachkonstruktion)}$$

$$q_k = 1,12 \text{ kN/m}^2 \text{ (Schnee)}$$

$$b_E = 1,0 \text{ m (Einflussbreite)}$$

$$w_k = 1 \text{ KN/m}^2$$

$$T_{max} = +60^\circ\text{C}$$

$$T_{min} = -20^\circ\text{C}$$

Folgende Berechnungsformeln wurden aus dem Endbericht „ Holz- Glas- Verbundkonstruktionen, State of the Art, Forschungsbericht, Studentische Arbeiten“ von Hochhauser, Winter und Kreher (2011, S. 301 ff.) entnommen.

Ermittlung der (Design-) Lasten:

Kurzfristige Bemessungshorizontallast:

$$H_{d,kurz} = \gamma_Q * H_{k,kurz} = 1,5 * 1520 = 2280 \text{ N} \quad (54)$$

Vertikale charakteristische Linienlast der HGV-Scheibe:

$$p_k = (g_k + p_k) * b_E = (1,19 + 1,12) * 1,0 = 2,31 \text{ kN/m} \quad (55)$$

Vertikale Bemessungslinienlast der HGV-Scheibe:

$$p_d = (\gamma_G * g_k + \gamma_Q * q_k) * b_E = (1,35 * 1,19 + 1,5 * 1,12) * 1,0 = 3,287 \text{ kN/m} \quad (56)$$

Langfristige charakteristische Horizontallast (Schrägstellung nach (39) aus DIN 1052):

$$H_{k,lang} = p_k * \frac{l_G}{70} = 2,31 * \frac{1,30 \text{ m}}{70} = 0,0429 \text{ kN} = 42,9 \text{ N} \quad (57)$$

Langfristige Bemessungshorizontallast (Schrägstellung nach (39) aus DIN 1052):

$$H_{d,lang} = p_d * \frac{l_G}{70} = 3,287 * \frac{1,30 \text{ m}}{70} = 0,0610 \text{ kN} = 61,04 \text{ N} \quad (58)$$

Charakteristische Last aus Eigengewicht der Glasscheibe:

$$V_{k,lang} = \rho_G * t_{G,EG} * l * h = 25 * 10^{-6} * 16 * 1300 * 2600 \cong 1352 \text{ N} \quad (59)$$

Designlast aus Eigengewicht der Glasscheibe:

$$V_{d,lang} = \gamma_G * V_{k,lang} = 1,35 * 1352 \cong 1825 \text{ N} \quad (60)$$

Thermische Beanspruchung:

$$\Delta T_1 = T_{max} - T_{\tau,0} = 60 - 20 = 40^\circ K \quad (61)$$

$$\Delta T_2 = T_{min} - T_{\tau,0} = -20 - 20 = -40^\circ K \quad (62)$$

$$\Delta T = \max (|\Delta T_1| \vee |\Delta T_2|) = \max (|40| \vee |-40|) = 40^\circ K \quad (63)$$

Windlast:

$$W_d = (\gamma_Q * w_k) * l_G * h_G = (1,5 * 1) * 1,3 * 2,6 = 5,07 \text{ kN} \quad (64)$$

1) Systemsteifigkeiten für kurzfristige Lasteinwirkung:

Der Bemessungswert für das maßgebende Gebrauchstauglichkeitskriterium C_d wird in Anlehnung an die DIN 1052 mit einer Kopfverschiebung von

$$C_{d,Scheibe} = \frac{H}{500} = \frac{2600}{500} = 5,2 \text{ mm} \quad (65)$$

festgelegt. Diese Berechnungen wurden bereits im Kapitel 4.2.1 exemplarisch dargestellt und werden daher für dieses Kapitel nicht wieder ausführlich behandelt sondern mit Excel durchgeführt und lediglich die Berechnungsergebnisse angeführt.

Tab. 11: Berechnung Wandsteifigkeit für eine reine Schubverklebung- kurzfristige Lasteinwirkung

Schubverklebung:	$C_{\tau,l} =$	0,148	[kN/cm ²]
Koppelleiste:	$C_{KL,l} =$	38,423	[kN/cm ²]
Glasverzerrung:	$C_{G,\gamma} =$	51,692	[kN/cm ²]
Verbindungsmittel:	$C_{VM,l} =$	2,53	[kN/cm ²]
Rahmen:	$C_{R,l} =$	30,857	[kN/cm ²]
Gesamtschubfedersteifigkeit:	$C_{ges} =$	0,138	[kN/cm²]
Äquivalenter Gesamtschubmodul:	$G_{\ddot{a}q,ges} =$	0,346	[N/mm ²]

ERGEBNISSE DES FEDERMODELLS

nach Kreuzinger / Niedermaier:

Schubsteifigkeit längs:	$k_u =$	0,138	[kN/cm ²]
Schubsteifigkeit quer:	$k_w =$	0,138	[kN/cm ²]
SYSTEMSTEIFIGKEIT SCHUB:	$K_{\tau} =$	3,885	[kN/cm]
Lastanteil der Schubverklebung:	$H_{\tau} =$	1,632	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	1,632	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_{\tau} =$	388,48	[N/mm]

Klebstoffbeanspruchung in der Schubfuge bei einer Kopfverschiebung von 5,2 mm:

τ :

$$\tau = \frac{H_{\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{l}{3 * h}} = \frac{1632}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{1300}{3 * 2600}} = 0,08967 \text{ N/mm}^2 \quad (66)$$

$$u_{\text{lokal}} = \frac{u_{\text{global}} * l * (h^2 + 6 * h * l + l^2)}{4 * (h^3 + 3 * h^2 * l + 3 * h * l^2 + l^3)} = \frac{u_{\text{global}} * 1,30 * (2,6^2 + 6 * 2,6 * 1,3 + 1,3^2)}{4 * (2,6^3 + 3 * 2,6^2 * 1,3 + 3 * 2,6 * 1,3^2 + 1,3^3)} = \frac{37,35}{237,3} * u_{\text{global}} \quad (67)$$

u_{lokal} :

$$u_{\text{lokal}} = \frac{37,4}{237} * u_{\text{global}} = \frac{37,4}{237,3} * 5,2 \text{ mm} = 0,82 \text{ mm}$$

(Herleitung u_{lokal} vgl. Forschungsendbericht TU- Wien (2011), S.237)

2) Systemsteifigkeiten für langfristige Lasteinwirkung:

Um das zeitabhängige Materialverhalten der Bauteilkomponenten für langfristige Lasteinwirkungen zu berücksichtigen, müssen für Berechnungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit die in Punkt 1 ermittelten Federsteifigkeiten durch

$$C_{i,\infty} = \frac{C_{i,0}}{1 + k_{i,\text{def}}} \quad (69)$$

abgemindert werden. Für Berechnungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergibt sich die Formel:

$$C_{i,\infty} = \frac{C_{i,0}}{1 + \psi_2 * k_{i,\text{def}}} \quad (70)$$

Zur Vereinfachung wird der Beiwert ψ_2 nicht berücksichtigt. Somit ergeben sich für die abgeminderten Federsteifigkeiten, für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und den Grenzzustand der Tragfähigkeit identische Berechnungen.

Folgende Deformationsbeiwerte werden der nachfolgenden Berechnung zugrunde gelegt:

- ➔ Silikon: $k_{\tau,\text{def},2} = 1,60$
- ➔ Epoxidharz: $k_{c,\text{def},2} = 1,55$
- ➔ Birkenfurniersperrholz: $k_{\text{KL},\text{def}} = 0,6$ (für Nutzungsklasse 1 nach ÖNORM EN 1995-1-1)
- ➔ Brettschichtholz: $k_{\text{R},\text{def}} = 0,6$ (für Nutzungsklasse 1 nach ÖNORM EN 1995-1-1)
- ➔ Verschraubung: $k_{\text{VM},\text{def}} = 2 * 0,6 = 1,2$ (aus 2.3.2.2 (3); ÖNORM EN 1995-1-1)
- ➔ Glas: $k_{\text{G},\text{def}} = 0,0$

(Hochhauser, et.al (2011), S. 309 ff.)

Tab. 12: Federsteifigkeiten für langfristige Belastung- reine Schubverklebung

Schubverklebung:	$C_{\tau,l,\infty} =$	0,057	[kN/cm ²]
Koppelleiste:	$C_{KL,l,\infty} =$	24,014	[kN/cm ²]
Glasverzerrung:	$C_{G,v,\infty} =$	51,692	[kN/cm ²]
Verbindungsmittel:	$C_{VM,l,\infty} =$	1,150	[kN/cm ²]
Rahmen:	$C_{R,l,\infty} =$	22,500	[kN/cm ²]
Gesamtschubfedersteifigkeit:	$C_{ges,\infty} =$	0,054	[kN/cm²]
Äquivalenter Gesamtschubmodul:	$G_{äq,ges,\infty} =$	0,135	[N/mm ²]

ERGEBNISSE DES FEDERMODELLS nach			
<u>Kreuzinger / Niedermaier:</u>			
Schubsteifigkeit längs:	$k_{u,\infty} =$	0,054	[kN/cm ²]
Schubsteifigkeit quer:	$k_{w,\infty} =$	0,054	[kN/cm ²]
SYSTEMSTEIFIGKEIT SCHUB:	$K_{\tau,\infty} =$	1,515	[kN/cm]
Lastanteil der Schubverklebung:	$H_{\tau,\infty} =$	0,788	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H_{\infty} =$	0,788	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_{\tau,\infty} + K_{c,\infty} =$	151,47	[N/mm]

SCHUBVERKLEBUNGSNACHWEISE:Tragsicherheitsnachweis der Schubverklebung für Dauerlast:

$$R_{d,lang,\tau} = \frac{k_{\tau,mod,lang} * \tau_k}{\gamma_{\tau,M}} = \frac{0,2 * 0,6}{6} = 0,02 \text{ N/mm}^2 \quad (71)$$

$$S_{d,Schubfeld,lang} = \frac{H_{d,lang,\tau}}{l * b_{\tau}} = \frac{61,04}{1300 * 12} = 0,0039 \text{ N/mm}^2 \quad (72)$$

(maximale Klebstoffspannung in der Glasecke)

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = \frac{V_{d,lang,\tau}}{2 * h * b_{\tau}} = \frac{1825,2}{2 * 2600 * 12} = 0,0293 \text{ N/mm}^2 \quad (73)$$

$$S_{d,lang,\tau} = S_{d,Schubfeld,lang} + S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,0039 + 0,0293 = 0,033 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,lang,\tau}}{R_{d,lang,\tau}} = \frac{0,033}{0,02} = 1,66 \geq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Tragsicherheitsnachweis der Schubverklebung für Gesamtlast:

$$R_{d,kurz,\tau} = \frac{k_{\tau,mod,kurz} * \tau_k}{\gamma_{\tau,M}} = \frac{0,9 * 0,6}{6} = 0,09 \text{ N/mm}^2 \quad (74)$$

$$S_{d,kurz,\tau} = \frac{H_{d,kurz,\tau}}{l * b_{\tau}} = \frac{2280}{1300 * 12} = 0,146 \text{ N/mm}^2 \quad (75)$$

(maximale Klebstoffspannung in der Glasecke)

$$\Delta l_{max,temp} = (\alpha_{T,G} - \alpha_{T,KL}) * \Delta T * \frac{h}{2} = (9 - 8) * 10^{-6} * 40 * \frac{2600}{2} = 0,052 \text{ mm} \quad (76)$$

$$\Delta l_{max,HF} = \text{Quellmaß} * \Delta u * \frac{h}{2} = \left(\frac{0,01}{100}\right) * 6 * \frac{2600}{2} = 0,78 \text{ mm} \quad (77)$$

$$\Delta l_0 = \Delta l_{max,temp} + \Delta l_{max,HF} = 0,052 + 0,78 = 0,832 \text{ mm} \quad (78)$$

$$\begin{aligned} \Delta l_{VB} &= k_{VB} * \Delta l_0 \\ &= \frac{l_0}{\left(\frac{100000}{\gamma_{VB}}\right)} \\ &+ \frac{\frac{E_{KL} * A_{KL}}{l_0}}{\frac{(E_{KL} * A_{KL})}{l_0} + \frac{1}{3} * \left(\frac{1}{\left(\frac{E_G * A_G}{l_0}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{G_{\tau} * b_{\tau} * l_0}{d_{\tau}}\right)}\right)^{-1} + \frac{1}{3} * \left(\frac{1}{\left(\frac{E_P * A_P}{l_0}\right)} + \frac{1}{(n * K_{ser})}\right)^{-1}} * \Delta l_0 \\ &= \frac{130}{\left(\frac{100000}{3}\right)} + \frac{\frac{892,5 * 5,47}{130}}{\left(\frac{892,5 * 5,47}{130} + \frac{1}{3} * \left(\frac{1}{\left(\frac{7000 * 26}{130}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{0,037 * 12 * 130}{3}\right)}\right)^{-1} + \right.} * 0,0832 \\ &\quad \left. \frac{1}{3} * \left(\frac{1}{\left(\frac{1160 * 60}{130}\right)} + \frac{1}{(22 * 14,95)}\right)^{-1}\right) \\ &= 0,058 \text{ cm} \end{aligned} \quad (79)$$

Berechnung der abgeminderten Längenänderung infolge Verbundwirkung nach Hochhauser ((2011), S. 119)

$$\gamma = \frac{\Delta l_{VB}}{d_{\tau}} = \frac{0,583}{3} = 0,194 \quad (80)$$

$$S_{d,Zwang,\tau} = \gamma * G_{\ddot{a}q} = 0,194 * 0,346 = 0,0672 \text{ N/mm}^2 \quad (81)$$

$$S_{d,Gesamt,\tau} = S_{d,lang,\tau} + S_{d,kurz,\tau} + S_{d,Zwang,\tau} = 0,033 + 0,146 + 0,0672 = 0,2462 \text{ N/mm}^2 \quad (82)$$

$$R_{d,t} = \frac{k_{\tau,mod,kurz} * \sigma_{t,k}}{\gamma_{\tau,M}} = \frac{0,9 * 0,76}{6} = 0,114 \text{ N/mm}^2 \quad (83)$$

$$S_{d,t} = \frac{W_d}{b_{\tau} * (2 * h + 2 * l)} = \frac{5070}{12 * (2 * 2600 + 2 * 1300)} = 0,542 \text{ N/mm}^2 \quad (84)$$

$\frac{S_{d,Gesamt,\tau}}{R_{d,kurz,\tau}} + \frac{S_{d,t}}{R_{d,t}} = \frac{0,2462}{0,09} + \frac{0,542}{0,114} = 7,49 \geq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$
--

Kopfverschiebung infolge Dauerlast für Schubverklebung:

$$\begin{aligned}
 u_{Kopf,\tau,lang} &= \frac{2 * H_{k,lang,\tau}}{k_{u,lang} * l} * \left(\frac{1}{1 + \frac{k_{w,lang}}{k_{u,lang}} * \frac{h}{3 * l}} + \frac{\frac{h}{l}}{1 + \frac{k_{w,lang}}{k_{u,lang}} * \frac{l}{3 * h}} \right) \\
 &= \frac{2 * 42,9}{0,55 * 1300} * \left(\frac{1}{1 + \frac{0,55}{0,55} * \frac{2600}{3 * 1300}} + \frac{\frac{2600}{1300}}{1 + \frac{0,55}{0,55} * \frac{1300}{3 * 2600}} \right) = \\
 &0,16 \text{ mm} \leq 5,2 \text{ mm Nachweis erfüllt!}
 \end{aligned} \tag{85}$$

Kopfverschiebung infolge kurzfristiger Last für Schubverklebung:

$$\begin{aligned}
 u_{Kopf,\tau,kurz} &= \frac{2 * H_{k,kurz,\tau}}{k_u * l} * \left(\frac{1}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{h}{3 * l}} + \frac{\frac{h}{l}}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{l}{3 * h}} \right) \\
 &= \frac{2 * 1520}{1,38 * 1300} * \left(\frac{1}{1 + \frac{1,38}{1,38} * \frac{2600}{3 * 1300}} + \frac{\frac{2600}{1300}}{1 + \frac{1,38}{1,38} * \frac{1300}{3 * 2600}} \right) = \\
 &2,2 \text{ mm} \leq 5,2 \text{ mm Nachweis erfüllt!}
 \end{aligned} \tag{86}$$

Klebstoffverformung infolge Dauerlast für Schubverklebung:

$$\varepsilon_{\tau,max} = \gamma_{max} = 232 \% \tag{87}$$

$$u_{Klebung,zul} = \gamma_{max} * d_{\tau} = 232 \% * 3 = 2,32 * 3 = 6,96 \text{ mm} \tag{88}$$

$$\tau_{k,lang} = \frac{H_{k,lang,\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{l}{3 * h}} = \frac{42,9}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{1300}{3 * 2600}} = 0,0024 \text{ N/mm}^2 \tag{89}$$

$$\tau_{k,EG-Abtrag,lang} = \frac{V_{k,lang,\tau}}{2 * h * b_{\tau}} = \frac{1352}{2 * 2600 * 12} = 0,0217 \text{ N/mm}^2 \tag{90}$$

$$\begin{aligned}
 u_{Klebung,inst} &= \frac{\tau_{k,lang} + \tau_{k,EG-Abtrag,lang}}{G_{\tau}} * d_{\tau} = \frac{0,0024 + 0,0217}{0,37} * 3 = \\
 &0,195 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{91}$$

$$u_{Klebung,fin} = u_{Klebung,lang} = u_{Klebung,inst} * (1 + k_{\tau,def,2}) = 0,195 * (1 + 1,6) = 0,507 \text{ mm} \tag{92}$$

$\frac{u_{Klebung,lang}}{u_{Klebung,zul}} = \frac{0,507}{6,96} = 0,073 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Klebstoffverformung infolge kurzfristiger Last für Schubverklebung:

$$\tau_{k,kurz} = \frac{H_{k,kurz,\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{l}{3 * h}} = \frac{1520}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{1300}{3 * 2600}} = 0,0835 \text{ N/mm}^2 \quad (93)$$

$$u_{Klebung} = \frac{\tau_{k,kurz}}{G_{\tau}} * d_{\tau} = \frac{0,0835}{0,37} * 3 = 0,677 \text{ mm} \quad (94)$$

$$\frac{u_{Klebung}}{u_{Klebung,zul}} = \frac{0,677}{6,96} = 0,097 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Klebstoffverformung infolge Gesamtlast für Schubverklebung:

$$u_{Klebung,gesamt} = u_{Klebung,lang} + u_{Klebung} = 0,507 + 0,677 = 1,184 \text{ mm} \quad (95)$$

$$\frac{u_{Klebung,gesamt}}{u_{Klebung,zul}} = \frac{1,184}{6,96} = 0,17 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

GLASNACHWEISE:

Glasnachweise – Nachweis der Zugspannungen infolge Dauerlast:

$$R_{d,lang,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,lang} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2$$

(in Anlehnung an ÖNORM B 3716-1)

$$S_{d,lang,t,H} = \frac{2 * H_{d,lang,\tau}}{l * b_{\tau}} = \frac{2 * 61,04}{1300 * 12} = 0,0078 \text{ N/mm}^2 \quad (97)$$

$$\frac{S_{d,lang,t,H}}{R_{d,lang,Scheibe,t}} = \frac{0,0078}{64} = 0,00012 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Glasnachweise – Nachweis der Zugspannungen infolge Gesamtlast:

$$R_{d,kurz,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (98)$$

$$S_{dt} = S_{d,kurz,t,H} = \frac{2 * H_{d,kurz,\tau}}{l * b_{\tau}} = \frac{2 * 2280}{1300 * 12} = 0,292 \text{ N/mm}^2 \quad (99)$$

$$R_{d,kurz,Platte,BZG} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 1,0}{1,5} = 80 \text{ N/mm}^2 \quad (100)$$

$$p_d = \frac{W_d}{l * h} = \frac{5070}{1300 * 2600} = 0,0015 \text{ N/mm}^2 \quad (101)$$

Die Last infolge isochoren Drucks, sowie die Koppelung beider Scheiben durch den Scheibenzwischenraum wurden vernachlässigt, da durchgeführte Berechnungen in Kapitel 7.3 nach

ÖNORM B 3716-1 eine maximale Belastung von 0,67 kN/m² ergeben. Die angenommene Windbelastung von 1 kN/m² liegt daher auf der sicheren Seite.

$$S_{d,Wind,BZG} = \frac{p_d * \varphi_y * \left(\frac{l}{2}\right)^2}{d^2} = \frac{0,0015 * 2,44 * \left(\frac{1300}{2}\right)^2}{5,04^2} = 60,876 \text{ N/mm}^2 \quad (102)$$

Für vordefinierte Scheibengeometrien kann der Faktor φ aus (Meyer zur Capellen (1974), S. 435). Für $h/l = 2$ ist der Wert 2,44 zu verwenden.

$\frac{S_{d,t}}{R_{d,kurz,Scheibe,t}} + \frac{S_{d,Wind,BZG}}{R_{d,kurz,Platte,BZG}} = \frac{0,292}{64} + \frac{60,876}{80} = 0,77 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Glasnachweise – Beulnachweis unter Interaktion zwischen Scheibenbeanspruchung infolge Gesamtlast und Plattenbeanspruchung zufolge Windbeanspruchung:

$$S_{d,Wind,BZG} = \frac{W_d}{l * h} = \frac{5070}{1300 * 2600} = 0,0015 \text{ N/mm}^2 \quad (103)$$

$$R_{d,kurz,Platte,BZG} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 1,0}{1,5} = 80 \text{ N/mm}^2 \quad (104)$$

$$R_{d,Wind,BZG} = \frac{R_{d,kurz,Platte,BZG} * d^2}{\varphi_y * \left(\frac{l}{2}\right)^2} = \frac{80 * 5,04^2}{2,44 * \left(\frac{1300}{2}\right)^2} = 0,001971 \text{ N/mm}^2 \quad (105)$$

Der Faktor für teilweisen Verbund f_{tv} für Verbundsicherheitsglas (VSG) aus zweimal 4 mm dicken Einscheibensicherheitsglas (ESG) und einer PVB-Foliendicke 0,76 mm wird nach Hochhauser (2011, S. 92) berechnet.

$$\begin{aligned} f_{tv} &= \frac{\left(\frac{D_1 + D_2}{D}\right) * \left(\left(\frac{l}{h}\right)^2 + 1\right) + \frac{A * l^2}{D_s * \pi^2}}{\left(\left(\frac{l}{h}\right)^2 + 1\right) + \frac{A * l^2}{D_s * \pi^2}} \\ &= \frac{\left(\frac{394186 + 394186}{4137610,25}\right) * \left(\left(\frac{1300}{2600}\right)^2 + 1\right) + \frac{11,93 * 1300^2}{3349238,73 * \pi^2}}{\left(\left(\frac{1300}{2600}\right)^2 + 1\right) + \frac{11,93 * 1300^2}{3349238,73 * \pi^2}} = \\ &\quad 0,4559 \end{aligned} \quad (106)$$

Die Werte A, D₁, D₂, D und D_s sind entnommen aus Hochhauser (2011, S. 92)

$$\begin{aligned} \tau_{zul} &= 0,8 * \tau_{krit} = 0,8 * \kappa * f_{tv} * E_G * \left(\frac{t_G}{l}\right)^2 = 0,8 * 4,285 * 0,4559 * 70000 * \left(\frac{8}{1250}\right)^2 \\ &= 4,48 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (107)$$

(τ_{zul} und τ_{krit} nach (Ermanni, (2006), S. 212-214))

$$S_{d,\tau} = \frac{H_{d,kurz,\tau} + H_{d,lang,\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{l}{3 * h}} = \frac{2280 + 61,04}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{1,48}{1,48} * \frac{1300}{3 * 2600}}$$

$$= 0,124 \text{ N/mm}^2 \quad (108)$$

$$\frac{S_{d,Wind,BZG}}{R_{d,Wind,BZG}} + \frac{S_{d,\tau}}{\tau_{zul}} = \frac{0,0015 \text{ N/mm}^2}{0,001971 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,124 \text{ N/mm}^2}{4,48 \text{ N/mm}^2} = 0,79 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

KOPPELLEISTENNACHWEISE:

Koppelleistennachweise – Nachweis des Abscherwiderstandes der Koppelleiste infolge Dauerlast:

Der charakteristische Abscherwiderstand normal zur Faserrichtung wird an dieser Stelle als Kleinstwert mit $\tau_{c,KL,AS,\perp} = 1,0 \text{ N/mm}^2$ angenommen. Die Klasse der Lasteinwirkungsdauer wird mit „ständige Einwirkung“ gewählt und mit der Nutzungsklasse 2 kombiniert. Daraus ergibt sich ein Modifikationsbeiwert entsprechend ÖNORM EN 1995-1-1 von $k_{mod} = 0,6$. (vgl. Hochhauser et. al., (2011), S. 331/332)

$$R_{d,KL,Abscheren,lang} = \frac{k_{mod} * \tau_{c,KL,AS,\perp}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,6 * 1,0}{1,2} = 0,5 \text{ N/mm}^2 \quad (109)$$

$$S_{d,lang,\tau} = \frac{H_{d,lang,\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{k_{w,lang}}{k_{u,lang}} * \frac{l}{3 * h}} = \frac{61,04}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{0,54}{0,54} * \frac{1300}{3 * 2600}} =$$

$$0,00335 \text{ N/mm}^2 \quad (110)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = \frac{V_{d,lang,\tau}}{2 * h * b_{\tau}} = \frac{1825,2}{2 * 2600 * 12} = 0,0293 \text{ N/mm}^2 \quad (111)$$

$$S_{d,KL,Abscheren,lang} = S_{d,lang,\tau} + S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,00335 + 0,0293 =$$

$$0,0326 \text{ N/mm}^2 \quad (112)$$

$$\frac{S_{d,KL,Abscheren,lang}}{R_{d,KL,Abscheren,lang}} = \frac{0,0326}{0,5} = 0,065 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis des Abscherwiderstandes der Koppelleiste infolge Gesamtlast:

Die Klasse der Lasteinwirkungsdauer wird mit „kurze Einwirkung“ gewählt und mit der Nutzungsklasse 2 kombiniert. Daraus ergibt sich ein Modifikationsbeiwert von $k_{mod} = 0,9$.

$$R_{d,KL,Abscheren,kurz} = \frac{k_{mod} * \tau_{c,KL,AS,\perp}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,9 * 1,0}{1,2} = 0,75 \text{ N/mm}^2 \quad (113)$$

$$S_{d,kurz,\tau} = \frac{H_{d,kurz,\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{l}{3 * h}} = \frac{2280}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{1,38}{1,38} * \frac{1300}{3 * 2600}} =$$

$$0,1253 \text{ N/mm}^2 \quad (114)$$

$$S_{d,KL,Abscheren,Gesamt} = S_{d,KL,Abscheren,lang} + S_{d,kurz,\tau} = 0,0326 + 0,1253 = 0,1578 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,KL,Abscheren,Gesamt}}{R_{d,KL,Abscheren,kurz}} = \frac{0,1578}{0,75} = 0,21 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Druckbeanspruchung längs der Koppelleiste infolge Dauerlast:

$$R_{d,KL,Druck_längs,lang} = \frac{k_{KL,elast.} * k_{mod} * f_{c,II,40}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,5 * 0,6 * 26,5}{1,2} = 6,625 \text{ N/mm}^2 \quad (115)$$

$$S_{d,KL,Druck_längs,lang} = H_{d,lang,\tau} * \frac{h}{l} * \frac{1}{A_{KL}} = 61,04 * \frac{2600}{1300} * \frac{1}{(27 * 27 - 13 * 14)} =$$

$$0,223 \text{ N/mm}^2 \quad (116)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = \frac{V_{d,lang,\tau}}{2} * \frac{1}{A_{KL}} = \frac{1825,2}{2} * \frac{1}{(27 * 27 - 13 * 14)} =$$

$$1,668 \text{ N/mm}^2 \quad (117)$$

$$S_{d,Druck_längs,lang} = S_{d,KL,Druck_längs,lang} + S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,223 + 1,668 = 1,892 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,KL,Druck_längs,lang}}{R_{d,KL,Druck_längs,lang}} = \frac{1,892}{6,625} = 0,29 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Druckbeanspruchung längs der Koppelleiste infolge Gesamtlast:

$$R_{d,KL,Druck_längs,kurz} = \frac{k_{KL,elast.} * k_{mod} * f_{c,II,40}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,5 * 0,9 * 26,5}{1,2} = 9,94 \text{ N/mm}^2 \quad (118)$$

$$S_{d,KL,Druck_längs,kurz} = H_{d,kurz,\tau} * \frac{h}{l} * \frac{1}{A_{KL}} = 2280 * \frac{2600}{1300} * \frac{1}{(27 * 27 - 13 * 14)} =$$

$$8,336 \text{ N/mm}^2 \quad (119)$$

$$S_{d,KL,Druck_längs,Gesamt} = S_{d,Druck_längs,lang} + S_{d,KL,Druck_längs,kurz} = 1,892 + 8,336 = 10,23$$

$$\frac{S_{d,KL,Druck_längs,Gesamt}}{R_{d,KL,Druck_längs,kurz}} = \frac{10,23}{9,94} = 1,03 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

SCHRAUBENNACHWEISE:

Anmerkung zur Verschraubung der Koppelleisten:

Da bei Verwendung von Schrauben 3/80 mm der Randabstand laut ÖNORM 1995-1- nach Tab. 8.2 von $3 \cdot d$ (min=9 mm, vorh. =5,5 mm) nicht eingehalten werden kann, wird zusätzlich im Abstand von ca. 30 cm ein Metallplättchen in die Koppelleiste eingefräst und durch eine Schraube 6/90 mm mit der Unterkonstruktion verschraubt. Nachgewiesen wird die Verschraubung vereinfacht nur mit den Schrauben 3/80 mm. Es sei darauf hingewiesen dass diese Ausführung der Koppelleiste noch nicht im Labor geprüft wurde.

Schraubennachweise – Nachweis der Verschraubung infolge Gesamtlast:**Holzbauschrauben: 3 / 80; 8.8**

Schrauben mit teilweise glattem Schaft und einem Durchmesser von $d \leq 6$ mm → Nagelberechnung nach EN 1995-1-1

$$F_{v,ef,Rd} = \frac{F_{v,ef,Rk} * k_{mod}}{\gamma_M} \quad (120)$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} * F_{v,Rk} \quad (122)$$

$$n_{ef} = n^{kef} = 22^{0,925} = 17,45 \quad (123)$$

Berechnung von $F_{v,Rk}$ —siehe Anhang!!

$$\min F_{v,Rk} = 1,75 \text{ kN}$$

Daraus folgt:

$$F_{v,ef,Rd} = \frac{F_{v,Rk} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{1750 * 0,6}{1,3} = 807,7 \text{ N}$$

Anzahl der Verbindungsmittel im Riegel

$$n_{VM,c} = 22$$

$$H_{d,Gesamt,\tau} = H_{d,lang,\tau} + H_{d,kurz,\tau} = 61,04 + 2280 = 2341 \text{ N} \quad (124)$$

$$S_{d,Gesamt,\tau} = \frac{H_{d,Gesamt,\tau}}{l * b_{\tau}} * \frac{1}{1 + \frac{k_w}{k_u} * \frac{l}{3 * h}} = \frac{2341}{1300 * 12} * \frac{1}{1 + \frac{1,38}{1,38} * \frac{1300}{3 * 2600}} = 0,0693 \text{ N/mm}^2 \quad (125)$$

Nachweis, dass die Verschraubung den Schubfluss längs der Klebefuge übernehmen kann, mit $m = 0,0169 \text{ mm}^{-1}$ (Schraubenanzahl pro Länge):

$$R_{d,t,\tau} = m * F_{v,ef,Rd} = 0,0169 * 807,7 = 13,67 \text{ N/mm} \quad (126)$$

$$S_{d,t,\tau} = S_{d,Gesamt,\tau} * b_{\tau} = 0,0693 * 12 = 0,831 \text{ N/mm} \quad (127)$$

$\frac{S_{d,t,\tau}}{R_{d,t,\tau}} = \frac{0,831}{13,67} = 0,061 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Aufgrund dieser geringen Auslastung der Schrauben kann der Achsabstand vergrößert werden. Da mit diesen Koppelleistenabmessungen (bei Mittelstößen) die geforderten Randabstände zu den unbeanspruchten Rändern nicht eingehalten werden können, werden zusätzlich Klemmplatten aus Metall angebracht. Bei HGV- Endstößen kann eine breite Koppelleiste Verwendung finden.

5.3.3 Aussteifung durch HGV- Scheiben mit ausschließlicher Verklotzung-Eigengewichtsabtrag durch vertikale Verklebung

Abb. 78 verdeutlicht die Aussteifung der Wintergartenkonstruktion bei einer reinen Verklotzung der HGV- Elemente für die Aufnahme von Horizontalkräften. Die Ableitung der Horizontalkraft wird je nach Windrichtung dem äußeren Element zugewiesen. In diesem Fall wird jedoch die Horizontalkraft von rechts (roter Pfeil) nicht der äußeren Scheibe zugeordnet, da an dieser Stelle der Wärmekollektor bis nach oben hin durchläuft und dieser keine aussteifende Wirkung besitzt . Daher wird angenommen, dass die zweite Scheibe die volle Last aufnimmt. In der Realität würde sich die Aussteifung auf die nebeneinander angeordneten Elemente aufteilen. Aus Sicherheitsgründen bzw. aus Gründen der Ungewissheit darüber wie sich die Lasten tatsächlich aufteilen, wird die volle Last einer Scheibe zugeordnet und bemessen. Ein Teil des Eigengewichts der Scheibe wird von einer vertikalen Verklebung aufgenommen und der andere Teil durch die horizontale Klotzung (je nach Steifigkeit- siehe Berechnung).

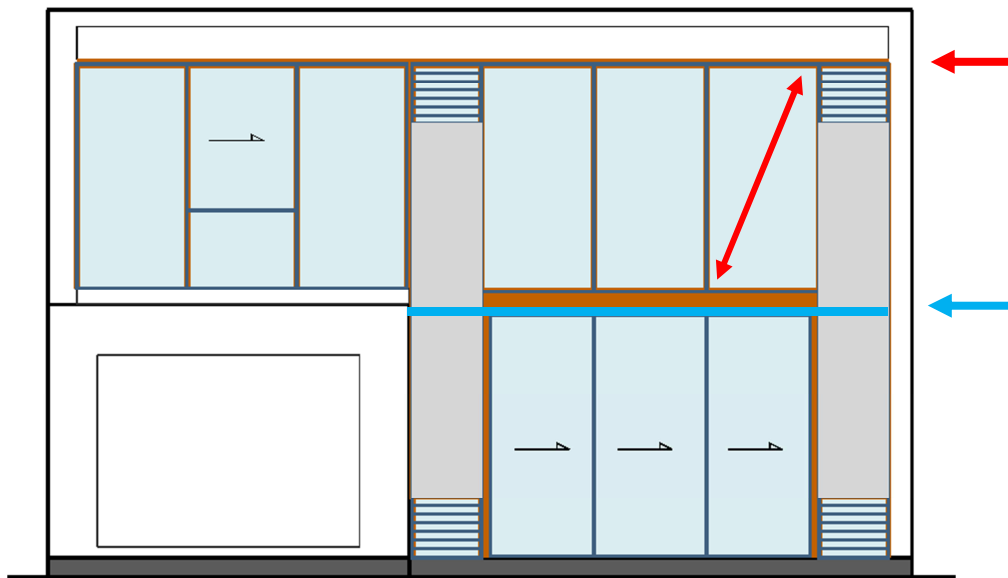


Abb. 78: Aussteifung durch eine verklotzte HGV- Scheibe

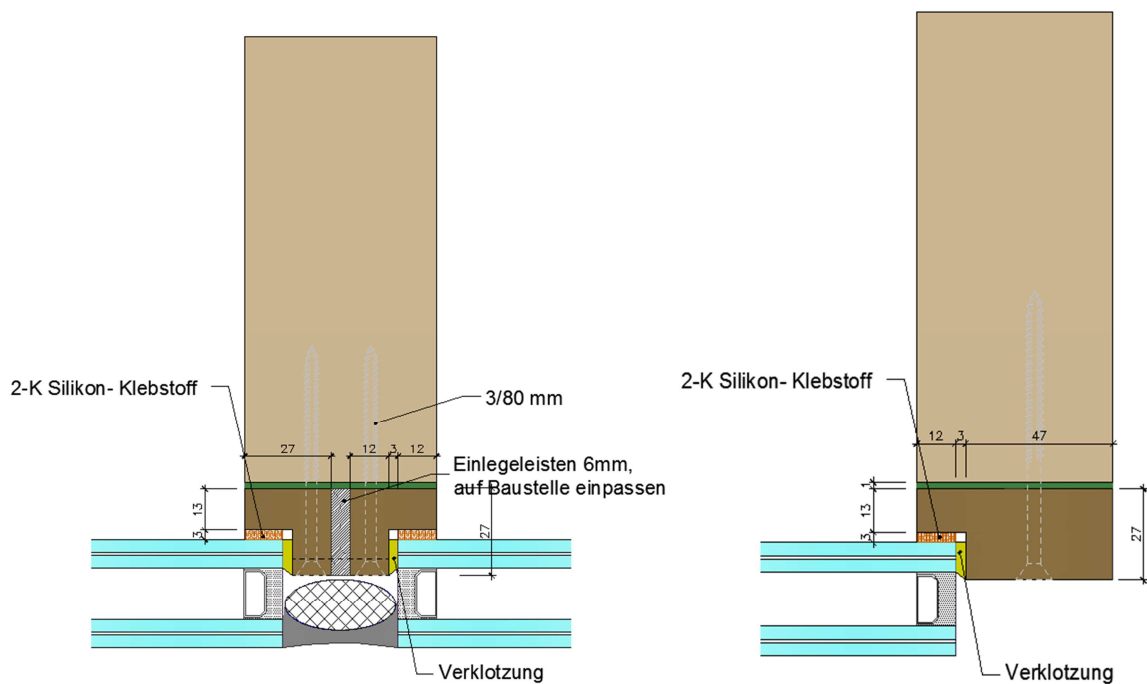


Abb. 79: Elementmittelstoß- Klotzung (rechts), Enddetail (links)

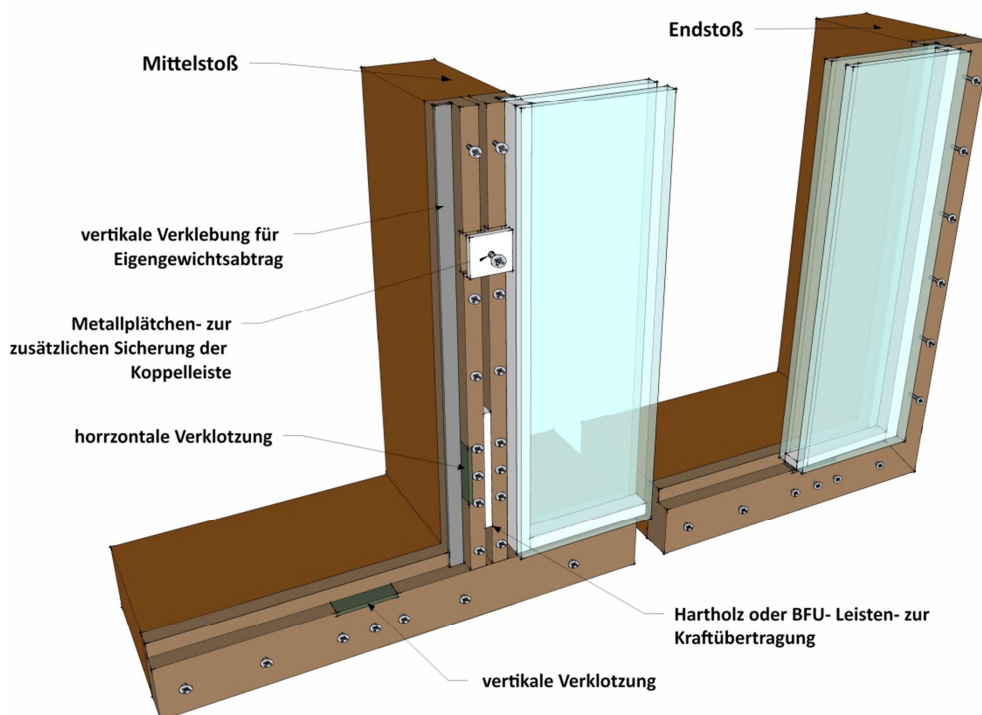


Abb. 80: 3D- Darstellung des Mittel- und Endstoßes

Annahmen:

Alle Annahmen zu Material, Geometrie, Teilsicherheitsbeiwerten, Modifikationsbeiwerten, Deformationsbeiwerten und einwirkende Lasten sind bereits in der Variante „reine Schubverklebung“ angeführt bzw. berechnet und werden daher hier nicht noch einmal dargebracht.

1) Systemsteifigkeiten für kurzfristige Lasteinwirkungen:

Tab. 13: Systemsteifigkeit bei reiner Verklotzung- kurzfristige Lasteinwirkung

Schubverklebung:	$C_{\tau,q} =$	0,740	[kN/cm]
Stauchung der Koppelleiste	$CK_{L,\varepsilon} =$	5304,255	[kN/cm]
Riegelbiegung:	$C_{r,B-Riegel} =$	135,061	[kN/cm]
Pfostenbiegung:	$C_{r,B-Pfosten} =$	63,578	[kN/cm]
Verklotzung:	$C_c =$	9025,000	[kN/cm]
Koppelleiste:	$CK_{L,q} =$	50,978	[kN/cm]
Verbindungsmittel:	$C_{VM,q} =$	44,847	[kN/cm]
Glasscheibe:	$CG_{,\varepsilon} =$	1252,198	[kN/cm]
Rahmen:	$CR_{,q} =$	154,286	[kN/cm]
Rahmendehnung:	$CR_{,\varepsilon} =$	749,538	[kN/cm]
Rahmengelenk:	$CR_G =$	51,531	[kN/cm]
Vert. Gesamtdruckfederst.kt. m. Glas:	$C_{ges,v} =$	12,880	[kN/cm]
Horiz. Gesamtdruckfederst.kt. m. Glas:	$C_{ges,h} =$	11,633	[kN/cm]
Vert. äquiv. Gesamt-E mit Glas:	$E_{\ddot{a}q,ges,v} =$	9,660	[N/mm ²]
Horiz. äquiv. Gesamt-E mit Glas:	$E_{\ddot{a}q,ges,h} =$	8,725	[N/mm ²]
<u>ERGEBNISSE DES FEDERMODELLS n.</u>			
<u>Kreuzinger / Niedermaier:</u>			
Federsteifigkeit vertikaler Klotz:	$K_v =$	12,880	[kN/cm]
Federsteifigkeit horizontaler Klotz:	$K_h =$	11,633	[kN/cm]
SYSTEMSTEIFIGKEIT DRUCK:	$K_c =$	0,987	[kN/cm]
Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	0,513	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	H =	0,513	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	K_c =	98,678	[N/mm]

2) Systemsteifigkeiten für langfristige Lasteinwirkung:

Schubverklebung:	$C_{\tau,q,\infty} =$	0,285	[kN/cm]
Stauchung der Koppelleiste	$CK_{L,\varepsilon,\infty} =$	3315,159	[kN/cm]
Riegelbiegung:	$C_{r,B-Riegel,\infty} =$	84,413	[kN/cm]
Pfostenbiegung:	$C_{r,B-Pfosten,\infty} =$	39,736	[kN/cm]
Verklotzung:	$C_{c,\infty} =$	3539,216	[kN/cm]
Koppelleiste:	$CK_{L,q,\infty} =$	31,861	[kN/cm]
Verbindungsmittel:	$C_{VM,q,\infty} =$	20,385	[kN/cm]
Glasscheibe:	$CG_{,\varepsilon,\infty} =$	1252,198	[kN/cm]
Rahmen:	$CR_{,q,\infty} =$	96,429	[kN/cm]
Rahmendehnung:	$CR_{,\varepsilon,\infty} =$	468,462	[kN/cm]
Rahmengelenk:	$CR_{G,\infty} =$	23,423	[kN/cm]
Vert. Gesamtdruckfederst.kt. m. Glas:	$C_{ges,v,\infty} =$	6,717	[kN/cm]
Horiz. Gesamtdruckfederst.kt. m. Glas:	$C_{ges,h,\infty} =$	6,166	[kN/cm]

Vert. äquiv. Gesamt-E mit Glas:	$E_{\ddot{a}q,ges,v,\infty} =$	5,038	[N/mm ²]
Horiz. äquiv. Gesamt-E mit Glas:	$E_{\ddot{a}q,ges,h,\infty} =$	4,624	[N/mm ²]
ERGEBNISSE DES FEDERMODELLS n.			
Kreuzinger / Niedermaier:			
Federsteifigkeit vertikaler Klotz:	$K_{v,\infty} =$	6,717	[kN/cm]
Federsteifigkeit horizontaler Klotz:	$K_{h,\infty} =$	6,166	[kN/cm]
SYSTEMSTEIFIGKEIT DRUCK:	$K_{c,\infty} =$	0,516	[kN/cm]
Lastanteil der Verklotzung:	$H_{c,\infty} =$	0,269	[kN] ($\triangleq 100\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H_{,\infty} =$	0,269	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_{c,\infty} =$	51,642	[N/mm]

Folgende Berechnungsformeln wurden aus dem Endbericht „Holz- Glas- Verbundkonstruktionen, State of the Art, Forschungsbericht, Studentische Arbeiten“ von Hochhauser, Winter und Kreher ((2010), S. 301 ff.) entnommen.

Ermittlung der Lastanteile infolge langfristiger, vertikaler Beanspruchung (Glaseigengewicht):

Es wird angenommen, dass der Eigengewichtsabtrag der Glasscheibe durch die vertikale Schubverklebung und die beiden horizontal liegenden Klötzen erfolgt.

Gesamtfedersteifigkeit der Schubverklebung für vertikalen Lastabtrag der Glasscheibe:

($k = k_u = k_w$)

$$\begin{aligned}
 C_{\tau,\ddot{a}q,vert} = k_{vert} &= \left\{ \frac{1}{\left(\frac{C_{VM,l}}{1 + k_{VM,def}} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{C_{KL,l}}{1 + k_{KL,def}} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{C_{\tau,l}}{1 + k_{\tau,def,2}} \right)} \right\}^{-1} \\
 &= \left\{ \frac{1}{\left(\frac{2,53}{1 + 1,2} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{38,423}{1 + 0,6} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{0,148}{1 + 1,6} \right)} \right\}^{-1} = 0,054 \text{ kN/cm}^2 \quad (128)
 \end{aligned}$$

Äquivalenter Schubmodul für vertikalen Lastabtrag der Glasscheibe:

$$G_{\ddot{a}q,vert} = C_{\tau,\ddot{a}q,vert} * \frac{d_{\tau}}{b_{\tau}} = 0,054 * \frac{0,3}{1,2} = 0,0135 \text{ kN/cm}^2 = 0,135 \text{ N/mm}^2 \quad (129)$$

Gesamtfedersteifigkeit des vertikal wirkenden Klotzes für vertikalen Lastabtrag der Glasscheibe:

$$C_{c,\ddot{a}q,v,vert} = K_{v,vert} = \left\{ \frac{1}{\left(\frac{C_{VM,q}}{1+k_{VM,def}}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{C_{KL,q}}{1+k_{KL,def}}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{C_{\tau,q}}{1+k_{\tau,def,2}}\right) + \left(\frac{C_c}{1+k_{c,def,2}}\right)} \right\}^{-1}$$

$$= \left\{ \frac{1}{\left(\frac{44,847}{1+1,2}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{50,978}{1+0,6}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{0,740}{1+1,6}\right) + \left(\frac{9025,0}{1+1,55}\right)} \right\}^{-1} =$$

$$12,388 \text{ kN/cm} \quad (130)$$

Äquivalenter Elastizitätsmodul des vertikal wirkenden Klotzes für vertikalen Lastabtrag der Glasscheibe:

$$E_{\ddot{a}q,v,vert} = C_{c,\ddot{a}q,v,vert} * \frac{d_c}{l_c * b_{c,G}} = 12,388 * \frac{0,3}{5 * 0,8} = 0,921 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} =$$

$$9,291 \text{ N/mm}^2 \quad (131)$$

Verteilung der Lasten aus Eigengewicht der Glasscheibe:

$$\widetilde{K}_{\tau} = 2 * \left(\frac{G_{\ddot{a}q,vert} * h_G * b_{\tau}}{d_{\tau}} \right) = 2 * \left(\frac{0,0135 * 260 * 1,2}{0,3} \right) = 14,04 \text{ N/mm} \quad (132)$$

$$\widetilde{K}_c = 2 * \left(\frac{E_{\ddot{a}q,v,vert} * l_c * b_{c,G}}{d_{\tau}} \right) = 2 * \left(\frac{0,921 * 5 * 0,8}{0,3} \right) = 12,28 \text{ N/mm} \quad (133)$$

$$V_{k,lang,\tau} = V_{k,lang} * \frac{\widetilde{K}_{\tau}}{\widetilde{K}_{\tau} + \widetilde{K}_c} = 1352 * \frac{14,04}{14,04 + 12,28} = 721,2 \text{ N} \triangleq 53,3 \% \quad (134)$$

$$V_{k,lang,c} = V_{k,lang} * \frac{\widetilde{K}_c}{\widetilde{K}_{\tau} + \widetilde{K}_c} = 1352 * \frac{12,28}{14,04 + 12,28} = 630,8 \text{ N} \triangleq 46,7 \% \quad (135)$$

$$V_{d,lang,\tau} = V_{d,lang} * \frac{\widetilde{K}_{\tau}}{\widetilde{K}_{\tau} + \widetilde{K}_c} = 1825,2 * \frac{14,04}{14,04 + 12,28} = 973,6 \text{ N} \triangleq 53,3 \% \quad (136)$$

$$V_{d,lang,c} = V_{d,lang} * \frac{\widetilde{K}_c}{\widetilde{K}_{\tau} + \widetilde{K}_c} = 1825,2 * \frac{12,28}{14,04 + 12,28} = 851,6 \text{ N} \triangleq 46,7 \% \quad (137)$$

SCHUBVERKLEBUNGSNACHWEISE:

Tragsicherheitsnachweis der Schubverklebung für Dauerlast:

$$R_{d,lang,\tau} = \frac{k_{\tau,mod,lang} * \tau_k}{\gamma_{\tau,M}} = \frac{0,2 * 0,6}{6} = 0,02 \text{ N/mm}^2 \quad (138)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = \frac{V_{d,lang,\tau}}{2 * h * b_{\tau}} = \frac{973,6}{2 * 2600 * 12} = 0,0156 \text{ N/mm}^2 \quad (139)$$

$$S_{d,lang,\tau} = S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,0156 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,lang,\tau}}{R_{d,lang,\tau}} = \frac{0,0156}{0,02} = 0,78 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

VERKLOTZUNGSNACHWEIS:

Tragsicherheitsnachweis der Verklotzung für Dauerlast:

$$R_{d,lang,c} = \frac{k_{c,mod,lang} * \sigma_{c,k}}{\gamma_{c,M}} = \frac{0,2 * 86}{6} = 2,87 \text{ N/mm}^2 \quad (140)$$

$$S_{d,Druckdiagonale,lang} = \frac{2 * H_{d,lang,c}}{l_c * b_{c,G}} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right) = \frac{2 * 61,04}{50 * 8} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right) = 0,345 \text{ N/mm}^2 \quad (141)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,c} = \frac{V_{d,lang,c}}{2 * l_c * b_{\tau}} = \frac{851,6}{2 * 50 * 8} = 1,065 \text{ N/mm}^2 \quad (142)$$

$$S_{d,lang,c} = S_{d,Druckdiagonale,lang} + S_{d,EG-Abtrag,lang,c} = 0,345 + 1,065 = 1,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,lang,c}}{R_{d,lang,c}} = \frac{1,41}{2,87} = 0,50 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Tragsicherheitsnachweis der Verklotzung für Gesamtlast:

$$R_{d,kurz,c} = \frac{k_{c,mod,kurz} * \sigma_{c,k}}{\gamma_{c,M}} = \frac{0,9 * 86}{6} = 12,9 \text{ N/mm}^2 \quad (143)$$

$$S_{d,kurz,c} = \frac{2 * H_{d,kurz,c}}{l_c * b_{c,G}} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right) = \frac{2 * 2280}{50 * 8} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right) = 12,887 \text{ N/mm}^2 \quad (144)$$

$$\Delta l_{max,temp} = \alpha_{T,G} * \Delta T * \frac{h}{2} + \alpha_{T,KL} * \Delta T * \frac{b_{KL}}{2} = 9 * 10^{-6} * 40 * \frac{2600}{2} + 8 * 10^{-6} * 40 * \frac{12}{2} = 0,379 \text{ mm} \quad (145)$$

$$\Delta l_{max,HF} = \text{Quellmaß} * \Delta u * \frac{b_{KL}}{2} = \left(\frac{0,01}{100} \right) * 6 * \frac{12}{2} = 0,004 \text{ mm} \quad (146)$$

$$\Delta l_{max} = \Delta l_{max,temp} + \Delta l_{max,HF} = 0,379 + 0,0036 = 0,384 \text{ mm} \quad (147)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{max}}{d_\tau} = \frac{0,384}{3} = 0,1279 \quad (148)$$

$$S_{d,Zwang,c} = \varepsilon * E_{\dot{a}q,v} = 0,1279 * 5,038 = 0,644 \text{ N/mm}^2 \quad (149)$$

$$S_{d,Gesamt,c} = S_{d,lang,c} + S_{d,kurz,c} + S_{d,Zwang,c} = 1,41 + 12,887 + 0,664 = 14,961 \text{ N/mm}^2$$

$\frac{S_{d,Gesamt,c}}{R_{d,kurz,c}} = \frac{14,961}{12,9} = 1,16 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$
--

Kopfverschiebung infolge Dauerlast für Verklotung:

$$\begin{aligned} u_{Kopf,c,lang} &= 2 * H_{k,lang,c} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right)^2 * \left(\frac{\left(\frac{h}{l} \right)^2}{K_{V,lang}} + \frac{1}{K_{H,lang}} \right) \\ &= 2 * 42,9 * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right)^2 * \left(\frac{\left(\frac{2600}{1300} \right)^2}{617,7} + \frac{1}{616,6} \right) = 0,89 \text{ mm} \quad (150) \end{aligned}$$

Gebrauchstauglichkeitsnachweis infolge Dauerlast für Verklotung:

$$u_{zul} = \frac{h}{500} = \frac{2600}{500} = 5,2 \text{ mm} \quad (151)$$

$\frac{u_{Kopf,lang}}{u_{zul}} = \frac{0,89}{5,2} = 0,17 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Kopfverschiebung infolge kurzfristiger Last für Verklotung:

$$\begin{aligned} u_{Kopf,c,kurz} &= 2 * H_{k,kurz,c} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right)^2 * \left(\frac{\left(\frac{h}{l} \right)^2}{K_V} + \frac{1}{K_H} \right) \\ &= 2 * 1520 * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right)^2 * \left(\frac{\left(\frac{2600}{1300} \right)^2}{1288} + \frac{1}{1163,3} \right) = 15,4 \text{ mm} \quad (152) \end{aligned}$$

Gebrauchstauglichkeitsnachweis infolge kurzfristiger Last für Schubverklebung und Verklotung:

$$u_{zul} = \frac{h}{500} = \frac{2100}{500} = 4,2 \text{ mm} \quad (153)$$

$$\frac{u_{Kopf,kurz}}{u_{zul}} = \frac{15,4}{4,2} = 2,96 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Klebstoffverformung infolge Dauerlast für Schubverklebung:

$$\varepsilon_{\tau,max} = \gamma_{max} = 232 \%$$

$$u_{Klebung,zul} = \gamma_{max} * d_{\tau} = 232 \% * 3 = 2,32 * 3 = 6,96 \text{ mm} \quad (154)$$

$$\tau_{k,EG-Abtrag,lang} = \frac{V_{k,lang,\tau}}{2 * h * b_{\tau}} = \frac{721,2}{2 * 2600 * 12} = 0,001156 \text{ N/mm}^2 \quad (155)$$

$$u_{Klebung,inst} = \frac{\tau_{k,EG-Abtrag,lang}}{G_{\tau}} * d_{\tau} = \frac{0,001156}{0,37} * 3 = 0,0937 \text{ mm} \quad (156)$$

$$u_{Klebung,fin} = u_{Klebung,lang} = u_{Klebung,inst} * (1 + k_{\tau,def,2}) = 0,0937 * (1 + 1,6) = 0,244 \text{ mm} \quad (157)$$

$$\frac{u_{Klebung,lang}}{u_{Klebung,zul}} = \frac{0,244}{6,96} = 0,035 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Klebstoffstauchung infolge Dauerlast für Verklotzung:

$$u_{Klotz,zul} = \varepsilon_{c,max} * d_c = 1,51 \% * 3 = 0,0151 * 3 = 0,0453 \text{ mm} \quad (158)$$

$$\sigma_{k,lang} = \frac{2 * H_{k,lang,c}}{l_c * b_{c,G}} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = \frac{2 * 42,9}{50 * 8} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 0,242 \text{ N/mm}^2 \quad (159)$$

$$\sigma_{k,EG-Abtrag,lang} = \frac{V_{k,lang,c}}{2 * l_c * b_{\tau}} = \frac{630,8}{2 * 50 * 8} = 0,7885 \text{ N/mm}^2 \quad (160)$$

$$u_{Klotz,inst} = \frac{\sigma_{k,lang} + \sigma_{k,EG-Abtrag,lang}}{E_c} * d_c = \frac{0,242 + 0,7885}{5700} * 3 = 0,000542 \text{ mm} \quad (161)$$

$$u_{Klotz,fin} = u_{Klotz,lang} = u_{Klotz,inst} * (1 + k_{c,def,2}) = 0,000542 * (1 + 1,55) = 0,00138 \text{ mm} \quad (162)$$

$$\frac{u_{Klotz,fin}}{u_{Klotz,zul}} = \frac{0,00138}{0,045} = 0,03 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Klebstoffstauchung infolge kurzfristiger Last für Verklotzung:

$$\sigma_{k,kurz} = \frac{2 * H_{k,kurz,c}}{l_c * b_{c,G}} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = \frac{2 * 1520}{50 * 8} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 8,591 \text{ N/mm}^2 \quad (163)$$

$$u_{Klotz} = \frac{\sigma_{k,kurz}}{E_c} * d_c = \frac{8,591}{5700} * 3 = 0,00452 \text{ mm} \quad (164)$$

$$\frac{u_{Klebung,kurz}}{u_{Klotz,zul}} = \frac{0,00452}{0,045} = 0,1 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Klebstoffstauchung infolge Gesamtlast für Verklotzung:

$$u_{Klotz,gesamt} = u_{Klotz,lang} + u_{Klotz} = 0,00138 + 0,00452 = 0,0059 \text{ mm} \quad (165)$$

$$\frac{u_{Klotz,gesamt}}{u_{Klotz,zul}} = \frac{0,0059}{0,045} = 0,13 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

GLASNACHWEISE:Glasnachweise – Nachweis der Zugspannungen infolge Dauerlast:

$$R_{d,lang,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,lang} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (166)$$

(in Anlehnung an ÖNORM B 3716-1)

$$D_{lang} = H_{d,lang,c} * \frac{\sqrt{1 + \frac{h^2}{l^2}}}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 61,04 * \frac{\sqrt{1 + \frac{2600^2}{1300^2}}}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 154,293 \text{ N} \quad (167)$$

Scheibenimperfection: (Grenzmaß = 3,8 mm anstatt 4,0 mm gemäß (Englhardt, 2007))

$$e_{Imp} = t_G - \text{Grenzmaß} = 2 * 4,0 - 2 * 3,8 = 0,4 \text{ mm} \quad (168)$$

$$t_{G,Imp} = t_G - e_{Imp} = 8 - 0,4 = 7,6 \text{ mm} \quad (169)$$

$$M_{Imp,lang} = D_{lang} * \frac{e_{Imp}}{2} = 154,293 * \frac{0,4}{2} = 30,859 \text{ Nmm} \quad (170)$$

$$l_{eff} = \min(l \vee h) = \min(1300 \vee 2600) = 1300 \text{ mm} \quad (171)$$

$$A_D = \frac{l_{eff}}{4} * t_{G,Imp} = \frac{1300}{4} * 7,6 = 2470 \text{ mm}^2 \quad (172)$$

Ermittlung der Ersatzdicke der beiden Einzelscheiben (*berechnet ohne Verbund gem. ÖNORM B 3716*)

$$d^* = \sqrt[3]{d_1^3 + d_2^3} = \sqrt[3]{4^3 + 4^3} = 5,04 \text{ mm} \quad (173)$$

$$S_{d,lang,Imp.} = \frac{M_{Imp.,lang}}{W_{eff}} = \frac{M_{Imp.,lang}}{\frac{l_{eff}}{4} * d^{*2}} = \frac{30,859}{\frac{1300}{4} * 5,04^2} = 0,0224 \text{ N/mm}^2 \quad (174)$$

$$S_{d,lang,t} = S_{d,lang,Imp.} = 0,0224 \text{ N/mm}^2$$

$\frac{S_{d,t}}{R_{d,lang,Scheibe,t}} + \frac{S_{d,Wind,BZG}}{R_{d,kurz,Platte,BZG}} = \frac{0,0224}{64} = 0,00035 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Glasnachweise – Nachweis der Zugspannungen infolge Gesamtlast:

$$R_{d,kurz,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (175)$$

$$D_{kurz} = H_{d,kurz,c} * \frac{\sqrt{1 + \frac{h^2}{l^2}}}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 2280 * \frac{\sqrt{1 + \frac{2600^2}{1300^2}}}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 5763,22 \text{ N} \quad (176)$$

$$M_{Imp.,kurz} = D_{kurz} * \frac{e_{Imp.}}{2} = 5763,22 * \frac{0,4}{2} = 1152,64 \text{ Nmm} \quad (177)$$

$$S_{d,kurz,Imp.} = \frac{M_{Imp.,kurz}}{W_{eff}} = \frac{M_{Imp.,kurz}}{\frac{l_{eff}}{4} * d^{*2}} = \frac{1152,64}{\frac{1300}{4} * 5,04^2} = 0,8377 \text{ N/mm}^2 \quad (178)$$

$$S_{d,t} = S_{d,kurz,Imp.} = 0,8377 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{d,kurz,Platte,BZG} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 1,0}{1,5} = 80 \text{ N/mm}^2 \quad (179)$$

$$p_d = \frac{W_d}{l * h} = \frac{5070}{1300 * 2600} = 0,0015 \text{ N/mm}^2 \quad (180)$$

$$S_{d,Wind,BZG} = \frac{p_d * \varphi_y * \left(\frac{l}{2}\right)^2}{d^{*2}} = \frac{0,0015 * 2,44 * \left(\frac{1300}{2}\right)^2}{5,04^2} = 60,876 \text{ N/mm}^2 \quad (181)$$

$\frac{S_{d,t}}{R_{d,kurz,Scheibe,t}} + \frac{S_{d,Wind,BZG}}{R_{d,kurz,Platte,BZG}} = \frac{0,8377}{64} + \frac{60,876}{80} = 0,77 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$
--

Glasnachweise – Nachweis der Querkzugspannungen im Klotzbereich infolge Dauerlast:

$$R_{d,lang,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,lang} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (182)$$

$$D_{V,lang} = 2 * H_{d,lang,c} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 2 * 61,04 * \frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 138,0 \text{ N} \quad (183)$$

$$A_c = l_c * t_G = 50 * 8 = 400 \text{ mm}^2 \quad (184)$$

$$S_{d,lang,QZ,c} = v_G * \frac{D_{V,lang}}{A_c} = 0,23 * \frac{138,0}{400} = 0,0794 \text{ N/mm}^2 \quad (185)$$

$\frac{S_{d,lang,QZ,c}}{R_{d,lang,Scheibe,t}} = \frac{0,0794}{64} = 0,0012 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Glasnachweise – Nachweis der Querkzugspannungen im Klotzbereich infolge Gesamtlast:

$$R_{d,kurz,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (186)$$

$$D_{V,kurz} = 2 * H_{d,kurz,c} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 2 * 2280 * \frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 5154,78 \text{ N} \quad (187)$$

$$S_{d,kurz,QZ,c} = v_G * \frac{D_{V,kurz}}{A_c} = 0,23 * \frac{5154,78}{400} = 2,964 \text{ N/mm}^2 \quad (188)$$

$$S_{d,Gesamt,QZ,c} = S_{d,lang,QZ,c} + S_{d,kurz,QZ,c} = 0,0794 + 2,964 = 3,043 \text{ N/mm}^2$$

$\frac{S_{d,Gesamt,QZ,c}}{R_{d,kurz,Scheibe,t}} = \frac{3,043}{64} = 0,048 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Glasnachweise – Nachweis der Querkzugspannungen in der Druckdiagonale infolge Dauerlast:

$$R_{d,lang,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,lang} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (189)$$

$$D_{lang} = H_{d,lang,c} * \frac{\sqrt{1 + \frac{h^2}{l^2}}}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 61,04 * \frac{\sqrt{1 + \frac{2600^2}{1300^2}}}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 154,29 \text{ N} \quad (190)$$

$$S_{d,lang,QZ,D} = v_G * \frac{D_{lang}}{A_D} = 0,23 * \frac{154,29}{2470} = 0,0143 \text{ N/mm}^2 \quad (191)$$

$\frac{S_{d,lang,QZ,D}}{R_{d,lang,Scheibe,t}} = \frac{0,0143}{64} = 0,0002 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

Glasnachweise – Nachweis der Querkzugspannungen in der Druckdiagonale infolge Gesamtlast:

$$R_{d,kurz,Scheibe,t} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 0,8}{1,5} = 64 \text{ N/mm}^2 \quad (192)$$

$$D_{kurz} = H_{d,kurz,c} * \frac{\sqrt{1 + \frac{h^2}{l^2}}}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 2280 * \frac{\sqrt{1 + \frac{21600^2}{1300^2}}}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 5763,22 \text{ N} \quad (193)$$

$$S_{d,kurz,QZ,D} = v_G * \frac{D_{kurz}}{A_D} = 0,23 * \frac{5763,22}{2600} = 0,51 \text{ N/mm}^2 \quad (194)$$

$$S_{d,Gesamt,QZ,D} = S_{d,lang,QZ,D} + S_{d,kurz,QZ,D} = 0,0143 + 0,51 = 0,524 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,Gesamt,QZ,D}}{R_{d,kurz,Scheibe,t}} = \frac{0,524}{64} = 0,0082 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

KOPPELLEISTENNACHWEISE:Koppelleistennachweise – Nachweis des Abscherwiderstandes der Koppelleiste infolge Dauerlast:

$$R_{d,KL,Abscheren,lang} = \frac{k_{mod} * \tau_{c,KL,AS,\perp}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,6 * 1,0}{1,2} = 0,5 \text{ N/mm}^2 \quad (195)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = \frac{V_{d,lang,\tau}}{2 * h * b_\tau} = \frac{973,6}{2 * 2600 * 12} = 0,0156 \text{ N/mm}^2 \quad (196)$$

$$S_{d,KL,Abscheren,lang} = S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,0156 \text{ N/mm}^2 \quad (197)$$

$$\frac{S_{d,KL,Abscheren,lang}}{R_{d,KL,Abscheren,lang}} = \frac{0,0156}{0,5} = 0,031 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis des Abscherwiderstandes der Koppelleiste infolge Gesamtlast:

$$R_{d,KL,Abscheren,kurz} = \frac{k_{mod} * \tau_{c,KL,AS,\perp}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,9 * 1,0}{1,2} = 0,75 \text{ N/mm}^2 \quad (198)$$

$$\frac{S_{d,KL,Abscheren,Gesamt}}{R_{d,KL,Abscheren,kurz}} = \frac{0,156}{0,75} = 0,208 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Druckbeanspruchung längs der Koppelleiste infolge Dauerlast:

$$R_{d,KL,Druck_längs,lang} = \frac{k_{KL,elast.} * k_{mod} * f_{c,II,40}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,5 * 0,6 * 26,5}{1,2} = 6,625 \text{ N/mm}^2 \quad (199)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = \frac{V_{d,lang,\tau}}{2} * \frac{1}{A_{KL}} = \frac{973,6}{2} * \frac{1}{(27 * 27 - 13 * 14)} = 0,889 \text{ N/mm}^2 \quad (200)$$

$$S_{d,Druck_längs,lang} = S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,889 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,KL,Druck_längs,lang}}{R_{d,KL,Druck_längs,lang}} = \frac{0,889}{6,625} = 0,13 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Druckbeanspruchung längs der Koppelleiste infolge Gesamtlast:

$$R_{d,KL,Druck_längs,kurz} = \frac{k_{KL,elast.} * k_{mod} * f_{c,II,40}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,5 * 0,9 * 26,5}{1,2} = 9,94 \text{ N/mm}^2 \quad (201)$$

$$\frac{S_{d,KL,Druck_längs,Gesamt}}{R_{d,KL,Druck_längs,kurz}} = \frac{0,889}{9,94} = 0,09 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Querpressung der Koppelleiste infolge Dauerlast:

$$R_{d,KL,Querpress.,lang} = \frac{k_{KL,elast.} * k_{mod} * f_{c,II,12}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,5 * 0,6 * 27,7}{1,2} = 6,925 \text{ N/mm}^2 \quad (202)$$

$$S_{d,KL,Querpress.,lang} = \frac{2 * H_{d,lang,c}}{l_c * b_{c,KL}} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right) = \frac{2 * 61,04}{50 * 11} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right) = 0,251 \text{ N/mm}^2 \quad (203)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,c} = \frac{V_{d,lang,c}}{2 * l_c * b_{c,KL}} = \frac{851,6}{2 * 50 * 11} = 0,774 \text{ N/mm}^2 \quad (204)$$

$$S_{d,Querpress.,lang,c} = S_{d,KL,Querpress.,lang} + S_{d,EG-Abtrag,lang,c} = 0,251 + 0,774 = 1,0252 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,Querpress.,lang,c}}{R_{d,KL,Querpress.,lang}} = \frac{1,0252}{6,925} = 0,15 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Querpressung der Koppelleiste infolge Gesamtlast:

$$R_{d,KL,Querpress.,kurz} = \frac{k_{KL,elast.} * k_{mod} * f_{c,II,12}}{\gamma_{M,SPH}} = \frac{0,5 * 0,9 * 27,7}{1,2} = 10,39 \text{ N/mm}^2 \quad (205)$$

$$S_{d,KL,Querpress,kurz} = \frac{2 * H_{d,kurz,c}}{l_c * b_{c,KL}} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right) = \frac{2 * 2280}{50 * 11} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right) = 9,072 \text{ N/mm}^2 \quad (206)$$

$$S_{d,KL,Querpress,Gesamt} = S_{d,Querpress,lang,c} + S_{d,KL,Querpress,kurz} = 1,0252 + 9,072 = 10,097 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,KL,Querpress,Gesamt}}{R_{d,KL,Querpress,kurz}} = \frac{10,097}{10,39} = 0,97 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Koppelleistennachweise – Nachweis der Querzugbeanspruchung der Koppelleiste infolge Dauerlast:

Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an den Unterpunkt 11.1.5 der DIN 1052. Die Bedingungen des Unterpunkts 11.1.5 der DIN 1052 sind einzuhalten. (vgl. Hochhauser et. al., (2011), S. 335)

$$k_s = \max \left\{ 1; 0,7 + \frac{1,4 * a_r}{h} \right\} = \max \left\{ 1; 0,7 + \frac{1,4 * (n_{VM,c} - 1) * e_{VM,c}}{b_{KL,ges}} \right\} \\ = \max \left\{ 1; 0,7 + \frac{1,4 * (3 - 1) * 20 \text{ mm}}{27 \text{ mm}} \right\} = \max \{ 1; 2,77 \} = 2,77 \quad (207) \\ (\text{gemäß Bild 32, DIN 1052})$$

$$k_r = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i} \right)^2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{b_{KL}/2}{b_{KL}/2} \right)^2} = 1,0 \quad (208) \\ (\text{gemäß Bild 32, DIN 1052})$$

$$t_{ef} = \min \{ b; t; 12 * d \} \rightarrow \min \{ d_{KL,ges}; 12 * 5 \} = \min \{ 27 \text{ mm}; 60 \} = 27 \text{ mm} \quad (209)$$

$$R_{d,Querzug,lang} = k_s * k_r * \left(6,5 + \frac{18 * a^2}{h^2} \right) * (t_{ef} * h)^{0,8} * \frac{k_{mod} * f_{t,90,40}}{\gamma_{M,SPH}} \\ = k_s * k_r * \left(6,5 + \frac{18 * \left(\frac{b_{KL}}{2} \right)^2}{b_{KL,ges}^2} \right) * (t_{ef} * b_{KL,ges})^{0,8} * \frac{k_{mod} * f_{t,90,40}}{\gamma_{M,SPH}} \\ = 2,77 * 1 * \left(6,5 + \frac{18 * \left(\frac{12}{2} \right)^2}{27^2} \right) * (27 * 27)^{0,8} * \frac{0,6 * 36,8}{1,2} = 73461,3 \text{ N} \quad (210) \\ S_{d,Querzug,lang} = 2 * H_{d,lang,c} * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} \right) = 2 * 61,04 * \left(\frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} \right) =$$

$$138,0 \text{ N} \quad (211)$$

$$S_{d,EG-Abtrag,lang,c} = \frac{V_{d,lang,c}}{2} = \frac{851,6}{2} = 425,8 \text{ N} \quad (212)$$

$$S_{d,Querzug,lang,Gesamt} = S_{d,Querzug,lang} + S_{d,EG-Abtrag,lang,c} = 138,0 + 425,8 = 563,8 \text{ N}$$

$\frac{S_{d,Querzug,lang,Gesamt}}{R_{d,Querzug,lang}} = \frac{563,8}{73461,3} = 0,0076 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$

SCHRAUBENNACHWEISE:

Nachweis, dass die Verschraubung die schräg angreifende, resultierende Kraft aus Klotzkraft infolge Druckdiagonale und Schublängskraft zufolge Eigengewichtsabtrag aufnehmen kann, unter der Annahme, dass der horizontal wirkende Klotz maßgebend ist.

$$T_{Gesamt} = S_{d,\tau,Eigeng.} * b_{\tau} * (e_{VM} + [n_{VM,c} - 1] * e_{VM,c}) = 0,0156 * 12 * (6 + [3 - 1] * 2,5) = 2,06 \text{ N} \quad (213)$$

$$H_{d,Gesamt,c} = H_{d,lang,c} + H_{d,kurz,c} = 61,04 + 2280 = 2341 \text{ N}$$

$$D_{V,Gesamt} = 2 * H_{d,Gesamt,c} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 2341 * \frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 2646,35 \text{ N} \quad (214)$$

$$D_{V,EG-Abtrag} = \frac{V_{d,lang,c}}{2} = \frac{851,6}{2} = 425,8 \text{ N} \quad (215)$$

$$D_{V,Gesamt} = D_{V,Gesamt} + D_{V,EG-Abtrag} = 2646,35 + 425,8 = 3072,15 \text{ N}$$

$$S_{Gesamt} = \sqrt{T_{Gesamt}^2 + D_{V,Gesamt}^2} = \sqrt{2,06^2 + 3072,15^2} = 3072,15 \text{ N} \quad (216)$$

$$S_{VM} = \frac{S_{Gesamt}}{n_{VM,c}} = \frac{3072,15}{3} = 1024,05 \text{ N} \quad (217)$$

$\frac{S_{VM}}{F_{v,efRd}} = \frac{1024,05}{807,7} = 1,27 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$
--

Da im Bereich der Verklotung bei Elementstößen Holzklötze eingelegt werden, müssen die Schrauben nicht die Kraft übertragen. Bei den Endfeldern wird die Koppelleiste breiter ausgeführt (5 cm) und somit können an dieser Stelle größere Schrauben verwendet werden.

Schrauben für breite Koppelleisten (Endfeld): Holzbauschrauben: 5 / 80; 8.8

Schrauben mit teilweise glattem Schaft und einem Durchmesser von $d \leq 6 \text{ mm}$ → Nagelberechnung

Berechnung von $F_{v,Rk}$ —siehe Anhang!!

$$\min F_{v,Rk} = 2,97 \text{ kN}$$

Daraus folgt:

$$F_{v,efRd} = \frac{F_{v,Rk} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2970 * 0,6}{1,3} = 1370,8 \text{ N} \quad (218)$$

$$\frac{S_{VM}}{F_{v,efRd}} = \frac{1024,05}{1370,8} = 0,75 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Damit kann der Nachweis als erfüllt angesehen werden, vorausgesetzt, es werden im Bereich der horizontalen Verklotzungen die Fugen zwischen zwei Koppelleisten satt ausgefüttert.

5.3.4 Aussteifung durch HGV- Scheibe mit einer Schubverklebung und Verklotzung

Abb. 81 verdeutlicht die Aussteifung der Wintergartenkonstruktion bei einer Schubverklebung und Verklotzung der HGV- Elemente, die zur Aufnahme von Horizontalkräften herangezogen werden. Die Ableitung der Horizontalkraft wird je nach Windrichtung dem äußeren Element zugewiesen. Tatsächlich würden sich jedoch die Kräfte auf die nebeneinander angeordneten Elemente verteilen. Aus Sicherheitsgründen bzw. aus Gründen der Ungewissheit, wie sich die Lasten aufteilen, wird die volle Last einer Scheibe zugeordnet und bemessen.

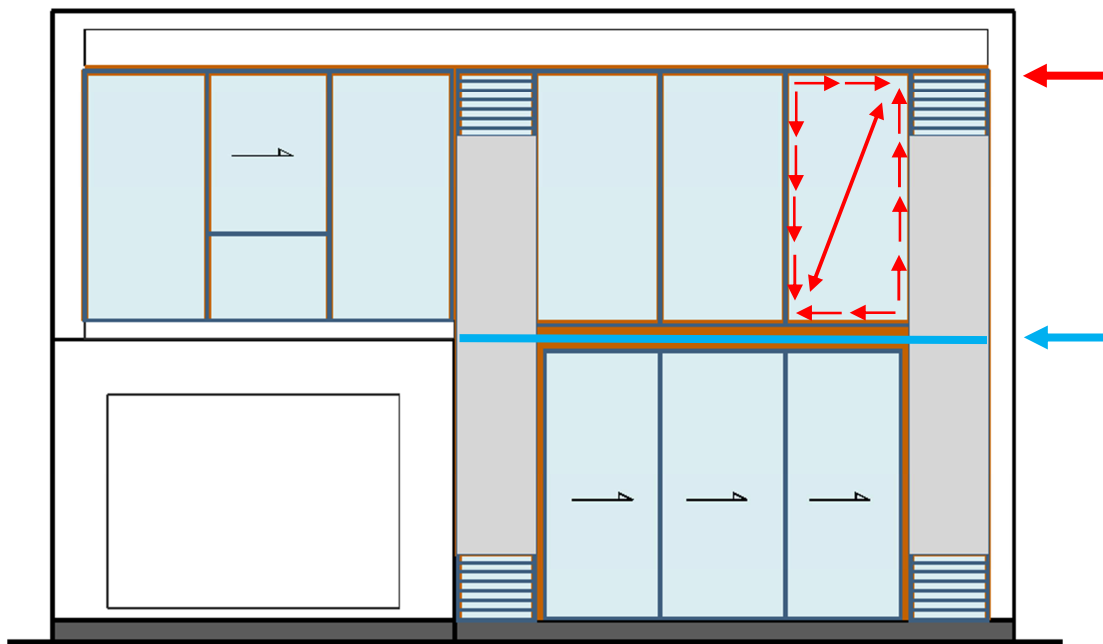


Abb. 81: Aussteifung des Wintergartens durch schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe

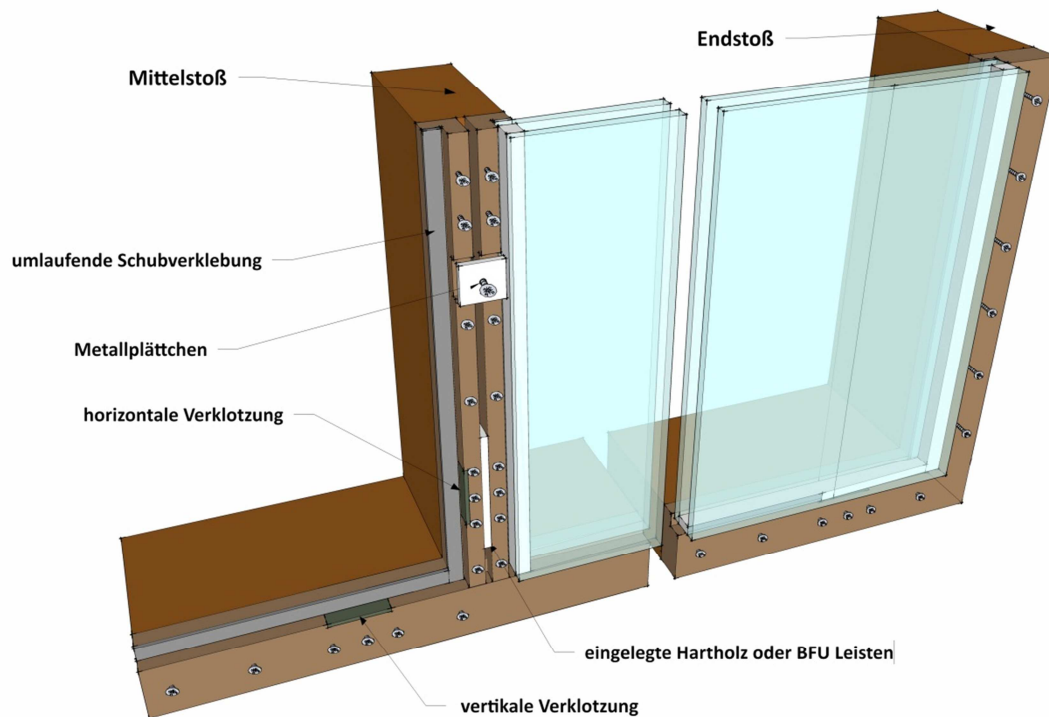


Abb. 82: Mittel- und Endstoß für Schubverklebung und Verklotzung

Annahmen:

Alle Annahmen zu Material, Geometrie, Teilsicherheitsbeiwerten, Modifikationsbeiwerten, Deformationsbeiwerten und einwirkende Lasten sind bereits in der Variante „reine Schubverklebung“ angeführt bzw. berechnet und werden daher hier nicht noch einmal dargebracht.

1) Systemsteifigkeiten für kurzfristige Lasteinwirkungen:

Tab. 14: Systemsteifigkeit für kombinierte Beanspruchung bei einer kurzfristigen Lasteinwirkung

ERGEBNISSE DES FEDERMODELLS n.			
<u>Kreuzinger / Niedermaier:</u>			
Lastanteil der Schubverklebung:	$H_{\tau} =$	2,02	[kN] ($\triangleq 80\%$)
Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	0,513	[kN] ($\triangleq 20\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	2,53	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_{\tau} + K_c =$	487,16	[N/mm]

2) Systemsteifigkeiten für langfristige Lasteinwirkungen:

Tab. 15: Systemsteifigkeit für eine kombinierte Beanspruchung bei einer langfristigen Lasteinwirkung

ERGEBNISSE DES FEDERMODELLS n.			
<u>Kreuzinger / Niedermaier:</u>			
Lastanteil der Schubverklebung:	$H_{\tau} =$	0,79	[kN] ($\triangleq 75\%$)
Lastanteil der Verklotzung:	$H_c =$	0,2685	[kN] ($\triangleq 25\%$)
Aufnehmbare horizontale Gesamtlast:	$H =$	1,06	[kN]
WANDSCHEIBENSTEIFIGKEIT:	$K_{\tau} + K_c =$	203,05	[N/mm]

Folgende Berechnungsformeln wurden aus dem Endbericht „ Holz- Glas- Verbundkonstruktionen, State of the Art, Forschungsbericht, Studentische Arbeiten“ von Hochhauser, Winter und Kreher ((2011), S. 301 ff.) entnommen.

Nachweise:

Bei der kombinierten Beanspruchung von Schubverklebung und Verklotzung werden lediglich solche Nachweise geführt, die entweder bei der reinen Schubverklebung bzw. bei der reinen Verklotzung nicht geführt werden mussten und solche bei denen die Nachweise nicht erfüllt werden konnten. In diesem Fall werden die Einwirkungen mit dem entsprechenden prozentuellen Lastanteil (siehe Steifigkeitsberechnung Tab. 14 und Tab. 15) abgemindert.

Tragsicherheitsnachweis der Schubverklebung für Dauerlast:

$$S_{d,lang,\tau} = S_{d,Schubfeld,lang} + S_{d,EG-Abtrag,lang,\tau} = 0,0039 * 0,75 + 0,0156 = 0,01589 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,lang,\tau}}{R_{d,lang,\tau}} = \frac{0,01589}{0,02} = 0,8 \geq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Tragsicherheitsnachweis der Schubverklebung für Gesamtlast:

$$S_{d,kurz,\tau} = \frac{H_{d,kurz,\tau}}{l * b_{\tau}} = \frac{2280 * 0,8}{1300 * 12} = 0,117 \text{ N/mm}^2 \quad (219)$$

(maximale Klebstoffspannung in der Glasecke)

$$S_{d,Gesamt,\tau} = S_{d,lang,\tau} + S_{d,kurz,\tau} + S_{d,Zwang,\tau} = 0,01589 + 0,146 * 0,8 + 0,0542 = 0,187 \text{ N/mm}^2 \quad (220)$$

$$\frac{S_{d,Gesamt,\tau}}{R_{d,kurz,\tau}} + \frac{S_{d,t}}{R_{d,t}} = \frac{0,187}{0,09} + \frac{0,542}{0,114} = 6,83 \geq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Da sich der Nachweis auch bei einer kombinierten Beanspruchung nicht ausgeht, wird hier auf die Bemessung von HGV- Scheiben der Holzforschung Austria verwiesen. Hier konnte durch Langzeitversuche die in Anlehnung an die ETAG 002 (3) nachgewiesen wurden, bewiesen werden, dass bei einem Bezugsniveau von $R_{u,5}/3$ in beide Schubrichtungen keine Bruchspannungs- oder Steifigkeitsreduktion auftrat. (Neubauer et.al. 2008, S.4)

$$R_{d,kurz,\tau} = \frac{k_{\tau,mod,kurz} * \tau_k}{\gamma_{\tau,M}} = \frac{0,9 * 0,6}{3} = 0,18 \text{ N/mm}^2 \quad (221)$$

$$\frac{S_{d,Gesamt,\tau}}{R_{d,kurz,\tau}} + \frac{S_{d,t}}{R_{d,t}} = \frac{0,187}{0,18} + \frac{0,542}{0,114} = 5,79 \geq 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

Für die Gesamtlast der Schubverklebung konnte mit den reduzierten Teilsicherheitsbeiwerten der Nachweis erfüllt werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Klebstoff OTTOCOLL S 660, für den die HFA einen Teilsicherheitsbeiwert von 3 abgeleitet hat, eingesetzt wird. Für den Windsog konnte

jedoch der Nachweis bei weitem nicht erfüllt werden. Somit ist eine Sogsicherung der Scheiben vorzusehen.

Tragsicherheitsnachweis der Verklotung für Gesamtlast:

$$S_{d,Gesamt,c} = S_{d,lang,c} + S_{d,kurz,c} + S_{d,zwang,c} = 1,41 * 0,25 + 12,887 * 0,20 + 0,664 \\ = 3,59 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{S_{d,Gesamt,c}}{R_{d,kurz,c}} = \frac{3,59}{12,9} = 0,28 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

Glasnachweise – Beulnachweis unter Interaktion zwischen Scheibenbeanspruchung infolge Gesamtlast und Plattenbeanspruchung zufolge Windbeanspruchung:

$$R_{d,kurz,Platte,BZG} = \frac{f_{k,t} * k_{mod,kurz} * k_b}{\gamma_M} = \frac{120 * 1,0 * 1,0}{1,5} = 80 \text{ N/mm}^2 \quad (222)$$

$$R_{d,Wind,BZG} = \frac{R_{d,kurz,Platte,BZG} * d^{*2}}{\varphi_y * \left(\frac{l}{2}\right)^2} = \frac{80 * 5,04^2}{2,44 * \left(\frac{1300}{2}\right)^2} = 0,00197 \text{ N/mm}^2 \quad (223)$$

Die Bestimmung des Beulwerts erfolgt durch lineare Interaktion über die Dunkerley'sche Gerade, deren Eignung in (Hochhauser, (2011)) nachgewiesen wird. Die nachfolgende Darstellung bebildert dieses Verfahren.

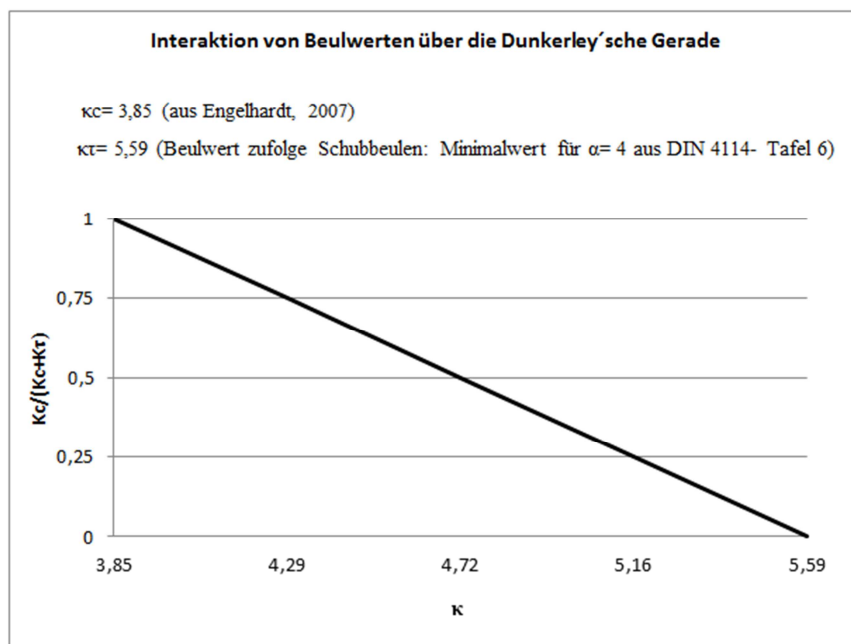


Abb. 83: Dunkerley'sche Gerade zur Bestimmung des Beulwerts für Schub- und Druckverklebung

$$\kappa = \kappa_c + (\kappa_\tau - \kappa_c) * \left(1 - \frac{K_c}{K_c + K_\tau}\right) = 3,85 + (5,59 - 3,85) * \left(1 - \frac{0,987}{0,987 + 3,885}\right) = 5,2375$$

$$R_{k,Beulen} = D_{crit} = \frac{E_G * t_G^3 * h * \kappa * f_{tV} * \pi^2}{12 * (1 - \nu_G^2) * l^2} = \frac{7000 * 0,77^3 * 260 * 5,2375 * 0,4422 * \pi^2}{12 * (1 - 0,23^2) * 130^2} = 98,88 \text{ kN} \quad (225)$$

Berechnung von f_{tV} siehe Formel (106)

$$f_{tV} = 0,4559$$

$$R_{d,Beulen} = \frac{R_{k,Beulen}}{\gamma_B} = \frac{98,99}{1,5} = 65,922 \text{ kN} \quad (226)$$

(Sicherheitsfaktor für Beulen $\gamma_B = 1,5$ nach (Englhardt, 2007), S. 270)

$$\tau_{zul} = 0,8 * \tau_{krit} = 0,8 * \kappa * f_{tV} * E_G * \left(\frac{t_G}{l}\right)^2 = 0,8 * 4,285 * 0,4559 * 70000 * \left(\frac{8}{1300}\right)^2 = 4,143 \text{ N/mm}^2 \quad (227)$$

(τ_{zul} und τ_{krit} nach (Ermanni, 2006), S. 212-214)

$$S_{d,Beulen} = D_{kurz} + D_{lang} = 5763,22 * 0,2 + 154,293 * 0,25 = 1191,22 \text{ N} = 1,19 \text{ kN}$$

$$\frac{S_{d,Beulen}}{R_{d,Beulen}} + \frac{S_{d,Wind,BZG}}{R_{d,Wind,BZG}} + \frac{S_{d,\tau}}{\tau_{zul}} = \frac{1,19 \text{ kN}}{65,922 \text{ kN}} + \frac{0,0015 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,00197 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} + \frac{0,187 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{4,143 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} =$$

$$0,82 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

SCHRAUBENNACHWEISE:

Nachweis, dass die Verschraubung die schräg angreifende, resultierende Kraft aus Klotzkraft infolge Druckdiagonale und Schublängskraft zufolge Schubfeldbeanspruchung aufnehmen kann, unter der Annahme, dass der vertikal wirkende Klotz maßgebend ist (für $h \geq l$)

$$T_{Gesamt} = S_{d,Gesamt,\tau} * b_\tau * (e_{VM} + [n_{VM,c} - 1] * e_{VM,c}) = 0,187 * 12 * (6 + [3 - 1] * 2,5) = 24,684 \text{ N} \quad (228)$$

$$H_{d,Gesamt,c} = H_{d,lang,c} + H_{d,kurz,c} = 61,04 * 0,25 + 2280 * 0,20 = 471,26 \text{ N}$$

$$D_{V,Gesamt} = 2 * H_{d,Gesamt,c} * \frac{1}{1 - 2 * \frac{e_c}{l}} = 2 * 471,26 * \frac{1}{1 - 2 * \frac{75}{1300}} = 1065,46 \text{ N} \quad (229)$$

$$D_{V,EG-Abtrag} = \frac{V_{d,lang,c}}{2} = \frac{851,6}{2} = 425,8 \text{ N} \quad (230)$$

$$D_{V,Gesamt} = D_{V,Gesamt} + D_{V,EG-Abtrag} = 1065,46 + 425,8 = 1491,26 \text{ N}$$

$$S_{Gesamt} = \sqrt{T_{Gesamt}^2 + D_{V,Gesamt}^2} = \sqrt{24,684^2 + 1491,26^2} = 1491,46 \text{ N} \quad (231)$$

$$S_{VM} = \frac{S_{Gesamt}}{n_{VM,c}} = \frac{1491,46}{3} = 497,155 \text{ N} \quad (232)$$

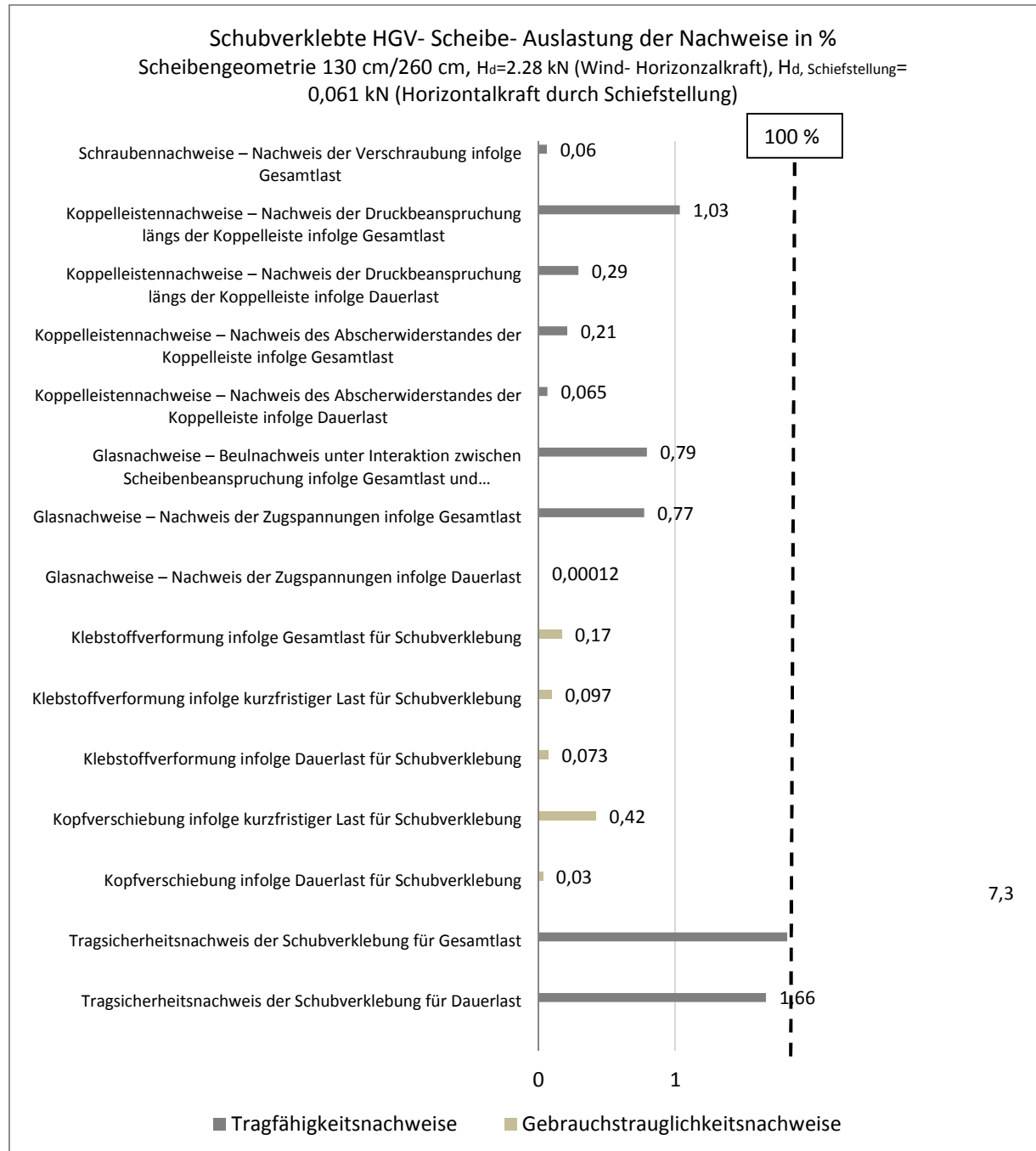
Für eine Schraube 3/80 $\rightarrow F_{v,sf,Rd} = 807,7 \text{ N}$

$$\frac{S_{VM}}{F_{v,efRd}} = \frac{639,25}{807,7} = 0,47 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt!}$$

5.3.5 Vergleich der geführten Nachweise

Um einen Überblick der berechneten Systemvarianten zu bekommen und somit Vor- und Nachteile besser abwägen zu können, werden die einzelnen Nachweise in einer Übersicht dargestellt.

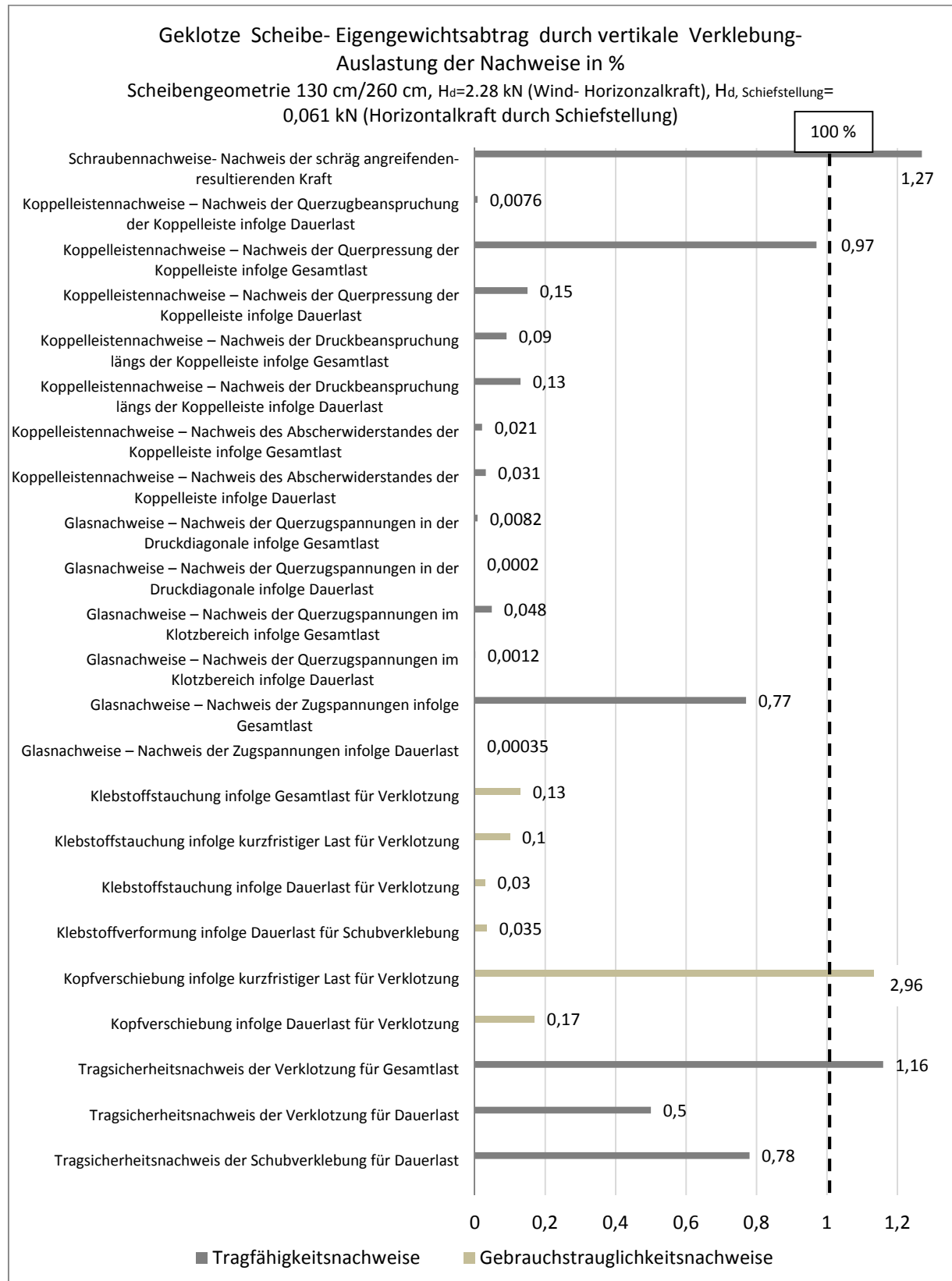
Tab. 16: Vergleich der Nachweise- schubverklebte HGV- Scheibe



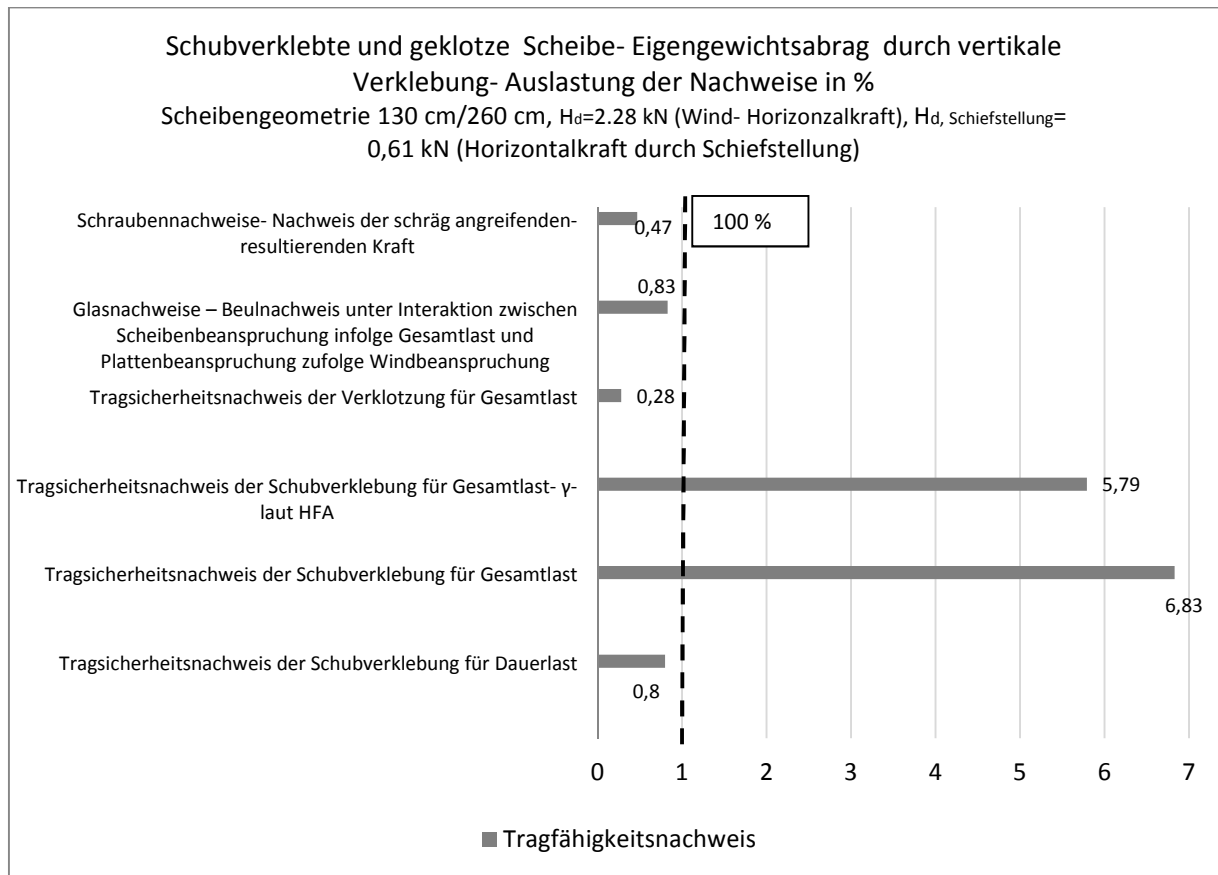
Für die Tragfähigkeitsnachweise der Schubverklebung, sowohl für die Dauerlast als auch für die Gesamtlast, wurden die Nachweise bei weitem überschritten. Der Grund hierfür ist vorwiegend der Teilsicherheitsbeiwert von 6, der laut ETAG 002 gefordert wird. Laut Holzforschung Austria kann jedoch dieser Wert für gesondert untersuchte Klebstoffe auf 3 reduziert werden und eine Aufteilung

der Horizontalkräfte auf die Anzahl der Scheibenelemente kann aufgrund der elastischen Verklebung erfolgen. Würde man diese Annahmen treffen, so könnten die Nachweise erbracht werden.

Tab. 17: Vergleich der Nachweise- geklotzte HGV- Scheibe



Tab. 18: Vergleich der Nachweise- schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe



In Tab. 17 sind die Nachweise für eine geklotzte HGV- Scheibe mit einer vertikalen Verklebung für den Eigengewichtsabtrag, dargestellt. Für den Tragfähigkeitsnachweis für die Gesamtlast wird eine Auslastung von 116 % erreicht, was für eine Einzelscheibe zutrifft. Man kann aber davon ausgehen, dass sich die Kräfte auf die nebeneinander angeordneten Scheibenelemente aufteilen, dieser Nachweis kann somit ohne weiteres erfüllt werden. Das gleiche gilt für die Kopfverschiebung infolge kurzfristiger Last, diese tritt nur bei einer Einzelscheibe tatsächlich auf. Im Verband hingegen wird diese Kopfverschiebung nicht möglich sein bzw. um ein Vielfaches kleiner.

Bei der Variante „ Schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe“ (Tab. 18) konnten die meisten Nachweise, die bei einer rein schubverklebten und geklotzten Scheibe nicht erfüllt werden konnten, nachgewiesen werden. Da sich die Kräfte je nach Steifigkeit der einzelnen Bauteilkomponenten auf die Schubverklebung und auf die Klotzung aufteilen und somit für die einzelnen Komponenten eine geringere Beanspruchung stattfindet. Der Tragsicherheitsnachweis der Schubverklebung für die Gesamtlast (Teilsicherheitsbeiwert mit 6- laut ETAG 002 und mit 3- laut HFA) konnte jedoch nicht erfüllt werden. Maßgebend ist in diesem Fall nicht die Schubbeanspruchung (diese kann laut HFA mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 3 nachgewiesen und somit erfüllt werden), sondern die Zugbeanspruchung durch den Windsog. Da dieser nicht erfüllt werden kann, muss eine entsprechende Haltevorrichtung gegen Windsogbeanspruchung vorgesehen werden.

5.4 Variantenstudie – Wärmebrückenberechnung verschiedener Konstruktionssysteme

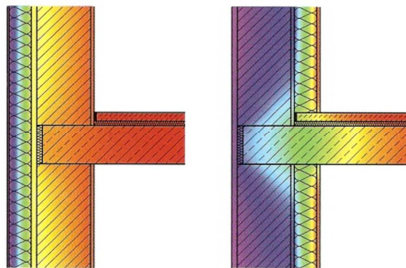
5.4.1 Wärmebrücken allgemein

Definition laut Norm:

„Wärmebrücken verglichen mit wärmebrückenfreien Baukonstruktionen, haben eine Änderung der Wärmeströme und eine Änderung der Oberflächentemperatur zur Folge“ (vgl. DIN EN ISO 14683, (2008), S.2)

Folgende Faktoren werden negativ durch Wärmebrücken beeinflusst:

- Erhöhter Energieverbrauch: In Bereichen von Wärmebrücken ist ein erhöhter Wärmefluss festzustellen, was zu höherem Heizenergieverbrauch führt.
- Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit: Aufgrund des erhöhten Wärmeflusses entstehen an der Innenseite der Außenwand sehr niedrige Oberflächentemperaturen. Dies führt aufgrund niedriger Strahlungswärme zu einem unbehaglichen Raumklima.
- Mangelhafte Wohnhygiene: Niedrige Oberflächentemperaturen an der Innenseite im Bereich einer Wärmebrücke können dazu führen, dass Tauwasser entsteht. Sobald warm- feuchte Luft auf eine kalte Oberfläche trifft und unter den Taupunkt abkühlt, tritt Tauwasser auf. Diese Feuchtigkeit bietet den idealen Nährboden für, zum Teil gesundheitsschädliche, Schimmelpilze. (vgl. Feldmann et al, (2008), S.2 ff.)



In Abb. 84 ist gut ersichtlich, welchen Einfluss eine Innen- oder Außendämmung auf die Oberflächentemperaturen hat. So ist bei außenliegenden Dämmungen die gesamte Bestandswand im warmen Bereich, wohingegen innenliegende Dämmungen im kalten Bereich liegen würden.

Abb. 84: Temperaturverläufe einer nachträglich von außen bzw. von innen gedämmten Fassade (Feldmann et.al., (2008), S.3)

Gefährdung der Bausubstanz:

Durch Wärmebrücken verursachter Tauwasseranfall kann zu einer dauerhaften Durchfeuchtung des Mauerwerks und zu Bauschäden führen. Das kann die Tragfähigkeit und Standsicherheit eines Mauerwerks, besonders bei Holzkonstruktionen erheblich gefährden. Weiters führt eine dauerhafte Durchfeuchtung zu einer erhöhten Wärmeleitfähigkeit, wodurch außerdem der Wärmebrückeneffekt verstärkt wird. (ebd.)

„Als Wärmebrücken bezeichnet man Bereiche in der thermischen Gebäudehülle, bei denen aufgrund von:

- Materialwechsel in der Bauteilebene (1)
- der Bauteilgeometrie (2)
- konstruktiven Zwängen oder (3)
- Fugen und Undichtigkeiten

während der Heizperiode gegenüber dem ungestörten Bauteil, erhöhte bzw. zusätzliche Wärmeabflüsse auftreten, so dass auf der inneren Seite von Außenbauteilen die Oberflächentemperatur, örtlich begrenzt, stark absinkt.“ (vgl. Feldmann et al., (2008), S.4)

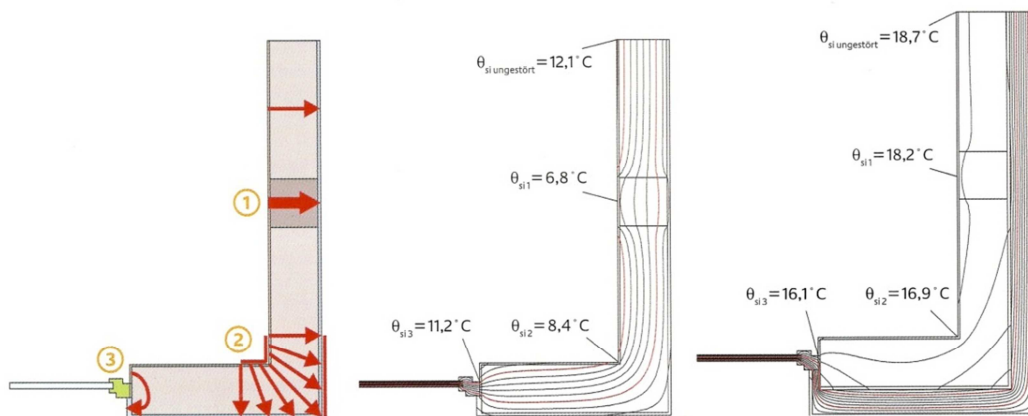


Abb. 85: Prinzipskizze Wärmebrücken (links), Isothermenverlauf ungedämmte Außenwand (mitte), Isothermenverlauf mit nachträglich angebrachter Außendämmung (rechts), (Feldmann et al., (2008), S.4)

Abb. 85 zeigt niedrigere Oberflächentemperaturen im Bereich der Wärmebrücken. Als Maß für die Wärmebrückenwirkung wird der Wärmebrückenkoeffizient Ψ mit der Einheit (W/mK) angegeben. Dieser Wert hängt von verschiedenen Einflüssen ab, wie der Qualität der Konstruktion, der verwendeten Abmessungen, sowie der U-Werte des ungestörten Bauteils. (ebd.)

Bei der Berechnung einer Wärmebrücke ist laut Norm zwischen einer punktförmigen und einer linienförmigen Wärmebrücke zu unterscheiden. Zu den linienförmigen gehören z.B. Kanten, Balkonanschlüsse, Fensteranschlüsse und können nach ISO 14683 abgeschätzt und nach ISO 10211 berechnet werden (Berechnungsverfahren beruht auf einer numerische Berechnung). Ecken, Stützen und Dübel können in die Gruppe der punktförmigen Wärmebrücken eingestuft werden und sind nach ISO 10211-1 zu berechnen. (vgl. Bedner et.al., (2008), S.33)

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ψ :

Um den Wert ψ berechnen zu können, muss als erster Schritt der Wärmestrom je Meter Länge der Wärmebrücke berechnet werden, diese erfolgt durch Computerprogramme, entweder durch eine FEM (Finite Element Methode) oder durch eine FDM (Finite Differenzen Methode) Berechnung. Je nach Programm wird ein anderes Verfahren verwendet. Ist der Wärmestrom pro Meter bekannt, kann als erster Berechnungsschritt der thermische Leitwert berechnet werden:

$$L^{2D} = \frac{\phi_1}{\vartheta_i - \vartheta_e} [W/mK] \quad (233)$$

Wobei:

ϕ_1 Wärmestrom berechnet mit einem Computerprogramm [W/m]

ϑ_i Temperatur der Innenluft [K]

ϑ_e Temperatur der Außenluft [K]

Als zweiten Schritt kann der ψ - Wert bestimmt werden:

$$\psi = L^{2D} - \sum(U_i * l_i) [W/mK] \quad (234)$$

Wobei:

ψ Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der linienförmigen Wärmebrücke

L^{2D} Thermischer Leitwert der zweidimensionalen Wärmebrücke [W/K]

U_i Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]

l_i Länge der Wärmebrücke [m]

(vgl. DIN EN ISO 10211-2)

Nun kann der Transmissionswärmeverlust des Fensters oder des Fassadenelements durch folgende Formel berechnet werden:

$$U_w = \frac{A_f * U_f + \psi * l + A_g * U_g}{A_w} [W/m^2K] \quad (235)$$

Wobei:

A_f Fläche des Rahmens [m²]

U_f U- Wert des Rahmens [W/m²K]

l Länge des Randverbundes der Verglasung/Rahmen [m]

A_g Fläche der Verglasung [m²]

U_g U- Wert der Verglasung [W/m²K]

A_w Fläche des Fensters ($A_w = A_f + A_g$) [m²]

(vgl. Bedner et.al., (2008), S.29)

Kennzeichnung raumseitiger Oberflächentemperatur:

Temperaturen an raumseitigen Oberflächen dienen zur Einschätzung der thermischen Behaglichkeit und zur Abschätzung der Bildung von Tauwasser und Schimmelpilz. Dies wird durch den Temperaturfaktor f_{Rsi} nachgewiesen.

$$f_{Rsi} = \frac{\vartheta_{o,i} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e} > \frac{\vartheta_{o,min} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e} = f_{Rsi,min} \quad (237)$$

Wobei:

$\vartheta_{o,i}$ Oberflächentemperatur innen in °C

ϑ_e Außentemperatur in °C

ϑ_i Innentemperatur in °C

$\vartheta_{o,min}$ Zulässige minimale Oberflächentemperatur in °C

$f_{Rsi,min}$ Bemessungstemperaturfaktor

Laut ÖNORM B 8110 Teil 2 gilt für Wohnungen ein minimaler Feuchtigkeitsfaktor von $f_{Rsi,min} = 0,69$ zur Vermeidung von Kondensat und $f_{Rsi,min} = 0,71$ zur Vermeidung von Schimmelbildung. (vgl. Bedner et.al., (2008), S.244 ff.)

5.4.2 Berechnungsannahmen

Für die Berechnung der zwei-dimensionalen Wärmebrücken wird die Software WINISO der Firma Sommer- Informatik zur Hilfe genommen. Dieses Programm basiert auf einer Finiten- Differenz- Methoden Berechnung. Dabei wird die Geometrie in viele kleine Teilflächen unterteilt und von jeder einzelnen Zelle eine Gleichgewichtsbedingung (Energieerhaltungssatz) aufgestellt.

Annahmen:

Gewählte Wärmeübergangswiderstände:

Oberfläche	Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]- horizontaler Wärmestrom	Quelle
Innenoberflächen	0,13	DIN EN ISO 6946 (2008), S. 9
Außenoberflächen	0,04	DIN EN ISO 6946 (2008), S.9

* laut DIN EN ISO 10211-1 kann für alle Oberflächen ein, dem horizontalen Wärmestrom entsprechender, Wert R_{si} angenommen werden. Dieser ist aus ISO 6946 zu entnehmen.

Temperaturannahmen:

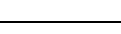
Für die Außenlufttemperatur ist für den jeweiligen Standort eine Normaußentemperatur laut OIB zu berechnen, dieser stellt den mittleren jährlichen Tiefstwert dar.

	Temperatur [°C]	Luftfeuchtigkeit [%]	Quelle
Außen	-15	80	OIB- Ecel- File zur Berechnung

			der Norm- Außentemperatur *
Innen	+20	50	

*stellt den mittleren jährlichen Tiefstwert des Temperatur- Tagesmittels dar. Bis auf vier Standorte (Radstadt, Obergurgel, St. Jakob in Deferegggen, Zürs) sind alle Temperaturregionen in Österreich abgedeckt.

Herangezogene Wärmeleitfähigkeiten und zugeordnete Farben:

Material	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Farbe	Quelle
Aluminium	160		DIN ISO 10456
Edelstahl	17		DIN ISO 10456
Nadelholz	0,13		DIN ISO 10456
Birkenfurniersperrholz	0,147		Handbuch finisches Sperrholz
GFK	0,3		Firma Knapp (Hr.Scheibenreiter)
Glas	1,0		DIN ISO 10456
Polysulfid	0,4		DIN ISO 10456
Silikon	0,35		DIN ISO 10456
Silicagel	0,13		DIN ISO 10456
Butyl	0,24		DIN ISO 10456
EPDM	0,25		DIN ISO 10456
Silikonschaum	0,12		DIN ISO 10456
vorkomprimiertes Dichtband (PUR- Schaumstoff)	0,06		DIN ISO 10456
Hinterfüllschnur (PUR- Schaumstoff)	0,05		DIN ISO 10456
Argon- Gasfüllung	0,017		DIN ISO 10456
Flächiger Hohlraum- Wärmestrom aufwärts	-		DIN ISO 10456

Weitere Annahmen:

- Randverbundsystem: Abstandhalter aus Edelstahl, Primärdichtung aus Butyl, Sekundärdichtung aus Polysulfid, Trocknungsmittel aus Silicagel
- Scheibenzwischenraum: Argon- Gasfüllung
- Emissionsgrad der Glasscheibe 2% (hochwertige Thermobeschichtung)

5.4.3 Konstruktionsvariante 01: L- Leiste- klein, 2- Scheiben- Isolierverglasung

Diese Konstruktion besteht aus Holzpfeilen (6/12), auf die Birkenfurniersperrholz- Koppelleisten mit aufgeklebten Isolierglasscheiben geschraubt sind. In den Eckbereichen der Elemente ist geklotzt. Um eine Luftdichtheit zwischen Pfeilenprofil und Koppelrahmen zu gewähren, wird ein vorkomprimiertes Dichtungsband eingelegt. Die Luftdichtheit zwischen Glas und Koppelleiste wird durch die Schubverklebung mit Silikon sichergestellt. Um einen Dampfdruckausgleich und eine

Feuchtigkeitsabfuhr zu ermöglichen, muss einerseits ein durchgehender Luftspalt zwischen Koppelleiste und Rundschnur unten, bzw. bei mehreren Geschoßen zwischen den einzelnen Geschoßen, eine Öffnung vorhanden sein. Der Randverbund des Isolierglases besteht in diesem Fall aus einem thermisch verbesserten System, aus Edelstahl mit Silicagel als Trocknungsmittel.

Konstruktionszeichnung:

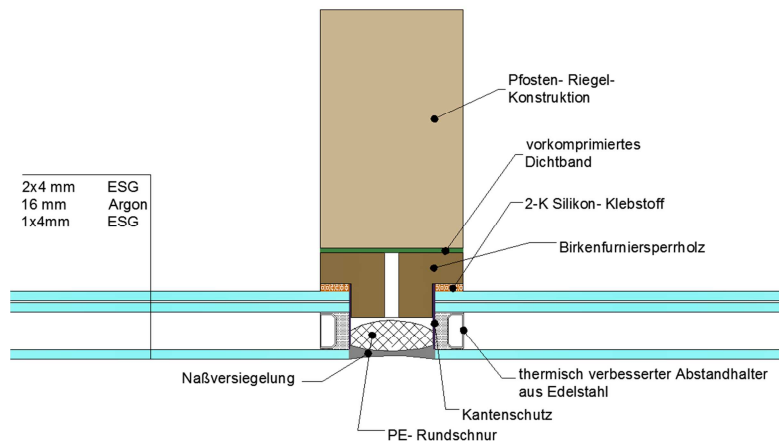


Abb. 86: Konstruktionszeichnung- Variante 01, L- Leiste-klein, 2-fach Verglasung

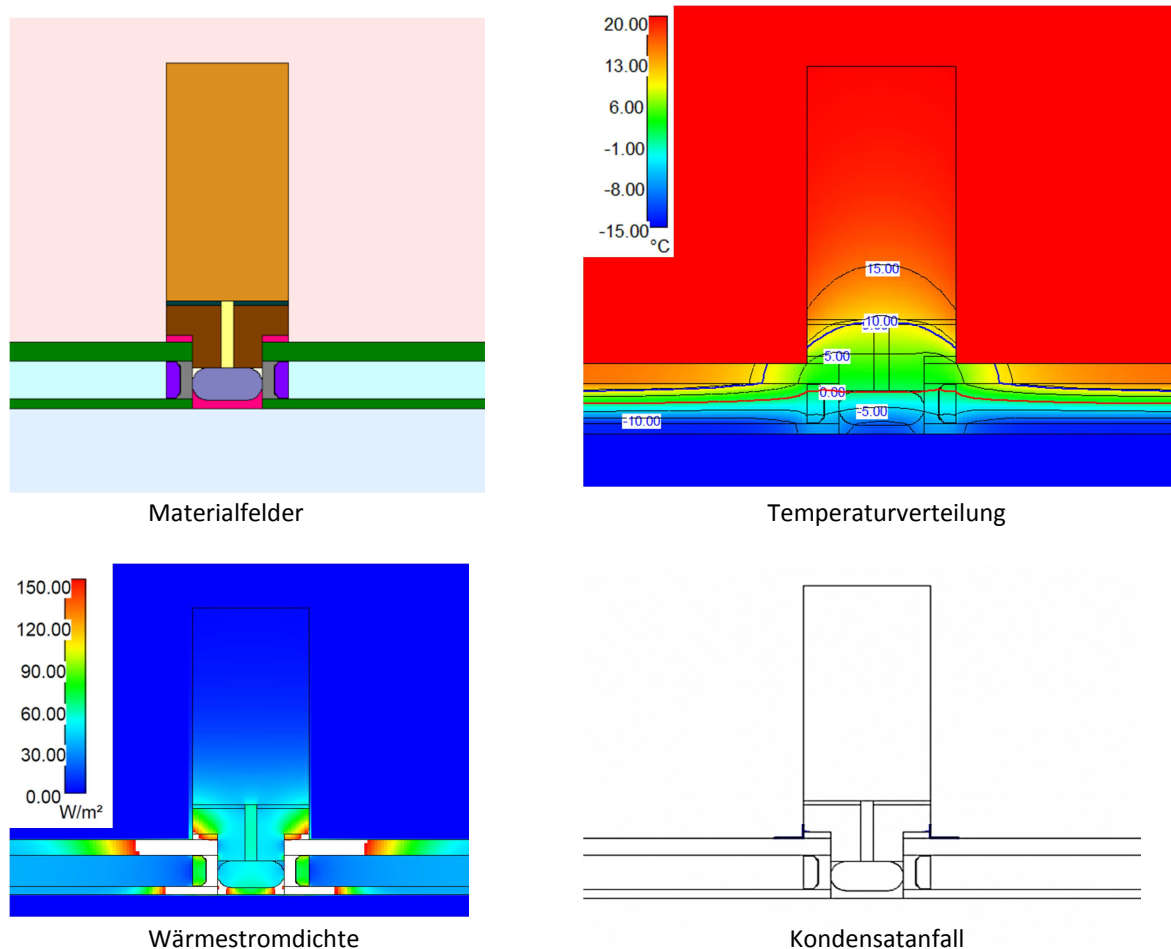


Abb. 87: Wärmebrückenberechnung Variante 01

Tab. 19: Bauphysikalische Kenndaten Variante 01

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,99 W/m ² K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,202 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,57 W/m ² K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	5,07 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,57
!! 0,57 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Die Berechnung zeigt, dass im Eckbereich die Oberflächentemperatur so niedrig ist, dass ein Kondensatanfall zu erwarten ist. Laut ÖNORM 8110 Teil 2 ist somit auf Dauer mit Schimmelbildung zu rechnen. Dieser Umstand muss durch diverse Maßnahmen verhindert werden, unter anderem ist auf eine gute Versiegelung der Birkenfurniersperrholzleisten zu achten, da sonst die ganze Feuchtigkeit von der Koppelleiste aufgesogen wird und stark quillt. Weiters gilt es zu untersuchen, wie sich der Silikonklebstoff bei Feuchtigkeit verhält.

5.4.4 Konstruktionsvariante 02: L- Leiste- klein, 3- Scheiben- Isolierverglasung

Diese Konstruktion ist grundsätzlich identisch mit VAR 01, jedoch wird an dieser Stelle statt der 2-Scheibenisolierverglasung eine 3-fach Isolierverglasung verwendet.

Konstruktionszeichnung:

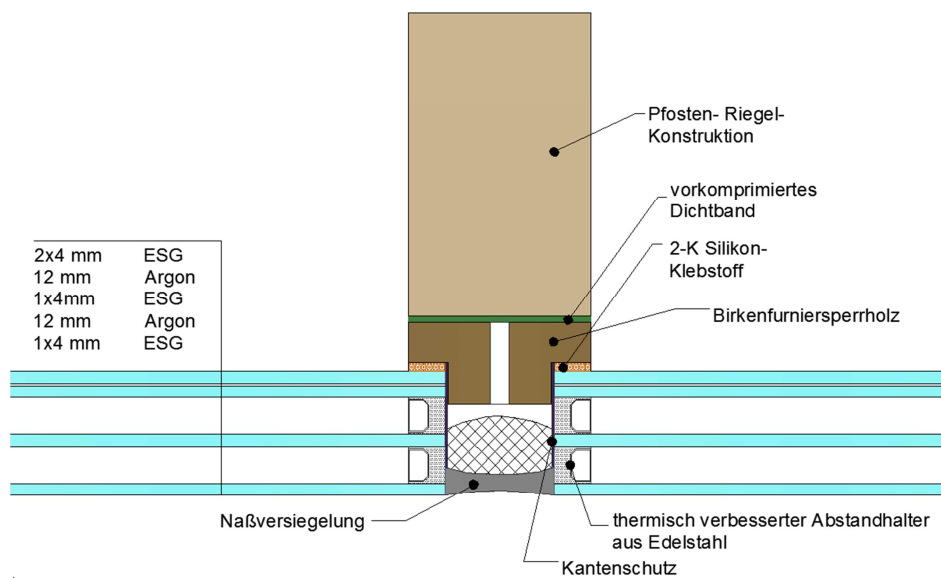


Abb. 88: Konstruktionszeichnung- Variante 02, L- Leiste- klein, 3-fach Verglasung

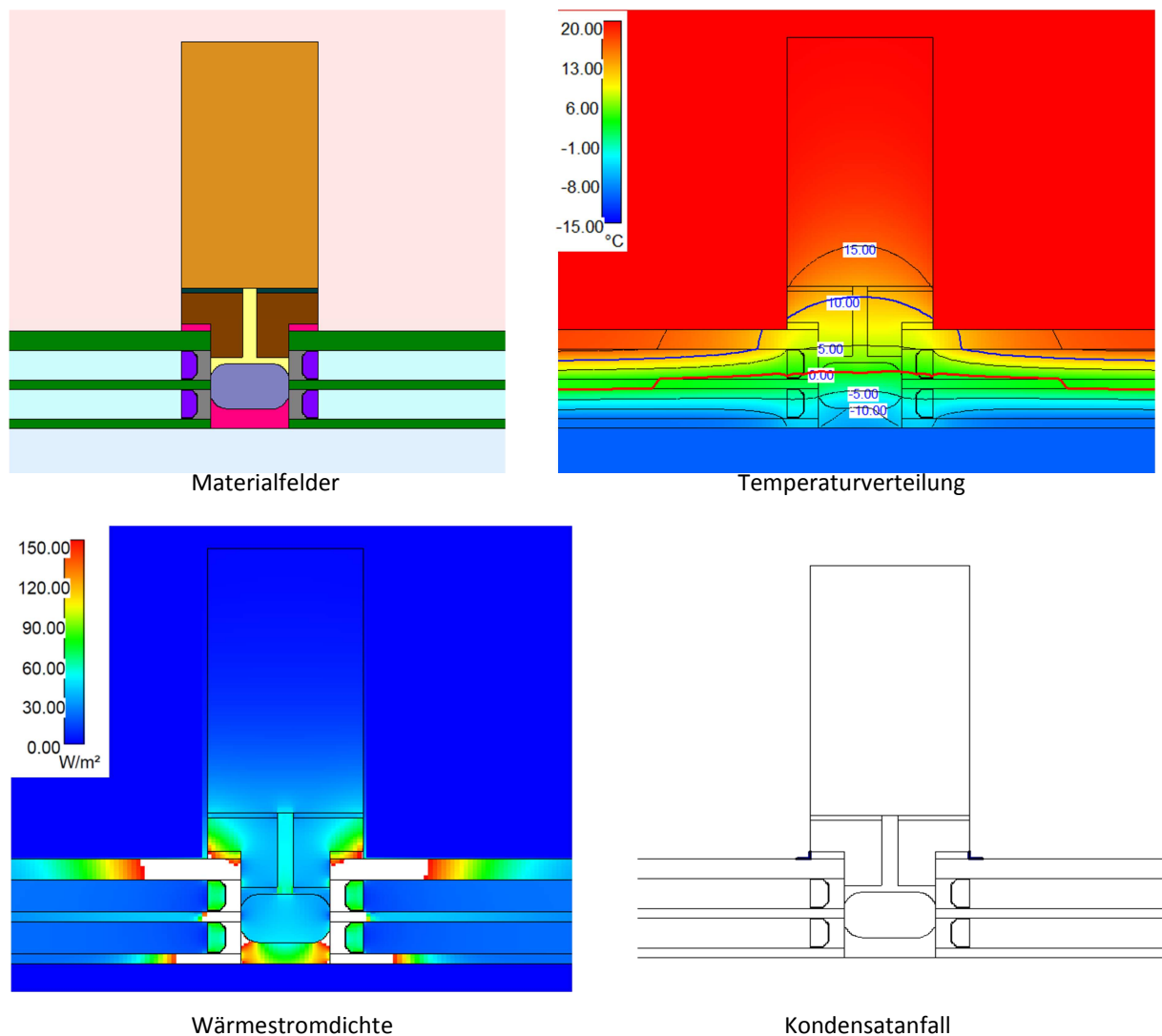


Abb. 89: Wärmebrückenberechnung VAR 02

Tab. 20: Bauphysikalische Kenndaten VAR 02

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,762 W/m²K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,19 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,18 W/m²K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	7,72 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,65
!! 0,65 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Eine Verbesserung der Wärmebrückenberechnung durch die Verwendung einer 3-Scheiben Isolierverglasung ist eindeutig ersichtlich. So konnte z.B. die Oberflächentemperatur um 2,7 °C gesteigert und somit das Risiko der Bildung von Kondensat deutlich verringert werden. Werden die Berechnungsergebnisse einzeln miteinander verglichen, so fällt auf, dass sich durch die Mehrscheibenverglasung sich die Oberflächentemperatur und der U- Wert der Fassade um ca. 40 %

verbessert haben und der Psi- Wert (ψ) lediglich um 6% angestiegen ist. D.h., verbessert sich der U-Wert der angrenzenden Glasscheiben, wirkt sich das nur unwesentlich auf die Wärmebrücke aus.

5.4.5 Konstruktionsvariante 03: L- Leiste- groß, 2- Scheiben- Isolierverglasung

Die Berechnung der Konstruktion mit einer L- Leiste, die bis an die Vorderkante der Nassversiegelung reicht (siehe Konstruktionszeichnung), soll aufzeigen welchen Einfluss die Einfassung der Glasränder hat. Weiters kann angedacht werden, bei dieser Ausführung der Koppelleiste die äußere Scheibe zur Aussteifung heranzuziehen.

Konstruktionszeichnung:

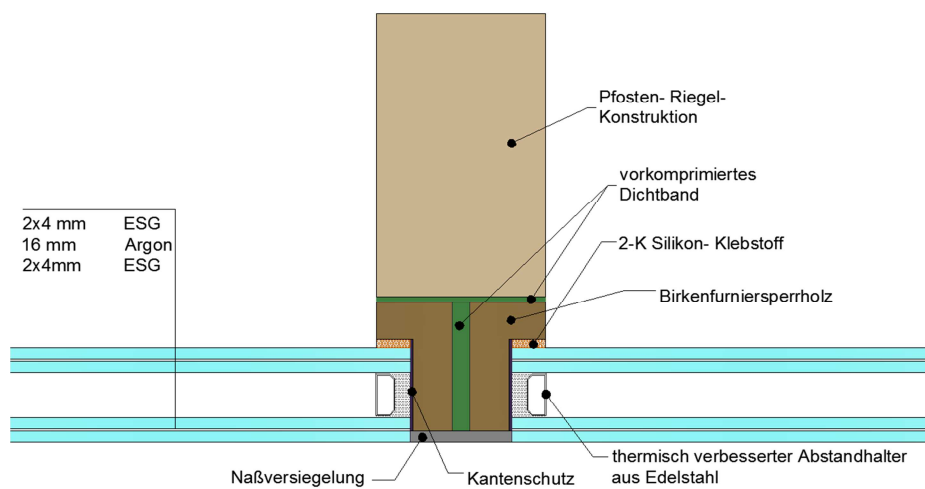
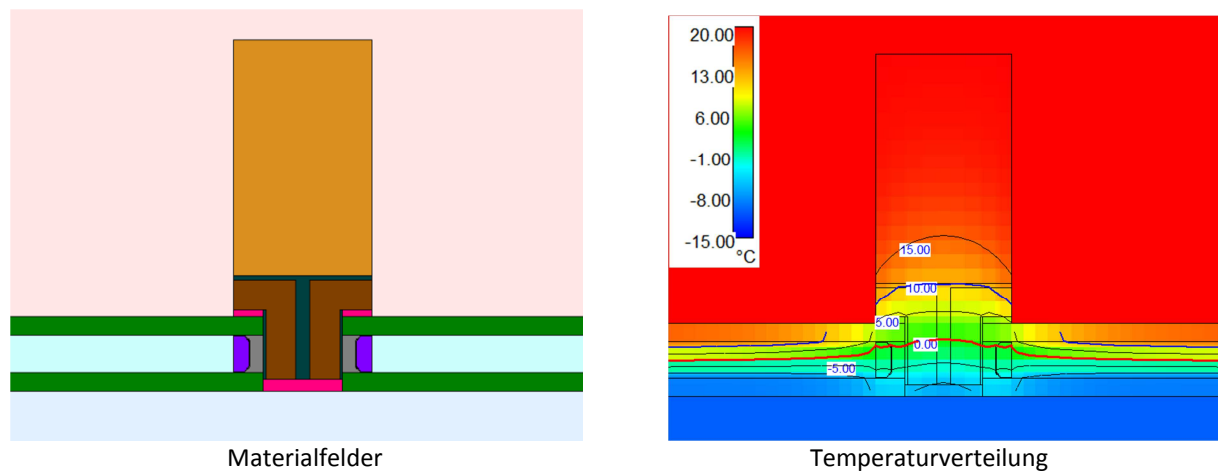
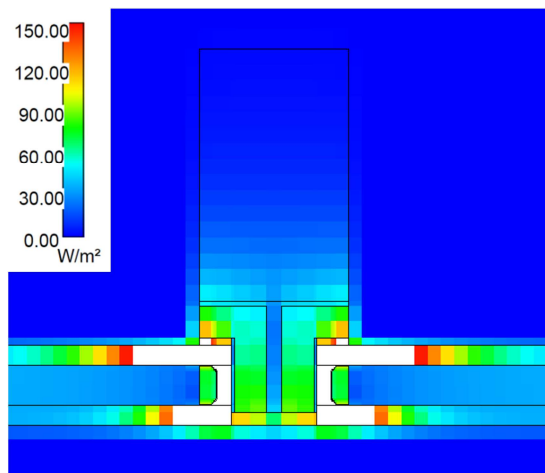
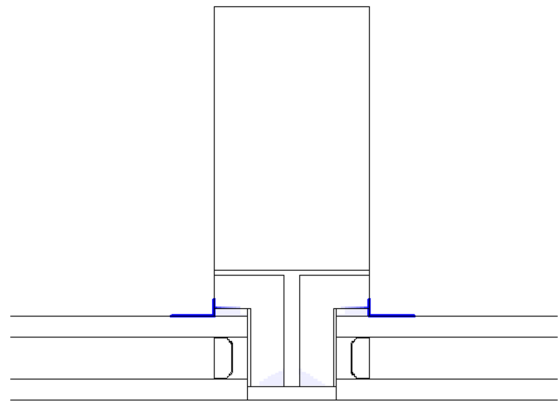


Abb. 90: Konstruktionszeichnung VAR 03, L- Leiste- groß, 2-fach Verglasung





Wärmestromdichte



Kondensatanfall

Abb. 91: Wärmebrückenberechnung VAR 03

Tab. 21: Bauphysikalische Kenndaten VAR 03

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,99 W/m²K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,20 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,582 W/m²K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	4,74 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,56
!! 0,56 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Vergleiche der niedrigsten Innenoberflächentemperatur mit der kleinen L-Koppelleiste zeigen, eine Verschlechterung um 0,33 °C. Auch in diesem Fall wurde der Temperaturfaktor laut Norm nicht eingehalten.

5.4.6 Konstruktionsvariante 04: L- Leiste- groß, 3- Scheiben- Isolierverglasung

Konstruktionszeichnung:

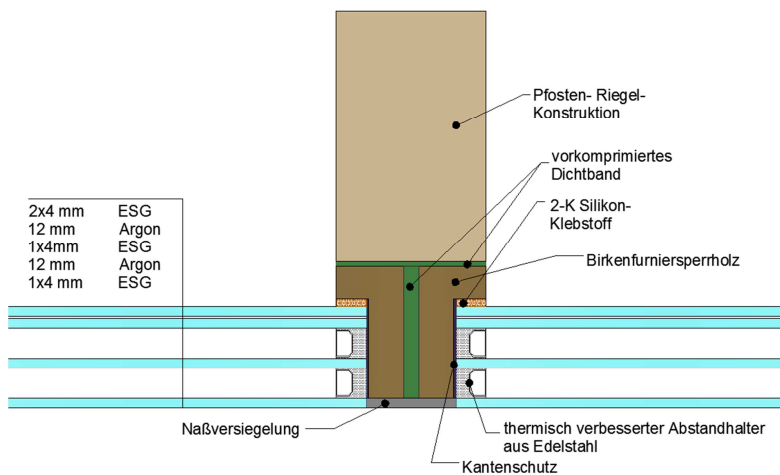


Abb. 92: Konstruktionszeichnung VAR 04, L- Leiste, 3-fach Verglasung

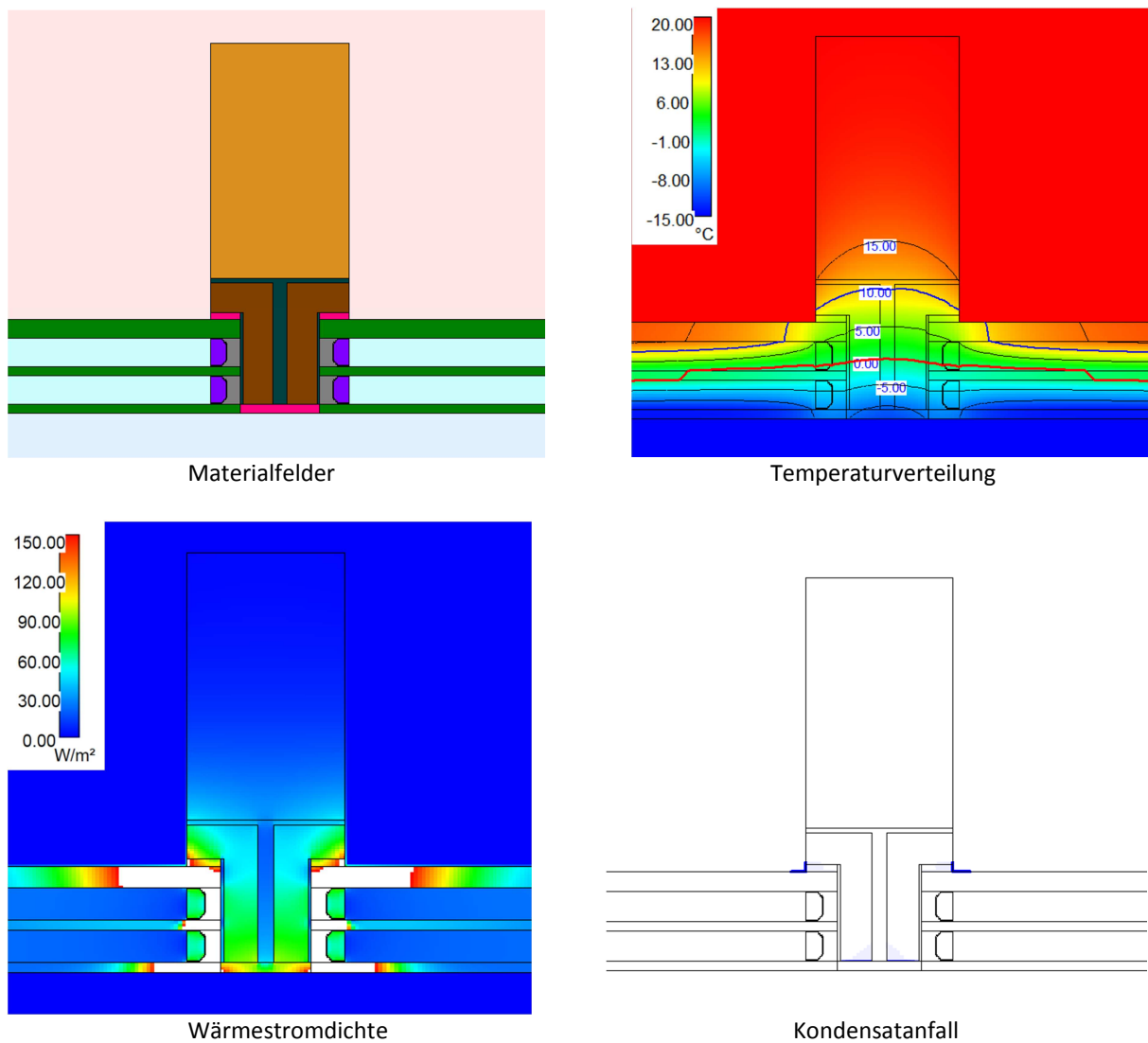


Abb. 93: Wärmebrückenberechnung VAR 04

Tab. 22: Bauphysikalische Kenndaten VAR 04

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,641 W/m ² K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,181 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,208 W/m ² K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	7,37 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,64
!! 0,64 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Durch Anordnung einer 3-Scheiben-Isolierverglasung kann die Oberflächentemperaturen drastisch gesteigert werden. Jedoch kann wiederum der Nachweis des Kondensat- und Schimmelpilzrisikos nicht erfüllt werden.

5.4.7 Konstruktionsvariante 05: BFU- Flachleiste, 2-fach Isolierverglasung

System 05 stellt eine Konstruktion der Holzforschung Austria dar, die sich im Wesentlichen durch die Ausbildung der Koppelleiste von anderen Varianten unterscheidet. Diese besteht aus einer flachen BFU- Leiste, die in Längsrichtung gezahnt ausgebildet ist, um eine Verschraubung mit der P-R-Konstruktion sinnvoll zu ermöglichen und gleichermaßen eine schmale Ansichtsbreite zu erreichen. Einfluss auf die Wärmebrückenberechnung wird vor allem der Spalt zwischen Glaselement links und Glaselement rechts haben. Dieser kann bei diesem System aufgrund der vorher genannten Ausführung der Koppelleiste stark verringert werden.

Konstruktionszeichnung:

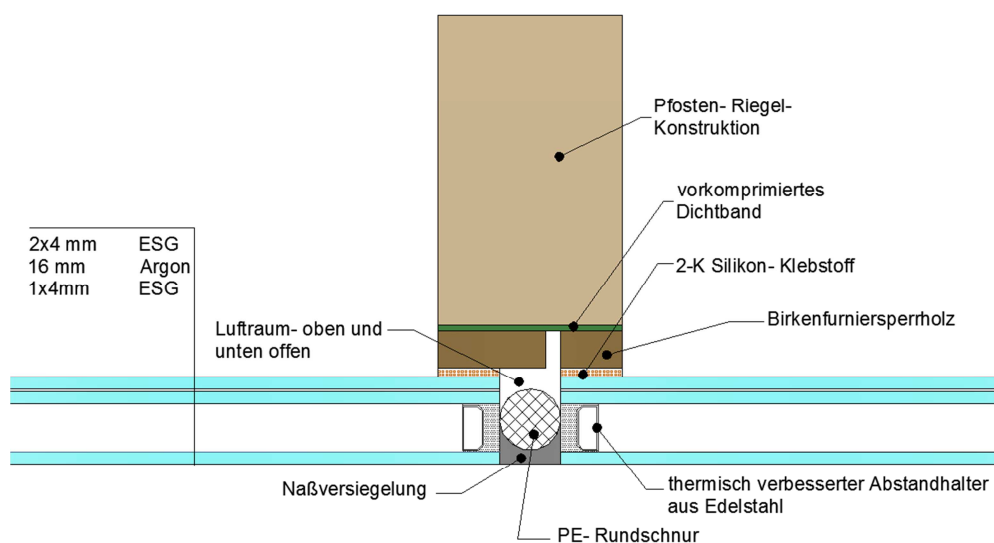
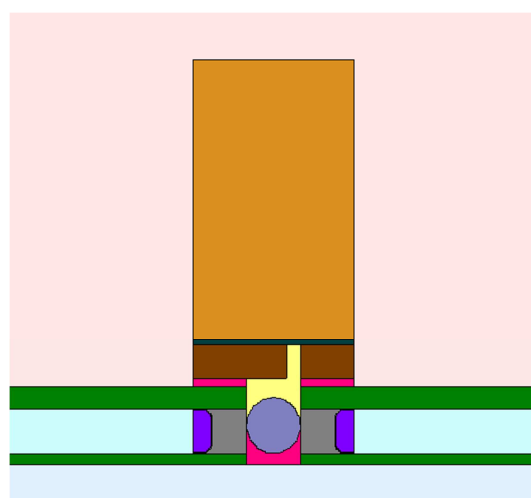
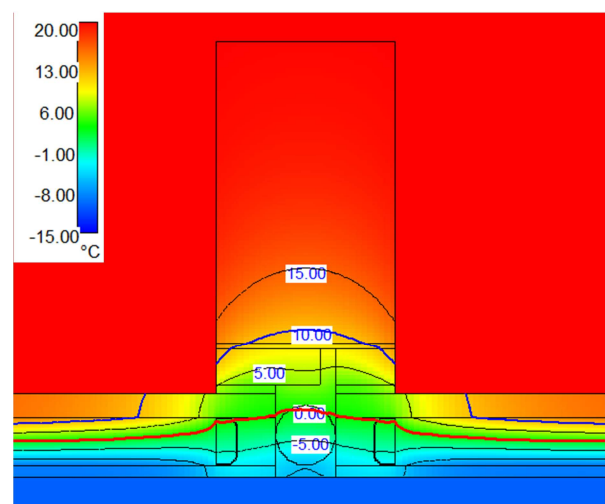


Abb. 94: Konstruktionszeichnung- Variante 05 mit 2-fach Isolierverglasung



Materialfelder



Temperaturfelder

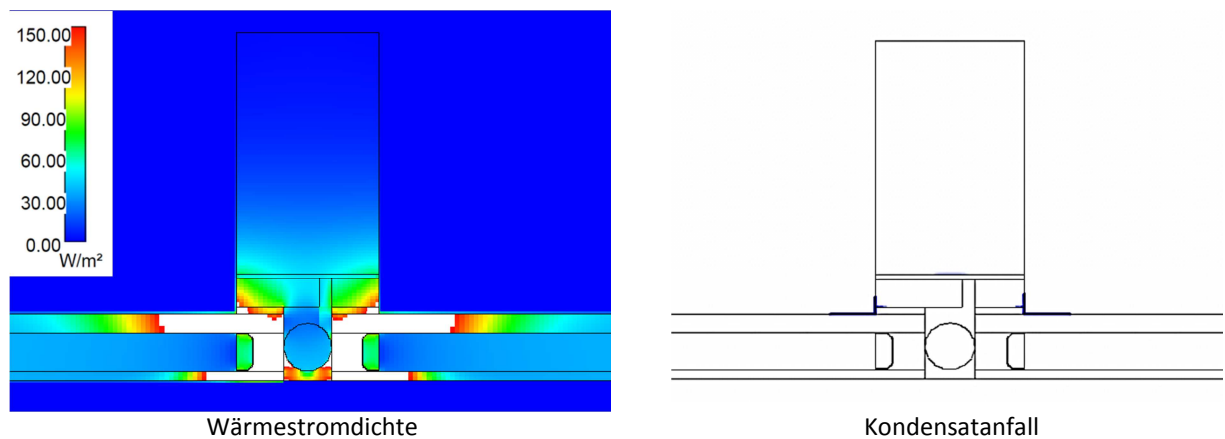


Abb. 95: Wärmebrückenberechnung VAR 05

Tab. 23: Bauphysikalische Kenndaten VAR 05

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,993 W/m²K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,243 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,64 W/m²K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	3,97 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,54
!! 0,54 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Die Ergebnisse zeigen eine zu geringe Oberflächentemperatur im Eckbereich der P-R- Konstruktion. Hier muss unbedingt auf gute Versiegelung der Koppelleisten geachtet werden. Auf konstruktive Lösungen zur Vermeidung von Kondensat im Eckbereich wird später in einem eigenen Kapitel noch näher eingegangen.

5.4.8 Konstruktionsvariante 06: flache Koppelleiste- BFU, 3-fach Isolierverglasung

In Variante 6 kommt erneut das System HFA zum Einsatz, nun mit einer 3-fach Isolierverglasung, wodurch der Einfluss der Verglasung auf die Wärmebrücke beurteilt werden kann.

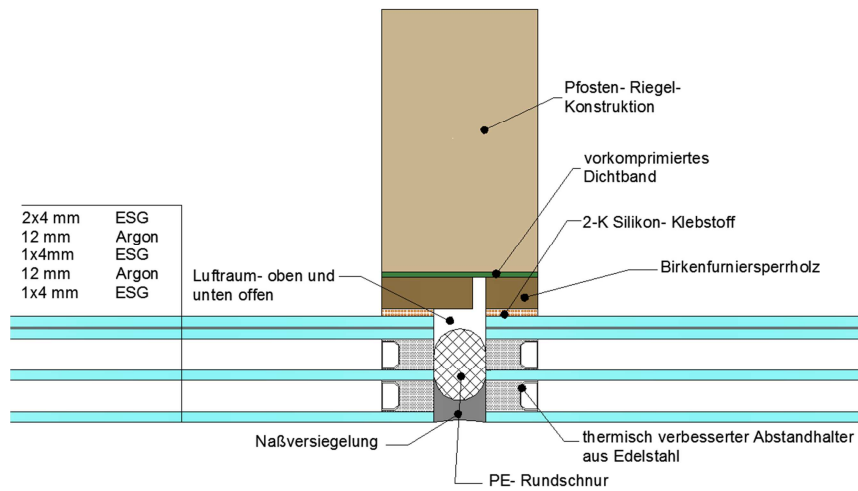
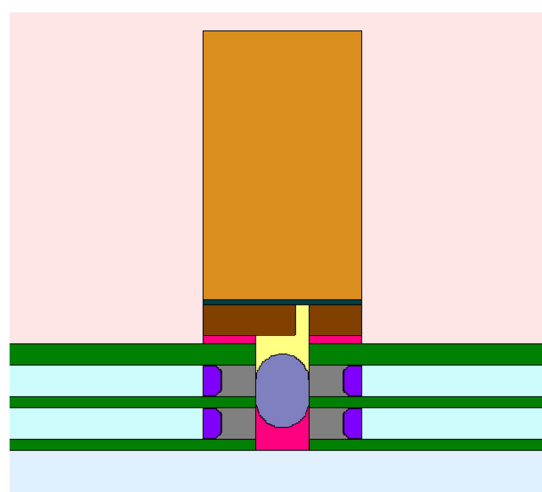
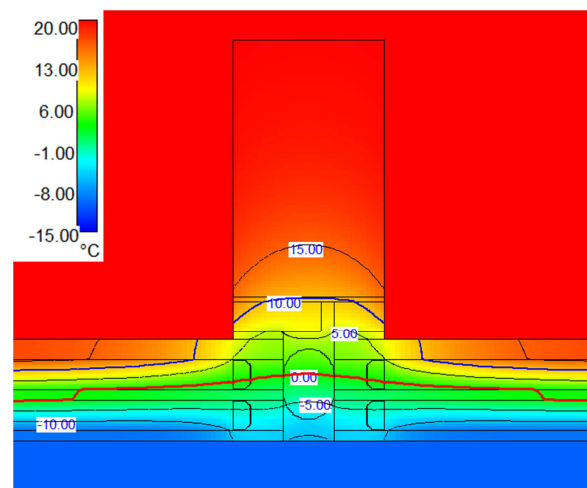
Konstruktionszeichnung:

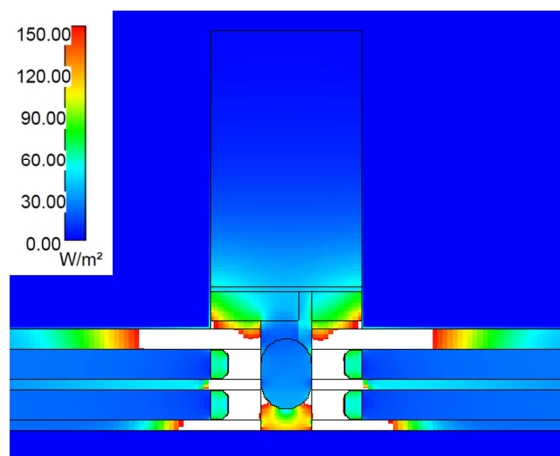
Abb. 96: Konstruktionszeichnung- VAR 04, flache BFU-Leiste- 3-fach Isolierverglasung



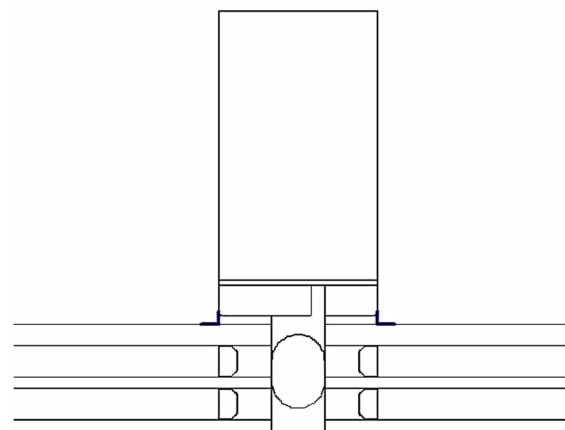
Materialfelder



Temperaturverteilung



Wärmestromdichte



Kondensatanfall

Abb. 97: Wärmebrückenberechnung VAR 06

Tab. 24: Bauphysikalische Kenndaten VAR 06

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,641 W/m ² K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,23 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,27 W/m ² K
Taupunkt	t_{τ}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,min}$	6,48 °C
Temperaturfaktor	$f_{Rs,i}$	0,61
!! 0,61 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Durch die 3- Scheiben Isolierverglasung konnte wiederum die Oberflächentemperatur erheblich gesenkt werden. Auch hier ist zu erkennen, dass sich der U- Wert der Fassade, die minimale Oberflächentemperatur und der Psi- Wert nicht gleichmäßig verändern. So nahm der U- Wert um 30 %, der Psi- Wert lediglich 6 % zu. Der Nachweis nach ÖNORM B 8110 Teil 2 wurde mit dieser Konstruktion knapp nicht erfüllt.

5.4.9 Konstruktionsvariante 07: flache GFK Leiste- 2-fach Isolierverglasung

Variante 07 ähnelt der Konstruktion 05 der Holzforschung Austria sehr stark, in diesem Fall wird allerdings mit einer GFK- Koppelleiste gearbeitet.

Konstruktionszeichnung:

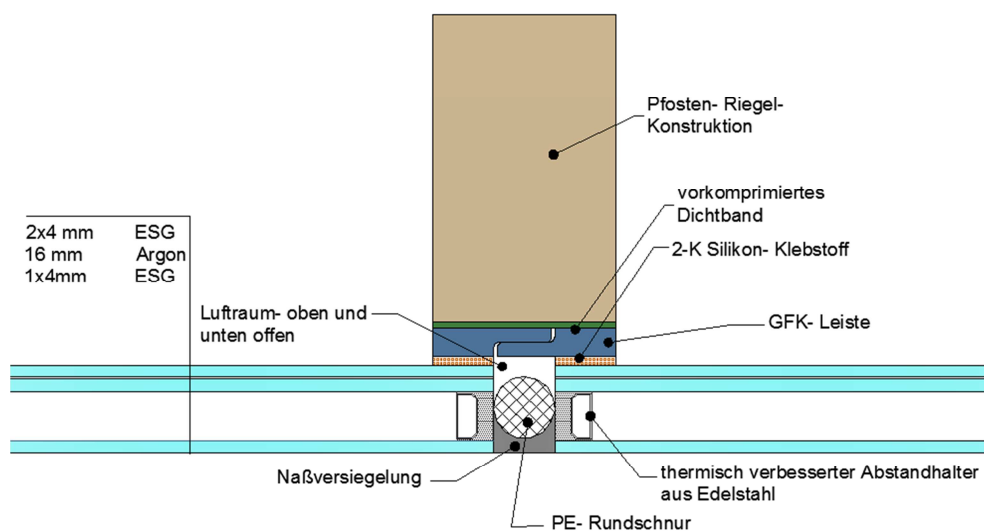
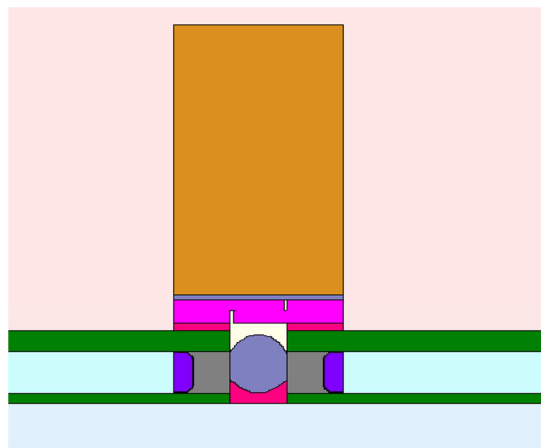
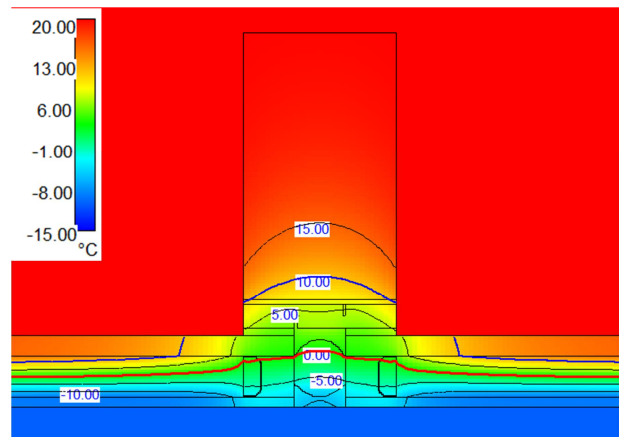


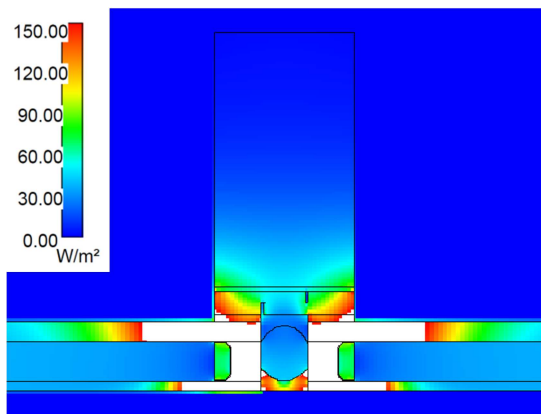
Abb. 98: Konstruktionszeichnung- VAR 07 GFK- 2-fach Isolierverglasung



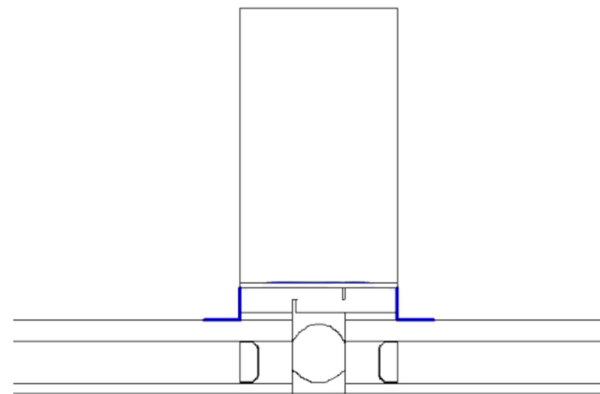
Materialfelder



Temperaturverteilung



Wärmestromdichte



Kondensatanfall

Abb. 99: Wärmebrückenberechnung VAR 07

Tab. 25: Bauphysikalische Kenndaten VAR 07

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,99 W/m²K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,254 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,66 W/m²K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	4,31 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,55
!! 0,55 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

Die Auswertung zeigt ganz ähnliche Ergebnisse wie Variante 01 bis 04, die Ausführung mit GFK-Koppelleisten hat aber den Vorteil, dass diese nicht Feuchteempfindlich sind und somit bei Tauwasseranfall als unproblematisch angesehen werden können.

5.4.10 Konstruktionsvariante 08: flache GFK- Leiste- 3-fach Isolierverglasung

Konstruktionszeichnung:

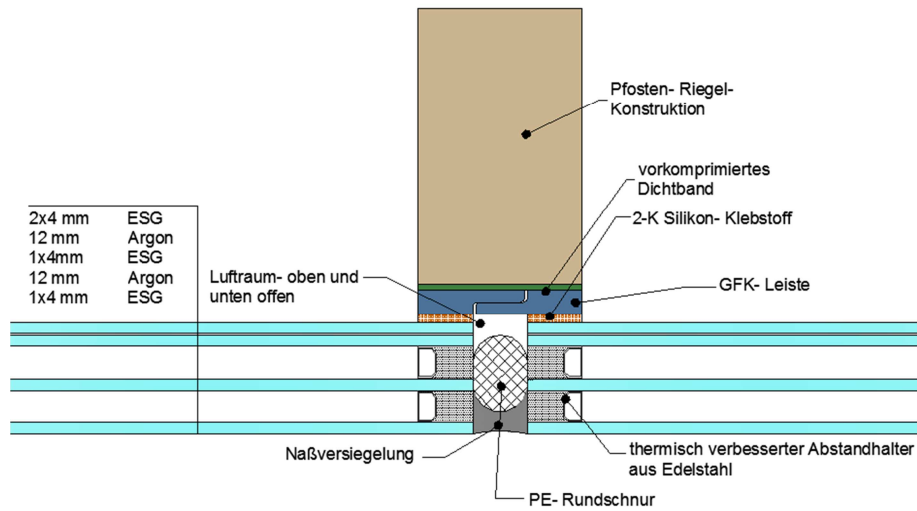


Abb. 100: Konstruktionszeichnung- VAR 08- GFK- 3-fach Isolierverglasung

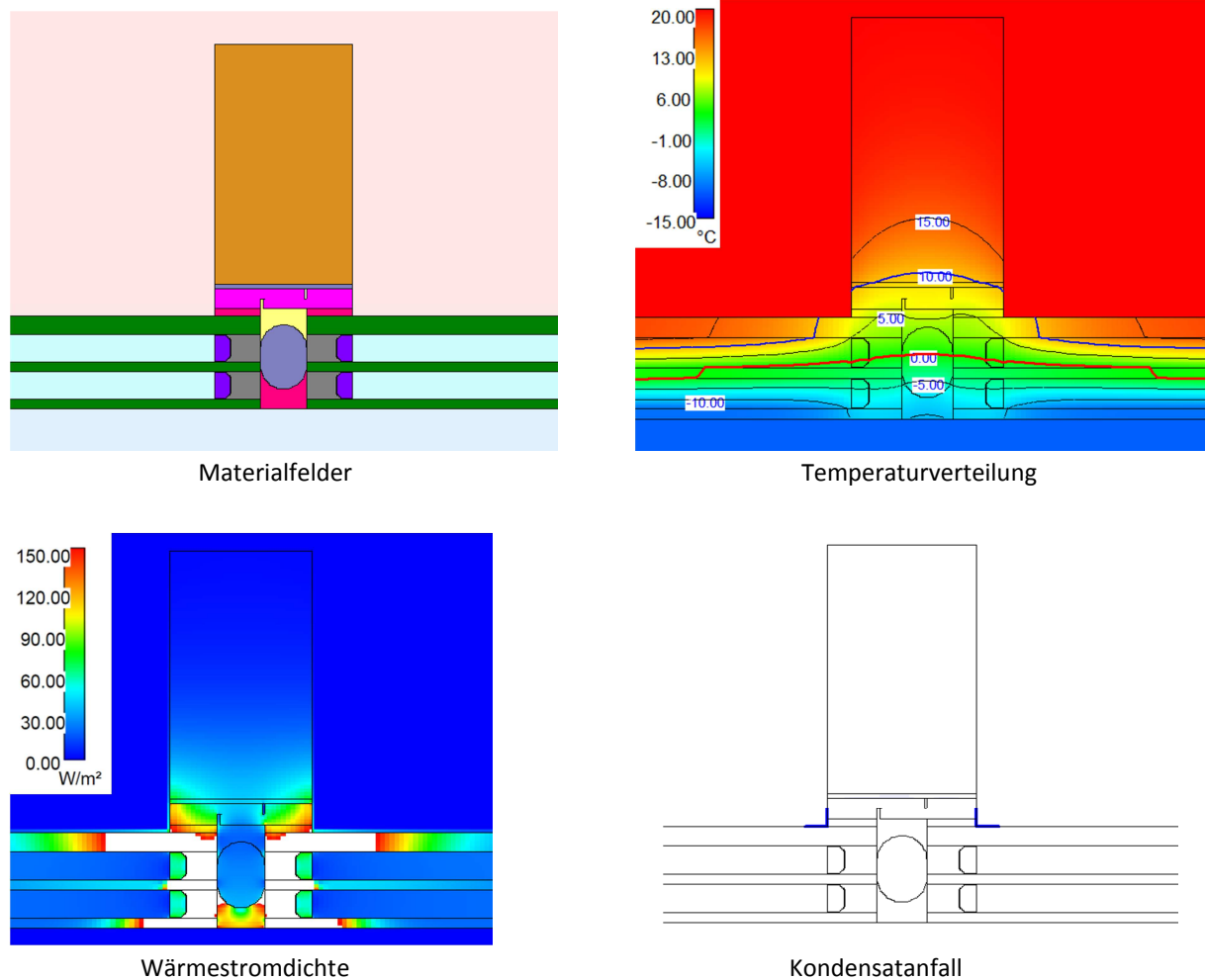


Abb. 101: Wärmebrückenberechnung VAR 08

Tab. 26: Bauphysikalische Kenndaten VAR 08

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,641 W/m ² K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,236 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,28 W/m ² K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	6,88 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,63
!! 0,63 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

5.4.11 Konstruktionsvariante 09: System Alu- 2-fach Isolierverglasung

Um einen Vergleich mit einem langjährig eingesetzten Bauprodukt zu ermöglichen und somit die Vor- und Nachteile besser abwägen bzw. gegenüber stellen zu können, wird an dieser Stelle eine P-R-Konstruktion aus Aluminium berechnet. Dieses System wurde aus der Produktpalette der Firma Eckelt GmbH entnommen. (vgl. Eckelt (03.03.2013))

Konstruktionszeichnung:

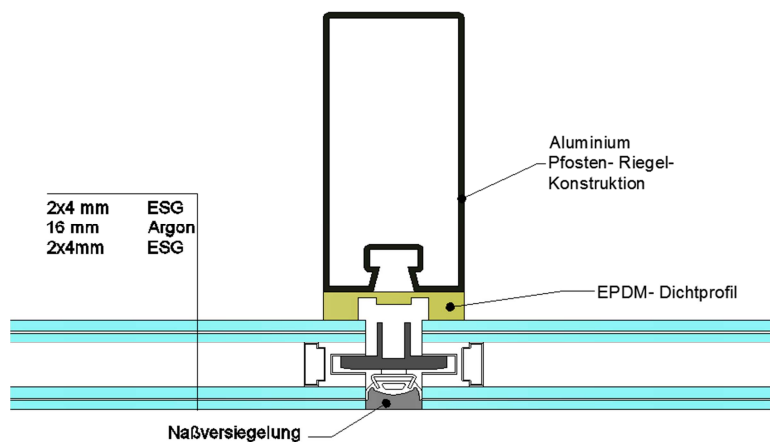
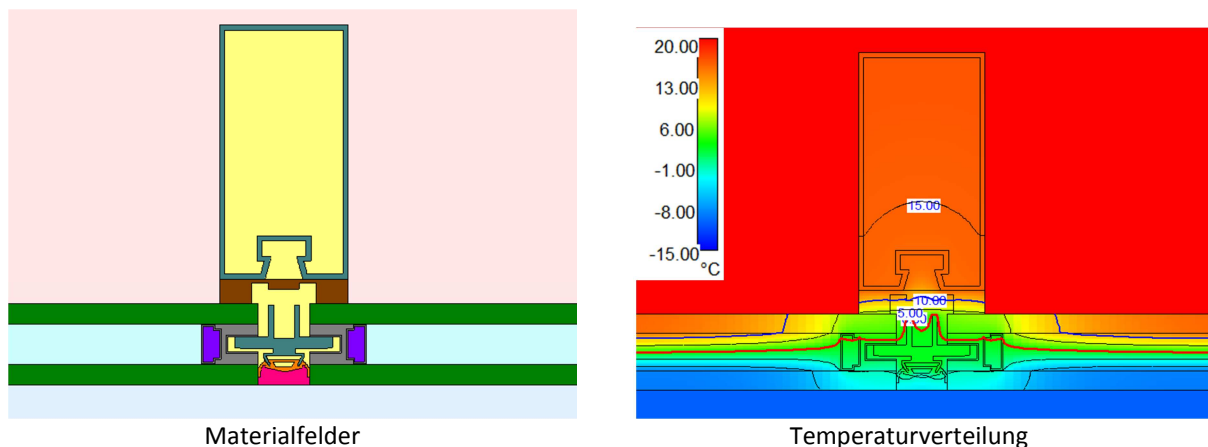


Abb. 102: Konstruktionszeichnung VAR 09, Aluminium, 2-fach Verglasung



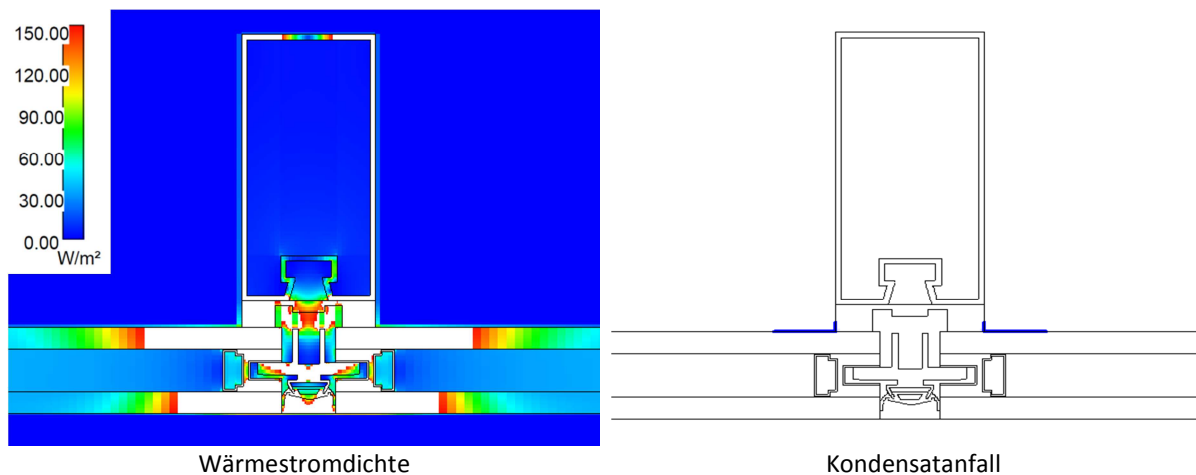


Abb. 103: Wärmebrückenberechnung VAR 09

Tab. 27: Bauphysikalische Kenndaten VAR 09

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,99 W/m²K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,335 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	2,068 W/m²K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	4,03 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,54
!! 0,54 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

5.4.12 Konstruktionsvariante 10: System Alu- 3-fach Isolierverglasung

Konstruktionszeichnung:

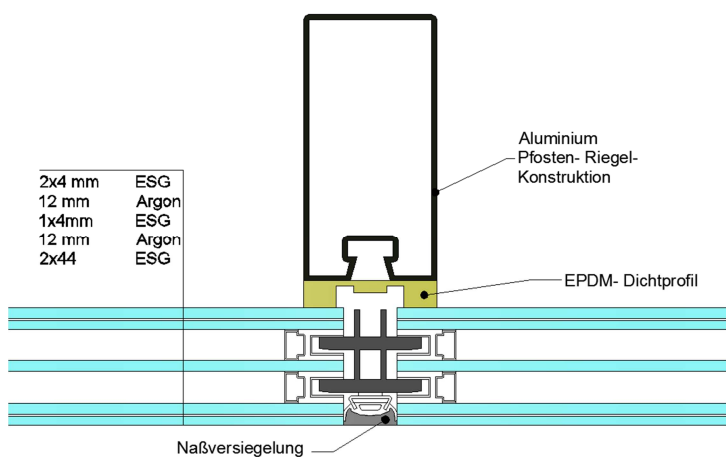


Abb. 104: Konstruktionszeichnung VAR 10, Aluminium, 3-fach Verglasung

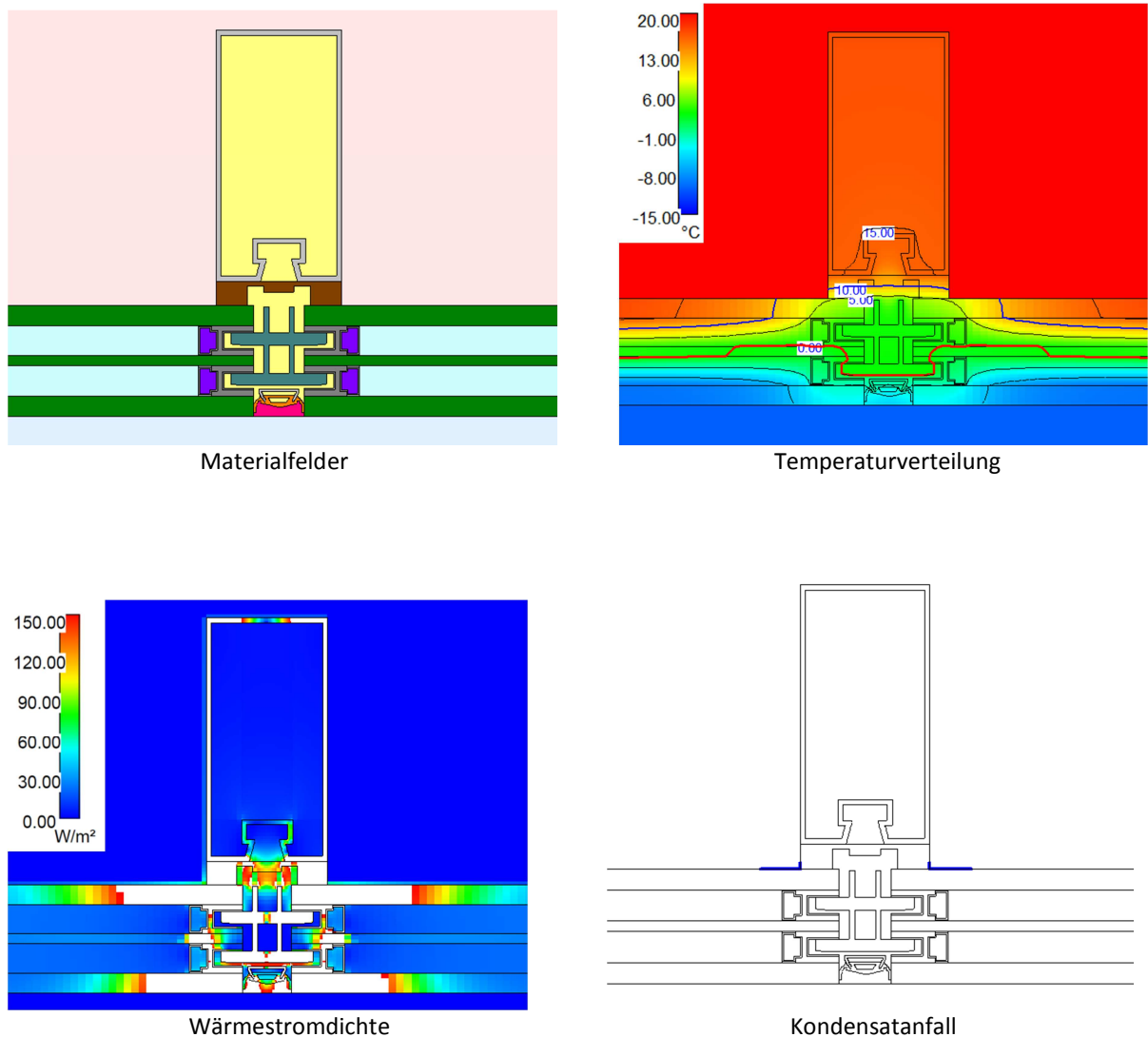


Abb. 105: Wärmebrückenberechnung VAR 10

Tab. 28: Bauphysikalische Kenndaten VAR 10

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	U_g	0,631 W/m²K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Ψ	0,32 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	U_w	1,742 W/m²K
Taupunkt	t_{tau}	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,\text{min}}$	5,18 °C
Temperaturfaktor	$f_{R_s,i}$	0,58
!! 0,58 < 0,69 und < 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!		

5.4.13 Vergleich der Berechnungsergebnisse

In diesem Kapitel werden die Berechnungsergebnisse der Wärmebrückenberechnungen der verschiedenen Konstruktionssysteme grafisch gegenübergestellt.

Abb. 106 stellt die minimalen Oberflächentemperaturen, die in den Eckbereichen der Konstruktion auftreten, dar. Die blaue strichlierte Linie zeigt die Taupunkt- Temperatur, die bei 20°C und 50 %

relativer Luftfeuchtigkeit bei 9,26°C liegt. Die höchsten Temperaturen können mit dem System der TU- Wien (gefaltete Birken BFU- Koppelleiste) erreicht werden. Das schlechteste Ergebnis wird mit dem System der HFA (flache Birken BFU- Koppelleiste) erreicht, welches sicherlich noch für den Einsatz überdacht werden sollte. Es ist zwar an dieser Stelle anzumerken, dass mit der Software „WINISO“ eine hygrische Berechnung durchgeführt werden kann, jedoch nur qualitativ eine Aussage getroffen werden kann. Entscheidend ist, ob die anfallende Kondensat- Menge über die Zeit wieder vollständig austrocknen kann, oder ob es zu einem Aufschaukeln der Feuchtigkeit kommt bzw. wie sich die Materialien bei Feuchtigkeit verhalten. Hier ist im Speziellen die BFU- Leiste als kritisch anzusehen.

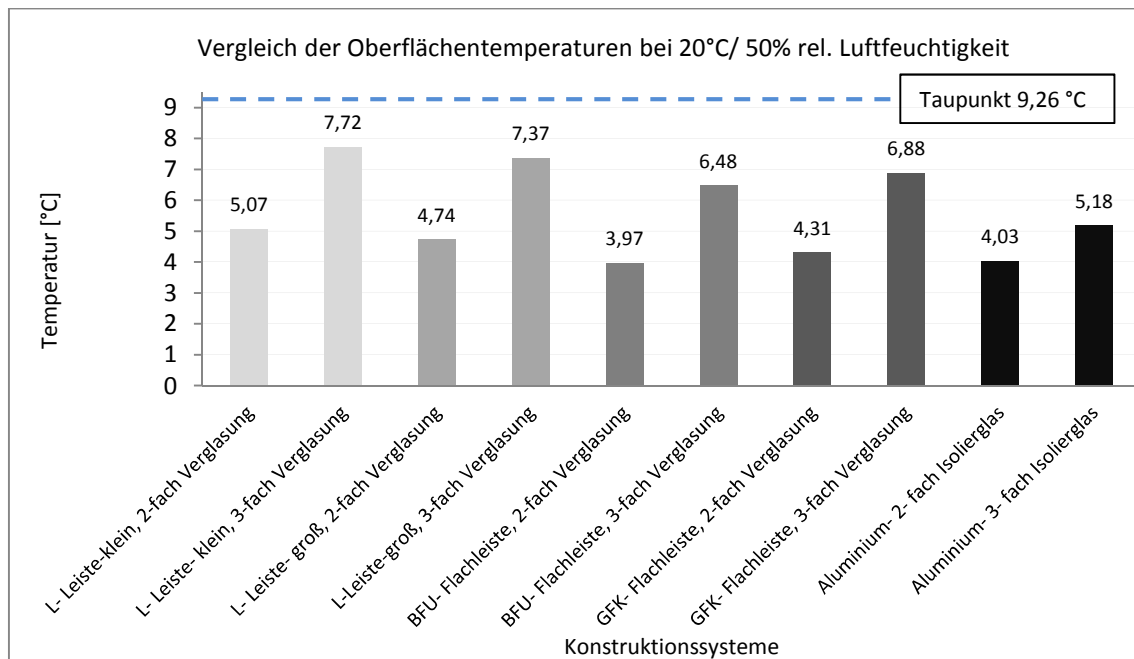


Abb. 106: Vergleich der Oberflächentemperaturen für Edelstahlrandverbund und Argonfüllung

In Abb. 107 und Abb. 108 stellt sich heraus, dass das System der HFA nicht am schlechtesten abschneidet, sondern eindeutig die Aluminiumkonstruktion am problematischsten ist. Wiederum positiv ins Auge sticht das System L- Leiste aus Birkenfurniersperrholz.

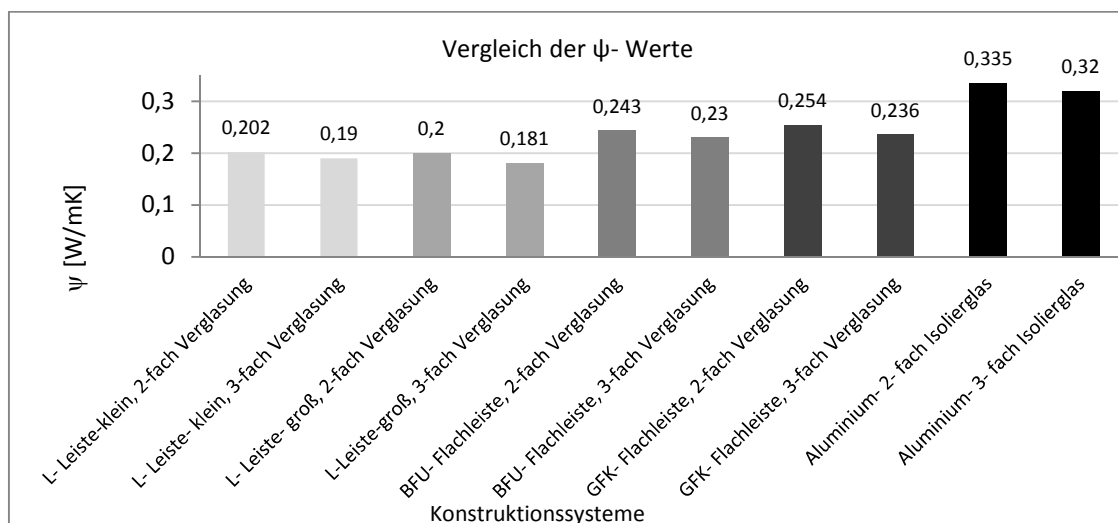


Abb. 107: Vergleich der ψ - Werte für Edelstahlrandverbund und Argonfüllung

Im direkten Zusammenhang mit dem Psi- Wert stehen die U- Werte der Fassade, somit treten die minimal und maximal Werte wieder an den vorher genannten Systemen auf.

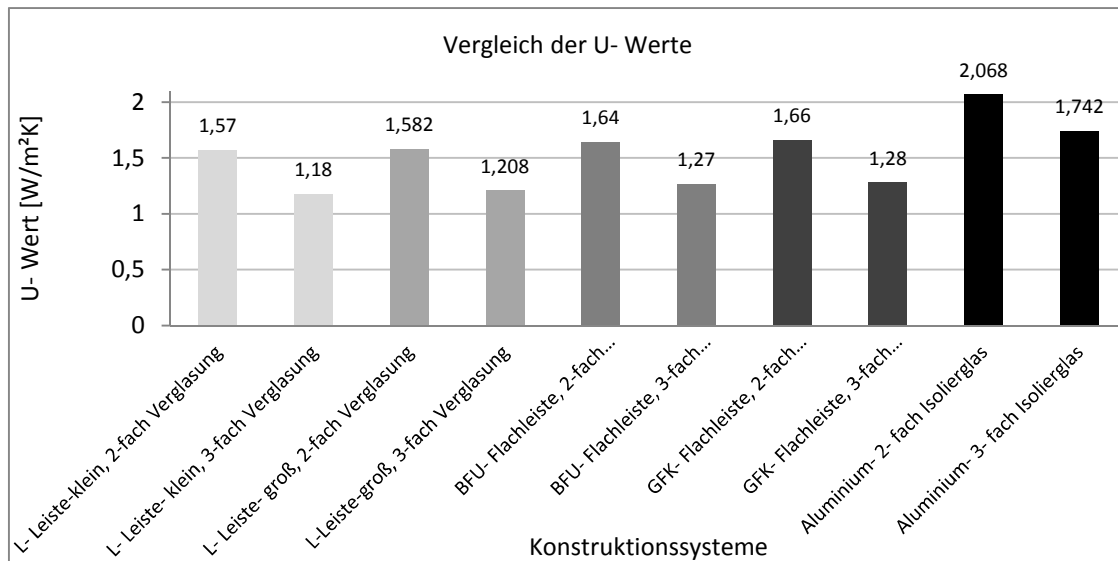
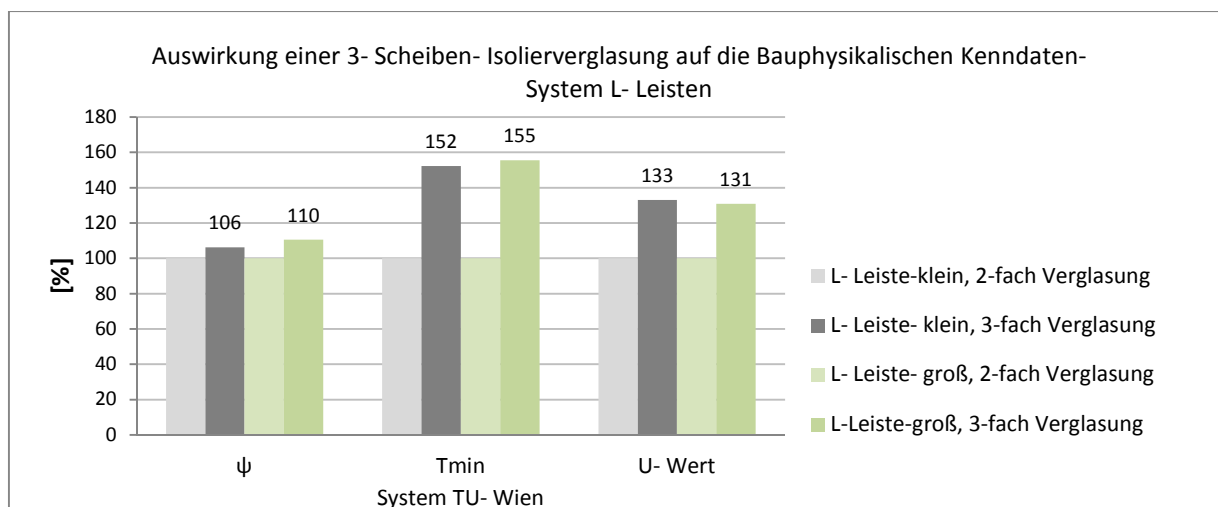


Abb. 108: Vergleich der U- Wert für Edelstahlrandverbund und Argonfüllung

Untersucht wurde auch, welche prozentuelle Auswirkung eine 3- fach Verglasung gegenüber einer Ausführung mit 2-Scheiben-Isolierverglasung auf die bauphysikalischen Kenndaten hat (Abb. 109). Hierbei wurde die Zweifachverglasung der jeweiligen Systeme als Ausgangswert herangezogen (100 %), um die prozentuellen Abweichungen der Drei- Scheiben Isolierverglasung ersichtlich zu machen. Hier zeigt sich, dass sich die Werte nicht gleichmäßig verbessern, sondern sehr unterschiedlich. Wie sich herausstellt, entstehen die größten Einflüsse auf die Oberflächentemperatur und die geringsten auf die ψ - Werte. Daraus lässt sich schließen, dass eine Verbesserung der Wärmedämmleistung der angrenzenden Bauteile, in diesem Fall der Isolierglasscheiben, nur bedingt zur Verbesserung des Wärmebrückenbeiwertes (Psi) beiträgt, es jedoch sehr stark zur Erhöhung der Oberflächentemperatur.



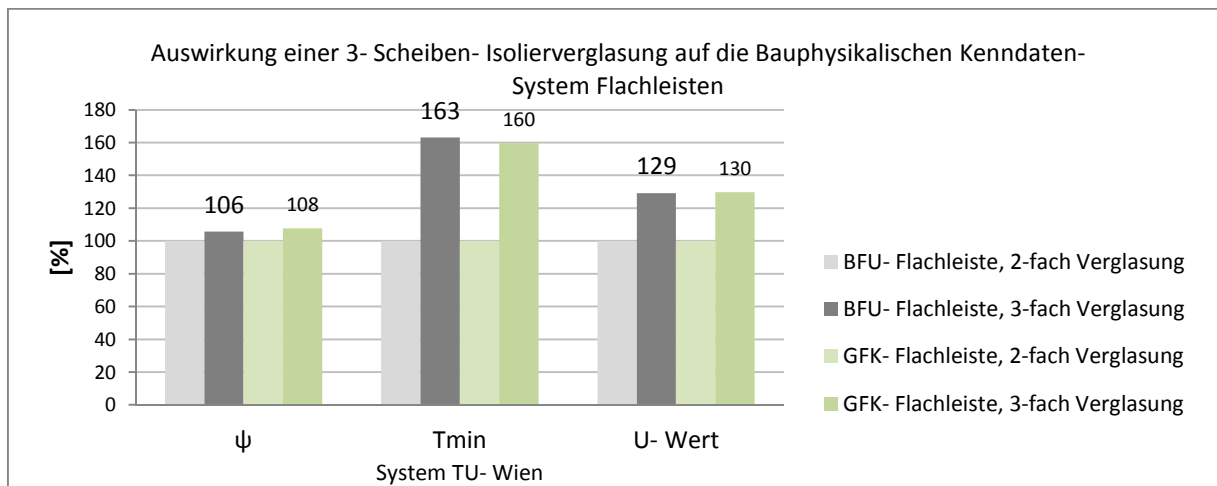


Abb. 109: Prozentuelle Abweichung der Bauphysikalischen Kenndaten

Da sich die Wärmebrücken durch Anordnung von Mehrscheiben- Isolierverglasungen nur bedingt verbessern lässt, werden im folgenden Kapitel die Einflüsse anderer Bauteilkomponenten untersucht und verglichen.

5.4.14 Einfluss des Randverbundes der Isolierverglasung auf die Wärmebrücke

Da der Randverbund einer Isolierverglasung einen wesentlichen Einfluss auf das Wärmedämmverhalten hat, werden an dieser Stelle drei verschiedene Systeme miteinander verglichen.

Folgende Abbildung zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Randverbundes einer Isolierverglasung:

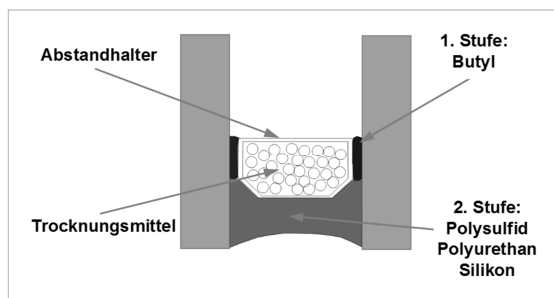


Abb. 110: Randverbund Isolierglas (Isolar (04.03.2013))

Untersuchte Systeme:

- Abstandhalter aus Aluminium: dieses System ist für den Einsatz von hochwärmedämmenden Systemen nicht geeignet, da Aluminium eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt (160 W/mK).
- Abstandhalter aus Edelstahl: dieser besitzt ca. 1/9 der Wärmeleitfähigkeit von Aluminium und wird seit einigen Jahren als Alternativvariante eingesetzt.
- Abstandhalter aus Silikonmatrix: dieser stellt eine neue Entwicklung dar. Nicht wie bei den vorher genannten Systemen, bei denen nur die Umhüllungsfläche des Abstandhalters aus dem

jeweiligen Material besteht, besteht dieser vollständig aus Silikonschaumstoff mit integrierten Trocknungsmitteln (siehe Abb. 111). An der Unterseite, bis zum Bereich der Butyl- Verklebung, wird eine Aluminiumfolie aufgebracht, die einen dampfdichten Abschluss gewährleistet.

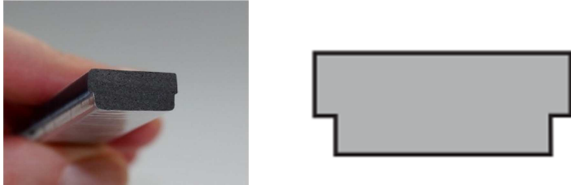


Abb. 111: Randverbund aus einer Silikonmatrix (Glas Trösch Beratungs-GmbH (04.03.2013))

Aufgrund der großen Anzahl der Berechnungen wird in diesem Kapitel auf eine Grafische Darstellung der einzelnen Berechnungen der Systemvarianten verzichtet. Nachfolgend werden die betrachteten Systeme in punkto Oberflächentemperatur, PSI- Wert und mittlerer U- Wert der Fassade verglichen. Als Füllung für den Scheibenzwischenraum wird wiederum ein Argon- Gas verwendet.

Berechnungsergebnisse:

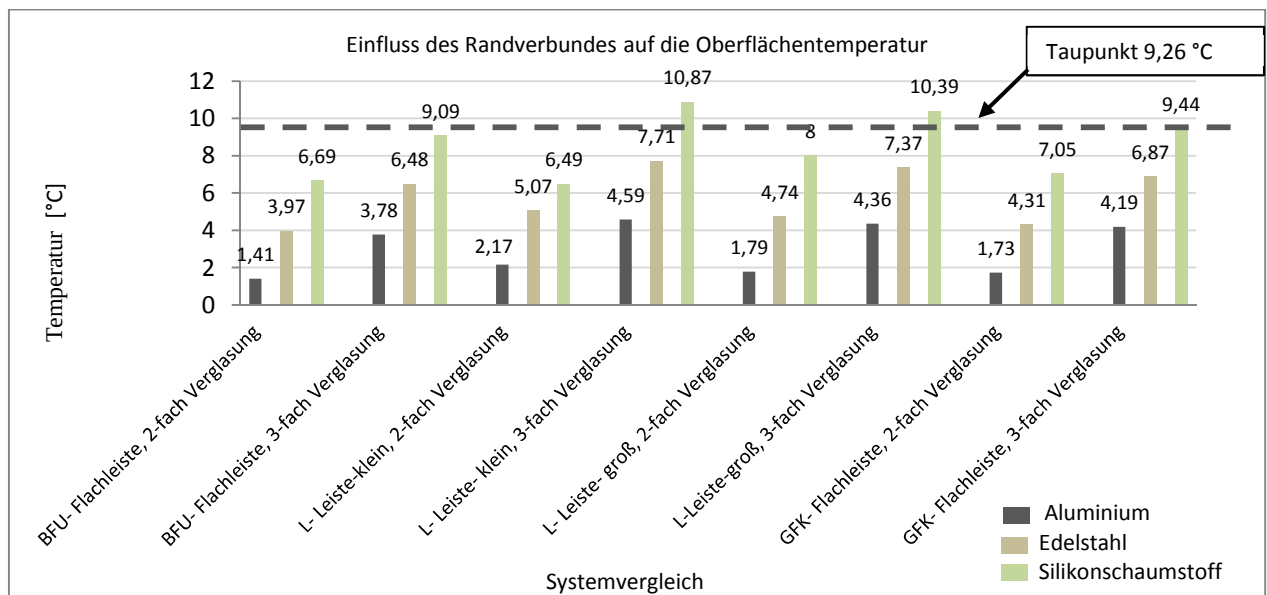


Abb. 112: Einfluss des Randverbundes auf die Oberflächentemperatur

Bei einer Ausführung mit Silikonschaumstoff als Randverbundsystem kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Innenraumlufttemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 %, an keiner Stelle der Oberfläche die Taupunkttemperatur unterschritten wird und Kondensatanfall ausgeschlossen werden kann.

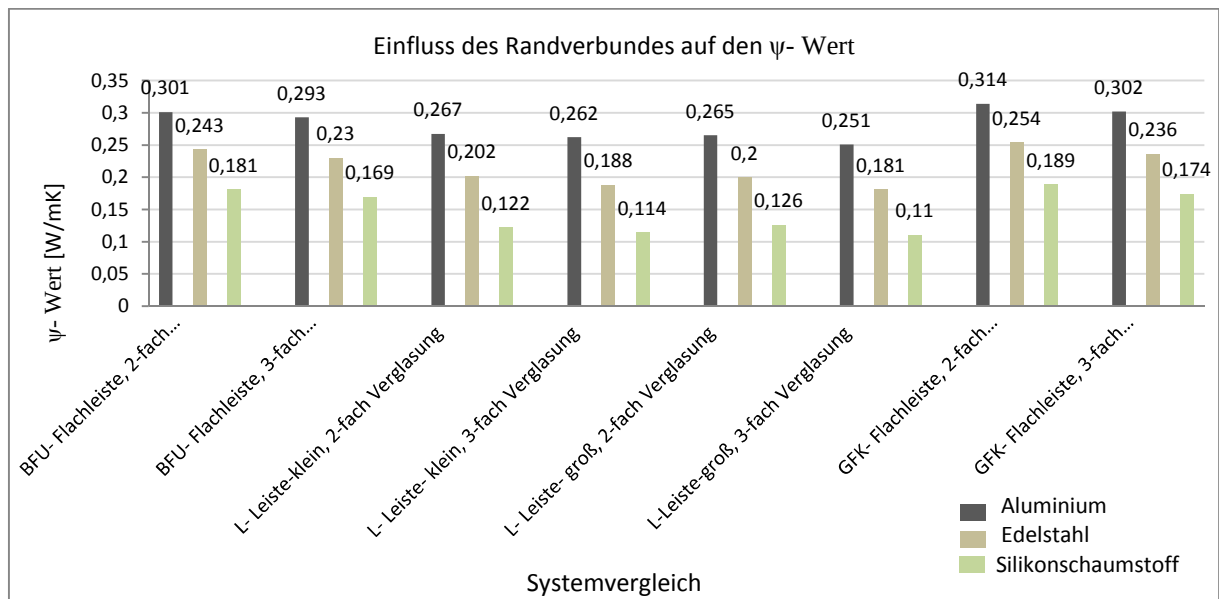
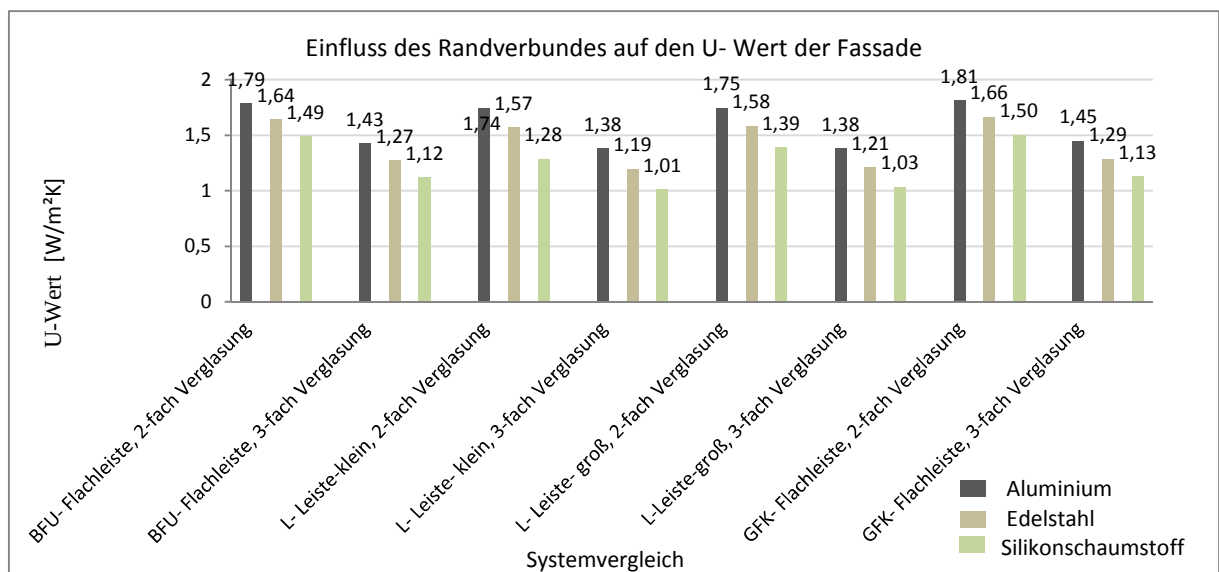
Abb. 113: Einfluss des Randverbundes auf den ψ -Wert

Abb. 114: Einfluss des Randverbundes auf den mittleren U- Wert der Fassaden

Fasst man die Berechnungsergebnisse zusammen, so kann behauptet werden, dass durch den Randverbund alle drei Berechnungsparameter wesentlich beeinflusst werden, am stärksten jedoch die minimale Oberflächentemperatur. Diese beträgt bis ca. 500% und trägt zur Vermeidung bzw. Reduzierung des Oberflächenkondensats in den Eckebereichen der Koppelleisten bei. Die Auswirkungen des ψ - Wertes und des U- Wertes betragen bis ca. + 80 %, dies wirkt sich ebenfalls sehr positiv auf den Heizwärmebedarf aus.

Zusammenfassend kann für die Berechnung des Einflusses des Randverbundes festgestellt werden, dass die bauphysikalischen Kenndaten massiv von diesem Eckdetail der Isolierverglasung abhängig sind.

5.4.15 Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Koppelleisten

Weiters wird untersucht, wie sich die Konstruktionen bei einer Änderung der Wärmeleitfähigkeit der Koppelleisten verhalten. Im Speziellen wird an dieser Stelle nur auf die Systeme eingegangen, die ein Birkensper Holz als Koppelleiste verwenden, da für GFK- Leisten keine Werte vorliegen, die als Ersatzkennwerte verwendet werden könnten.

Bei den Sperrholzleisten wird statt der bisher verwendeten Holzart Birke eine Fichte zur Anwendung gebracht. Für Nadelholzsperrholz kann laut „Handbuch über Finnisches Sperrholz“ ein λ -Wert von 0,11 W/mK statt $\lambda = 0,147$ W/mK angesetzt werden. (vgl. Verband der Finnischen Forstindustrie, (2001), S. 25) Als Randverbundsystem kommt Edelstahl und für den Scheibenzwischenraum eine Argon- Gasfüllung zum Einsatz.

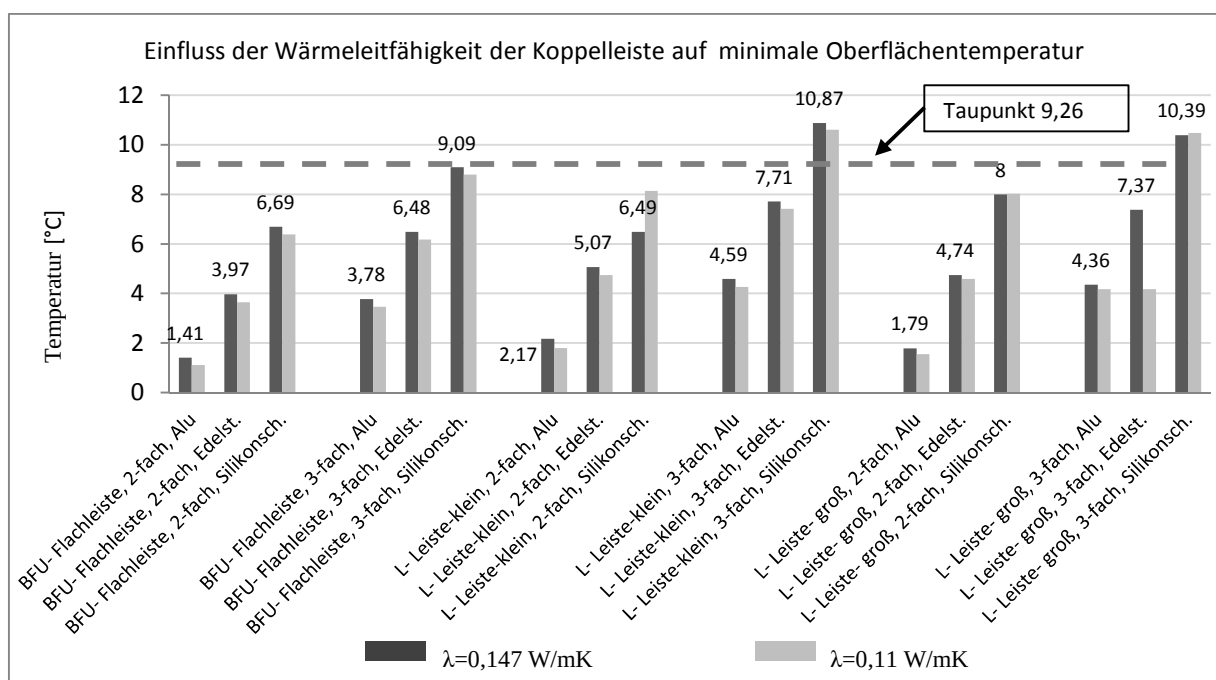


Abb. 115: Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf die Oberflächentemperatur

Zum größten Teil ergeben sich für Koppelleisten mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit auch niedrigere Oberflächentemperaturen, bis auf ein paar Ausnahmen. Das heißt, dass sich eine Herabsetzung der Leitfähigkeit nicht positiv auswirkt. Dies kann so begründet werden, dass durch eine höhere Wärmeleitfähigkeit mehr Wärme ins Bauteilinnere transportiert wird und sich somit die Temperaturgradienten nach außen verschieben. Berechnungen mit Aluminium- Koppelleisten bestätigen diesen Zusammenhang eindeutig.

Die Auswirkungen auf den ψ - Wert und U- Wert sind jedoch als positiv anzusehen. Dieser Unterschied ist jedoch kaum bemerkbar und wird daher den Heizwärmebedarf nur unwesentlich beeinflussen.

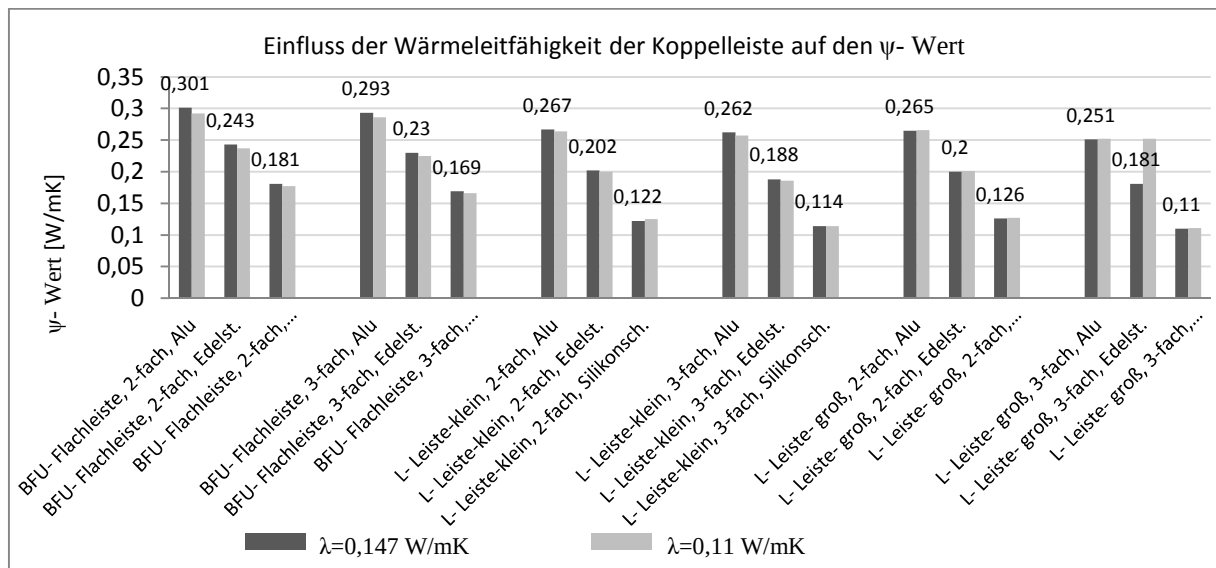
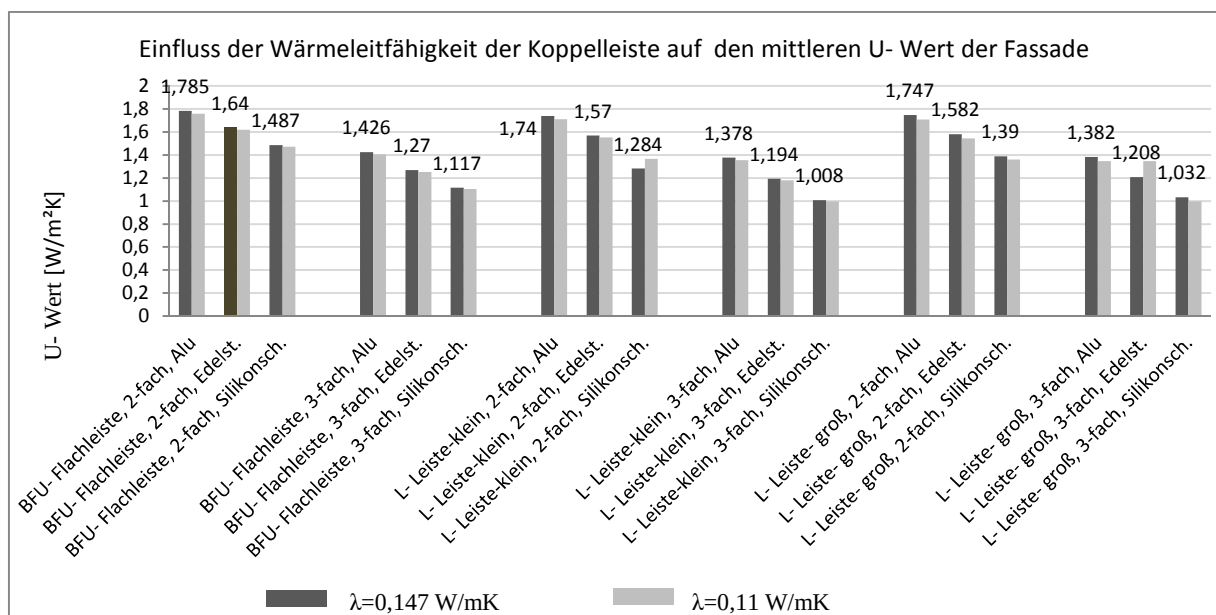
Abb. 116: Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf den ψ -Wert

Abb. 117: Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf den U-Wert

5.4.16 Einfluss der Gasfüllung im Scheibenzwischenraum

Einen weiteren wesentlichen Einfluss kann die Gasfüllung in den Glaszwischenräumen der Isolierverglasung haben. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die dauerhafte Dichtheit des Randverbundes. Laut Tagungsband „Geklebtes Glas in Fenster und Fassade“ kann aufgrund eines defekten Randverbundes oder bei zu geringem Gasanteil infolge von Defiziten in der Fertigung, ein bis zu 38 % schlechterer U-Wert resultieren. (vgl. Hochschule Augsburg, (2013), S.36)

Um diesen Einfluss zu verdeutlichen bzw. zu bestätigen, wird hier eine Variante angenommen, bei der sich 100% Luft im Scheibenzwischenraum befindet und somit den Totalausfall der Gasdichtheit

einer Scheibe darstellt. Als zweite und dritte Variante wird Argon und Krypton- Gas verwendet und miteinander verglichen.

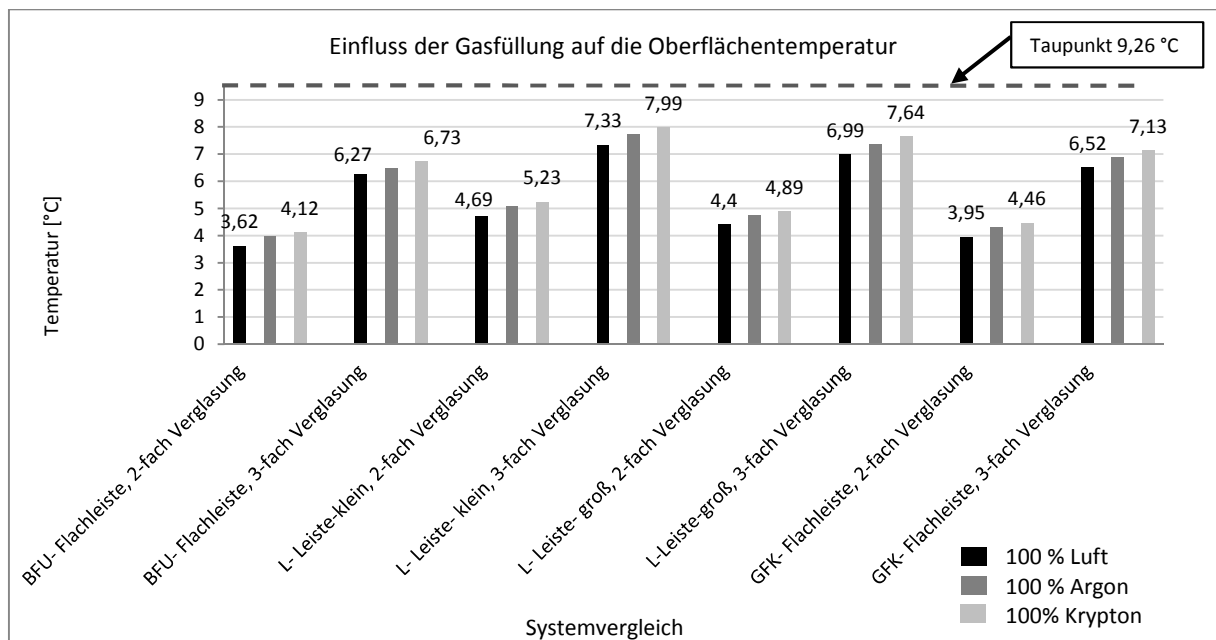


Abb. 118: Einfluss der Gasfüllung auf die Oberflächentemperatur

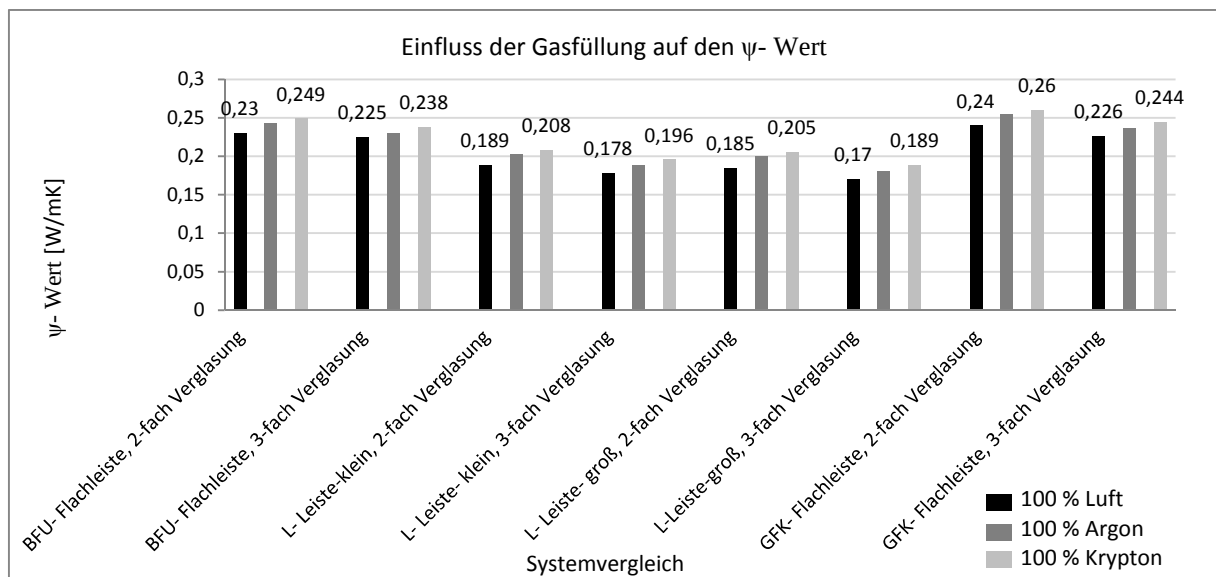


Abb. 119: Einfluss der Gasfüllung auf den ψ - Wert

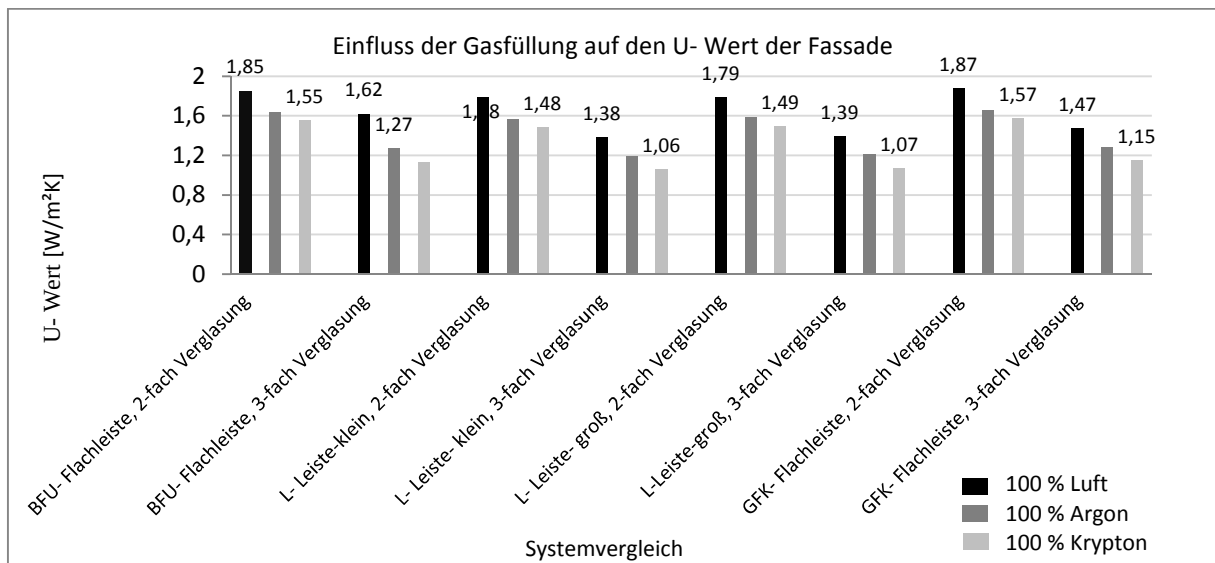


Abb. 120: Einfluss der Gasfüllung auf den U- Wert

Die Abb. 118 bis Abb. 120 zeigen die Auswertungen der Berechnungsergebnisse von verschiedenen Scheibefüllungen für 8 verschiedene Konstruktionsvarianten. Zu erkennen ist, dass hauptsächlich der mittlere U- Wert beeinflusst wird. So kann bei einer Kryptonfüllung, eine Verbesserung im Vergleich zu einer Luftfüllung von bis zu durchschnittlich 30 % erreicht werden. Diese Auswirkungen tragen massiv zu einer Verbesserung des Heizwärmebedarfs bei. Geringer sind die Einflüsse auf die Oberflächentemperatur und den ψ - Wert, diese betragen durchschnittlich nur 10 %. Zusammenfassend kann behauptet werden, dass die Art der Füllung des Scheibenzwischenraums nur unwesentlich mit der Wärmebrücke in Verbindung steht.

5.4.17 Zusammenfassender Variantenvergleich der Wärmebrückenberechnung

In diesem Kapitel werden alle Einflussparameter, die in den vorherigen Kapiteln durchgerechnet wurden, verglichen, wobei der Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Koppelleisten hier außer Acht gelassen wird, da die Auswirkungen auf die Konstruktion sehr gering sind. In folgenden Abbildungen werden die Berechnungsergebnisse nach dem U- Wert in absteigender Reihenfolge sortiert. Zu den sortierten U- Werten werden jeweils die minimalen Oberflächentemperaturen und die ψ - Werte dargestellt.

Aus diesen Grafiken kann bestimmt werden, wie sich, je nach Randverbundsystem, bei unterschiedlichen Isolierglasfüllungen und Scheibenaufbauten, die Temperatur und der ψ – Wert in Abhängigkeit des U- Wertes verändern.

In Abb. 121 ist zu erkennen, dass der Temperaturverlauf zwar eindeutig vom U- Wert abhängig ist, jedoch keine lineare Beziehung vorhanden ist. Genau bei den Systemen, bei denen der Randverbund aus Aluminium ist, kommt es zu einem starken Abfall der Temperatur. An diesen Systemen treten auch die Spitzen des ψ - Wertes auf. Es kann weiters festgestellt werden, dass der ψ - Wert mit Verbesserung des U- Wertes abnimmt, und zwar jeweils um ca. 50 %.

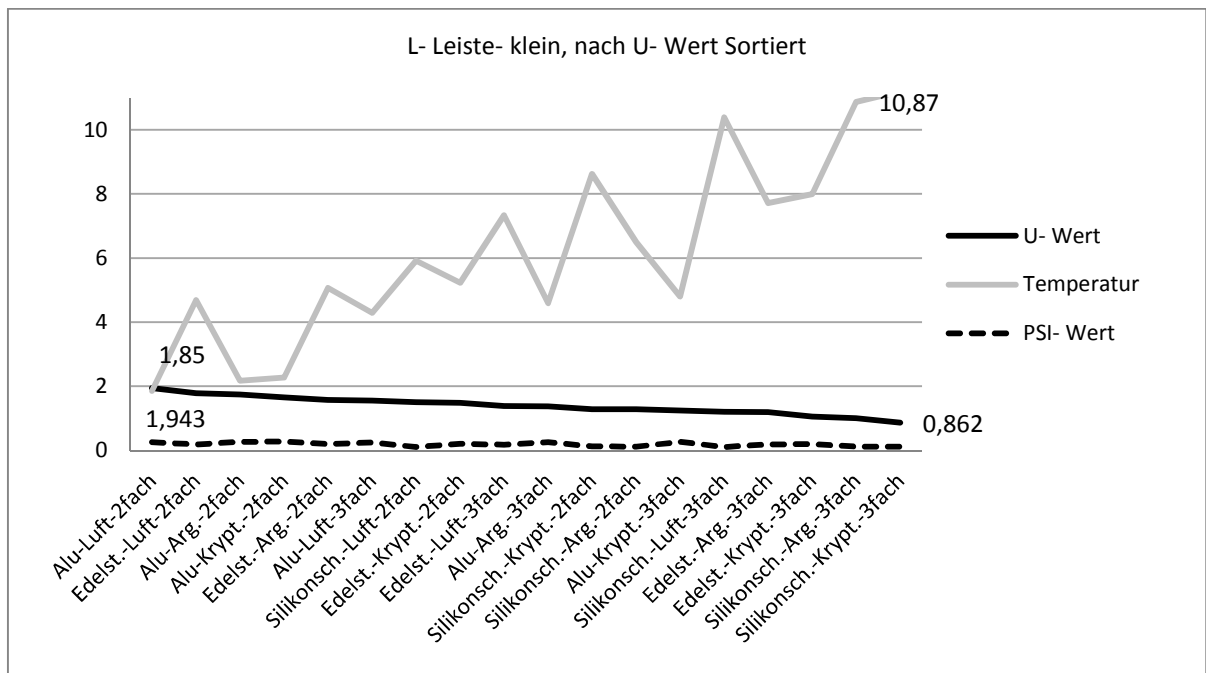


Abb. 121: Vergleich der Einflussparameter für L- Leiste, klein

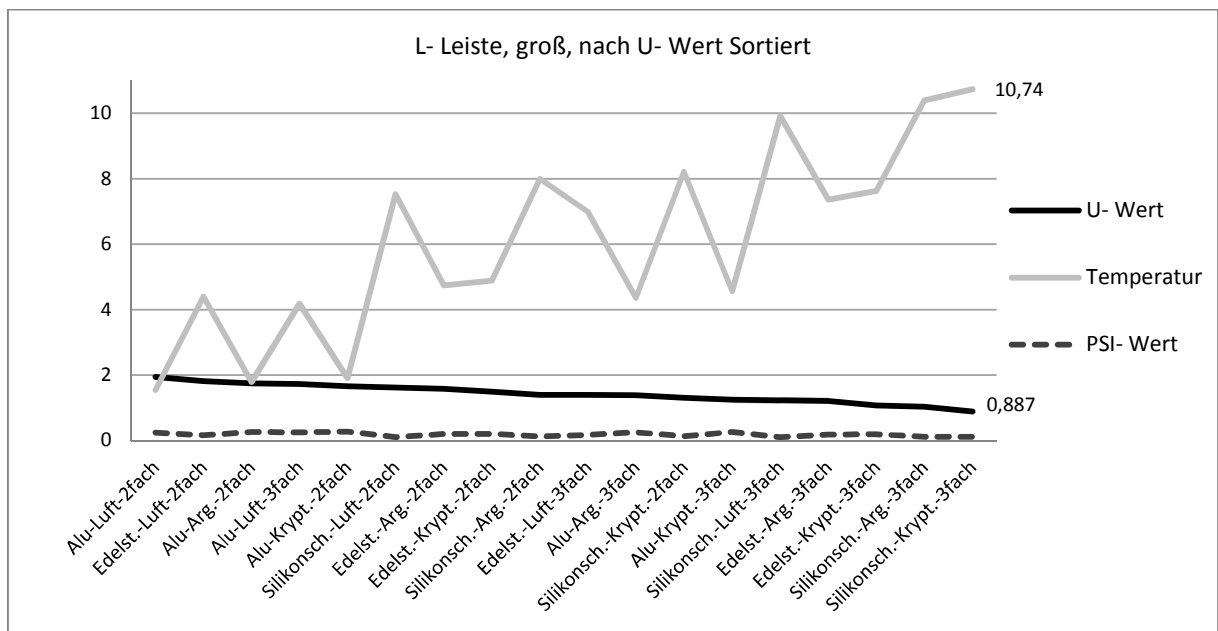


Abb. 122: Vergleich der Einflussparameter für L- Leiste, groß

Die Systeme L- Leiste- klein und L- Leiste- groß weisen grundsätzlich sehr ähnliche Ergebnisse auf. Betrachtet man die Auswertung genauer, so ist die Ausführung mit einer kleinen Koppelleiste aus Birkenfurniersperrholz zu bevorzugen.

Abb. 123 und Abb. 124 stellen die Systeme mit Flachleisten dar. Die Verläufe und Abhängigkeiten der Parameter ähneln grundsätzlich der Ausführung mit L- Leisten. Jedoch kann jeweils ein um ca. 10 % schlechterer Wert festgestellt werden.

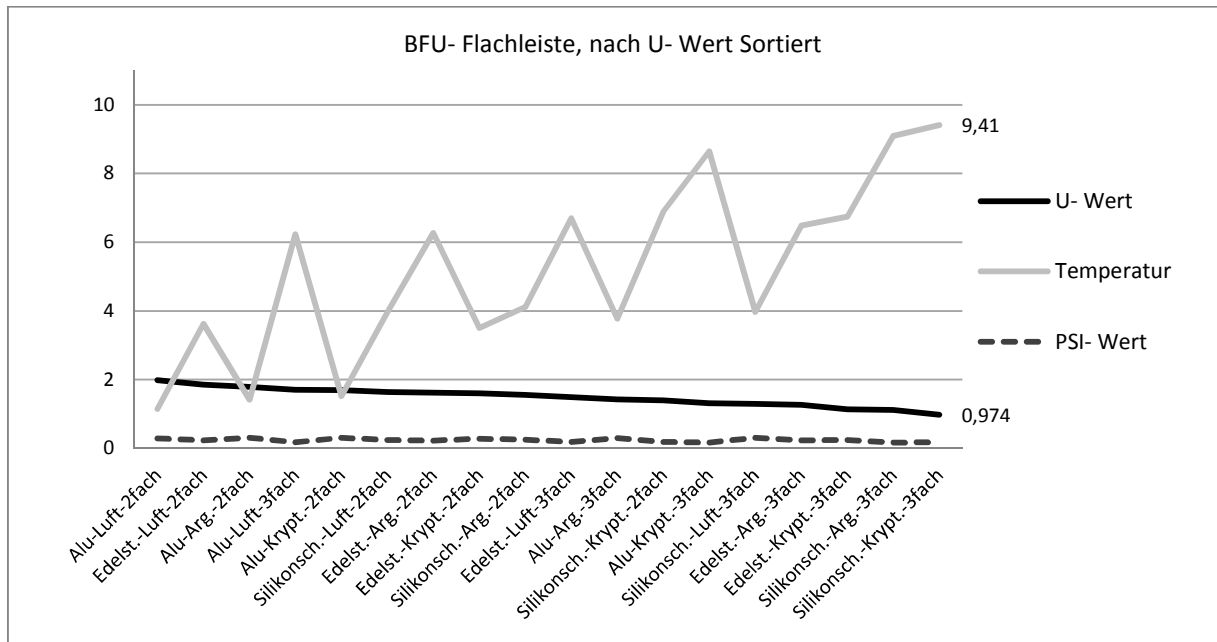


Abb. 123: Vergleich der Einflussparameter für BFU- Flachleiste

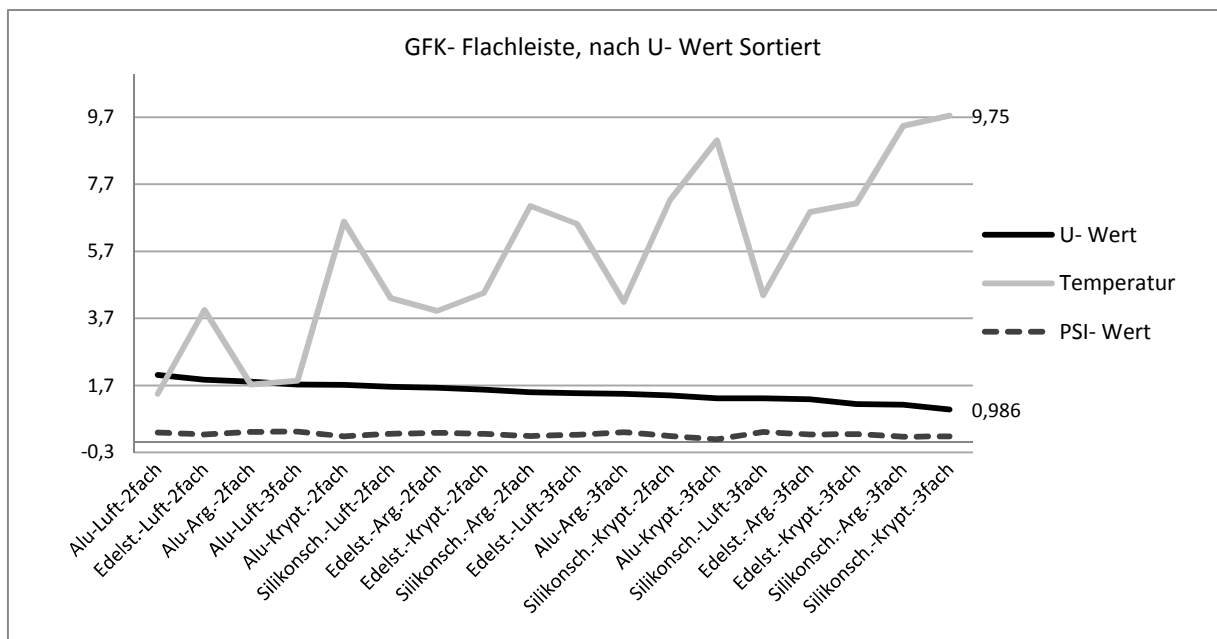


Abb. 124: Vergleich der Einflussparameter für GFK- Flachleiste

Abb. 125 stellt den U- Wert-Verlauf verschiedener Systeme im Vergleich dar. Hier kommt klar zum Vorschein, dass keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen liegen, sondern massivste Auswirkungen zwischen einer 2- Scheiben und einer 3- Scheiben Isolierverglasung vorliegen. Kommen jedoch diese Konstruktionen großflächig zur Anwendung, so macht es sehr wohl einen Unterschied, welches System gewählt wird.

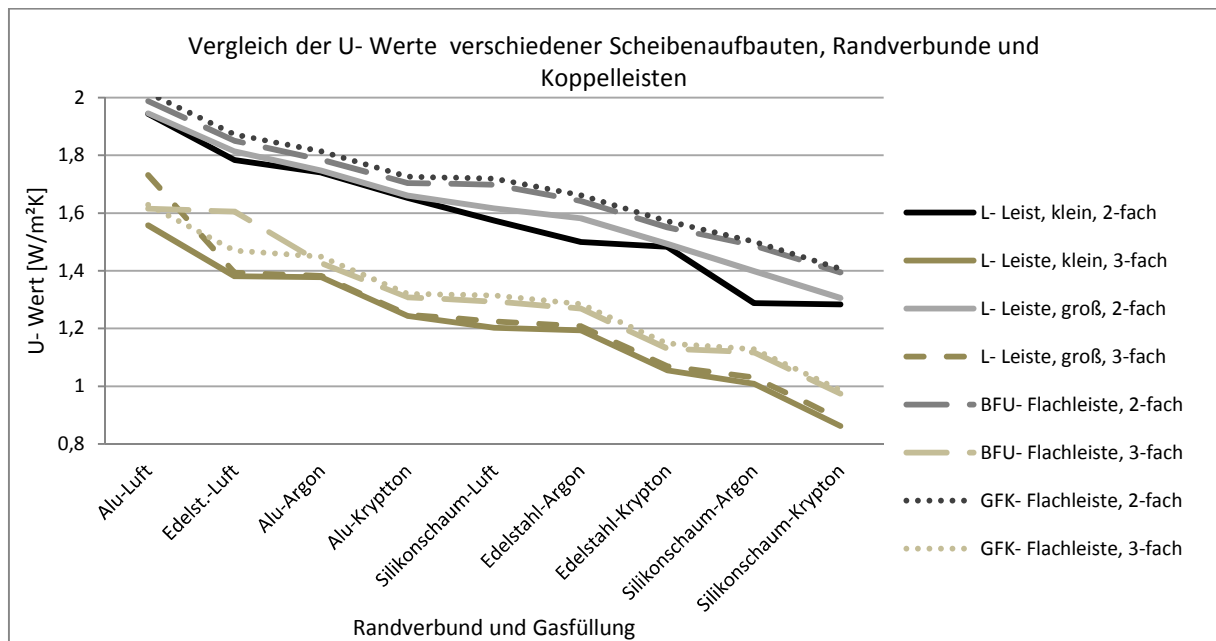


Abb. 125: U- Wert Vergleich verschiedener Einflussparameter

5.4.18 Problematik- Kondenswasser im Bereich der Koppelleisten

Da in den Eckbereichen der Konstruktionen die geringsten Oberflächentemperaturen auftreten, ist an diesen Stellen mit Kondensatausfall zu rechnen. An den vertikalen Fugen kann dieses ungehindert ablaufen, wobei darauf zu achten ist, dass die Koppelleisten diese Feuchtigkeit nicht aufsaugen. Würde dies geschehen, so käme es zu einem starken Aufquellen des Holzes und in weiterer Folge zu Zwängungen in der Konstruktion. Dies könnte zu Schäden in den angrenzenden Bauteilkomponenten führen. Dramatisch ist die Situation im Schwellenbereich der Fassadenelemente. In horizontaler Ebene kann die Feuchtigkeit nicht ablaufen und somit ist die Gefahr, dass die Feuchtigkeit in die Konstruktion eindringt, weitaus höher als bei vertikalen Fugen. Hier kommt noch der Effekt hinzu, dass in den Eckbereichen eine schlechte bzw. keine Raumlufturnwälzung stattfindet und somit keine Abfuhr bzw. Trocknung der Feuchte stattfindet. Um Schäden am Bauwerk zu vermeiden, muss dieser Problembereich durch konstruktive Überlegungen und Lösungen vermieden werden. Nachfolgend werden einige Lösungsansätze erläutert:

- 1) Koppelleisten aus Panzersperrholz: diese sind im Vergleich zu unbehandelten BFU- Leisten Druckimprägniert und weisen daher eine sehr hohe Widerstandsfestigkeit gegenüber Feuchtigkeit auf. Diese werden vorwiegend im Bootsbau eingesetzt.
- 2) BFU- Leisten versiegeln: durch eine qualitativ hochwertige Versiegelung kann eine Feuchtigkeitsaufnahme drastisch reduziert werden. Als Problem stellt sich die Dauerhaftigkeit heraus, da in diesem Bereich bei Sonneneinstrahlung sehr hohe Temperaturen zu erwarten sind und somit die Leisten hohen Belastungen ausgesetzt werden. Diese Variante ist für eine dauerhafte Lösung als problematisch anzusehen.

- 3) GFK- Koppelleisten: diese können alternativ zu BFU eingesetzt werden, da diese unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit sind. Für eine Ausführung des Systems Schubfeld und Verklotzung ist diese Koppelleiste jedoch nicht geeignet.
- 4) Einlegen eines Heizdrahtes: um ein schnelles Trocknen der Feuchtigkeit zu ermöglichen, können Heizdrähte im Bereich der Verklebung und der Koppelleiste eingelegt werden. Diese können Feuchte- und Temperaturabhängig gesteuert werden.
- 5) Aufbringen von Klemmprofilen: durch das Aufbringen von Kunststoff- Klemmprofilen (System Trockenverglasung) kann das Holz vor Feuchtigkeit geschützt werden. Diese Ausführung ist natürlich aus optischen Gründen nicht immer erwünscht.
- 6) Ausführung ohne Horizontalriegel: durch Weglassen der horizontalen Unterkonstruktionen und Koppelleisten kann die Gefahr einer Schädigung der Konstruktion größtenteils unterbunden werden. Jedoch kann dadurch für die horizontale Lastabtragung kein Schubfeld ausgebildet werden. Eine Verklotzung in den Eckbereichen kann mit aufwendigen Konstruktionen (siehe Konstruktion- schmale L- Koppelleiste mit Konsolenaufleger aus Metall) umgesetzt werden.

5.5 Bauphysikalisches Konzept

5.5.1 Wintergärten Allgemein

Wintergärten bzw. Glasanbauten stellen ein sehr komplexes System zur passiven Sonnenenergienutzung dar. Diese Bauten haben den Zweck, qualitativ hochwertige Wohnräume mit mehr Bezug zur Natur zu schaffen und somit ein Stück Garten in das eigene Haus zu holen. Diese Aspekte zielen darauf ab, den Wohnraumwert eines Bestandsgebäudes oder Neubaus zu steigern. Auf der anderen Seite werden derartige Bauvorhaben verwirklicht, um die Energie für die Beheizung des Gebäudes zu minimieren.

Thermische Wirkungsweise:

Das System Wintergarten basiert auf der Wirkung der großen Glasflächen, wodurch entsprechend viel Sonnenenergie eingetragen wird. Durch die Abschottung der dahinterliegenden Räume, gelangt jedoch weniger Strahlungsenergie in diese Räume. Der Glaskörper schafft zudem eine Zone zwischen Innen- und Außenraum, die eine Art Pufferzone darstellt. Durch diesen Puffer entsteht zwischen Innenraum und Puffer eine geringere Temperaturdifferenz im Vergleich zu Innen- und Außenraum. Dieser Effekt wirkt auch ohne Sonneneinstrahlung, ist aber von der Dämmleistung der Konstruktion abhängig. Durch dieses Prinzip werden die Transmissionswärmeverluste und die Lüftungswärmeverluste (falls der Luftaustausch über die Pufferzone erfolgt) gesenkt.

Damit der Wintergarten auch tatsächlich zur Energieeinsparung beiträgt, muss dieser unbeheizt und vom angrenzenden Gebäude thermisch getrennt sein.

Weiters hängt die Einsparung von der energetischen Qualität des Gebäudes ab. Bei hochwärme- gedämmten Gebäuden, wie zu Beispiel bei Niedrigenergiehäusern, ist der Einfluss auf die Transmissionswärmeverluste nur sehr gering. Wird die vorgewärmte Luft des Puffers zur Heizung herangezogen, so lassen sich doch erhebliche Einsparungen erzielen. Kommen Wintergärten bei

schlecht gedämmten Bestandsgebäuden zum Einsatz, so kann auch ohne Nutzung der vorgewärmten Luft eine Senkung der Transmissionswärmeverluste erzielt werden, da im Bereich des Puffers die Wärmedämmung der Trennwand verbessert wird. (vgl. Borngschlegel (2008), S. 46.ff)

Be- und Entlüftung:

Einen wesentlichen Bestandteil funktionierender Wintergärten stellt die Be- und Entlüftung in Kombination mit der Verschattung dar. Diese beeinflussen das Raumklima am stärksten. Hierbei werden zwei Systeme unterschieden, die natürliche und die mechanische Wintergarten- Lüftung. Die natürliche, auch thermische Lüftung genannt, nutzt das physikalische Gesetz, wonach erwärmte Luft nach oben steigt und somit ohne technische Hilfsmittel einen Luftzug erzeugt. Öffnungen am Dach oder Seitenfenster im oberen Bereich werden für die Abluft angeordnet. Für die nötige Frischluft werden in Bodennähe Öffnungen vorgesehen, die die Luft in den Raum transportieren. Als Richtwert für die Flächen einer thermischen Belüftung sollen ca. 10 % der gesamten verglasten Fläche zu öffnen sein, wobei die obere Öffnung ca.10 % größer als die untere sein sollte. Da die thermische Lüftung von der Witterung abhängig ist und sehr oft Schwierigkeiten mit dem Einbruchschutz mit sich bringt, wird zur Unterstützung bzw. als Ersatz eine mechanische Lüftung eingesetzt. Dabei handelt es sich größtenteils um temperaturgesteuerte Zu- und Abluftgeräte. Für Dimensionierung von mechanischen Anlagen ist vor allem die Luftwechselrate maßgebend. Als Faustwerte für den stündlichen Luftwechsel gelten:

- Für Aussenbeschattung: 7-10 fach
- Für Innenbeschattung: 15- 30 fach
- Unbeschattet: 30- 40 fach

(vgl. Arbeitsgemeinschaft Holz (2000), S.19)

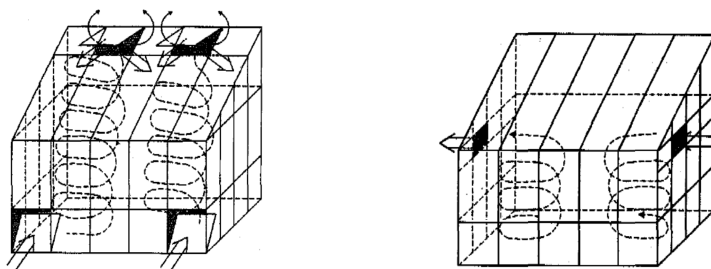


Abb. 126: Funktionsprinzip der natürlichen (links) und der mechanischen Lüftung (rechts) eines Wintergartens (Arbeitsgemeinschaft Holz (2000), S.19)

Wärmespeicherfähigkeit:

Aufgrund der sehr leichten Bauweise von Wintergärten ist das Einbringen von wärmespeichernden Massen nur begrenzt möglich. Einfallende, kurzweilige Sonnenstrahlung wird durch angrenzende Bauteile, wie Fußböden und dahinterliegende Wände, absorbiert und diese erwärmen sich dadurch. Diese gespeicherte Wärme wird dann verzögert durch Wärmestrahlung an den Innenraum des Wintergartens abgegeben oder durch die erwärmte Luft in die angrenzenden Räume geleitet.

Der Grad der Absorption der Sonnenstrahlung hängt stark mit der Oberflächenfarbe zusammen. So absorbieren dunkle Materialien ein Vielfaches von hellen Materialien. (ebd.)

Um die Problematik der sommerlichen Überwärmung aufgrund der großen Glasflächen im Sommer und des großen Heizwärmeverlustes durch hohe Wärmedurchgangswerte (trotz Mehrscheiben- Isolierverglasungen) im Winter in den Griff zu bekommen, kommt häufig das System der Trombe- Wand zur Anwendung. Dieses System besteht aus einer massiven Speicherwand, die außen möglichst dunkel gestrichen ist, und einer davor gesetzten Glasscheibe. Zwischen diesen beiden Schichten bleibt ein Luftzwischenraum erhalten. Tagsüber wird die Wand von der Sonne aufgeheizt und speichert durch die hohe Masse die Wärme. Abends kann dann diese Wärme an den Innenraum abgegeben und genutzt werden.



Abb. 127: Speichermasse-Wintergarten (Bosy, (05.03.2013))

In den Sommermonaten, in welchen die Gefahr einer Überwärmung der Innenräume sehr hoch ist, kann mit diesem System eine Art natürliche Kühlung der angrenzenden Räume stattfinden. Es braucht lediglich an der Unterseite eine Frischluftzufuhr und im oberen Bereich eine Abluftöffnung. Durch den entstehenden thermischen Auftrieb im Scheibenzwischenraum, entsteht bei Sonneneinstrahlung ein Luftzug, der die dahinterliegende Wand kühlt und den Raum vor Überwärmung schützt. Im Winter hingegen wird die obere und untere Öffnung geschlossen und stattdessen werden Klappen zum Innenraum hin geöffnet (siehe Abb. 128). Durch die entstehende Thermik wird die erwärmte Luft im Scheibenzwischenraum in den Innenraum befördert und dient somit als Raumluftheizung. Dieses System ersetzt unter Umständen im Sommer eine Kühlanlage und im Winter eine Heizung.

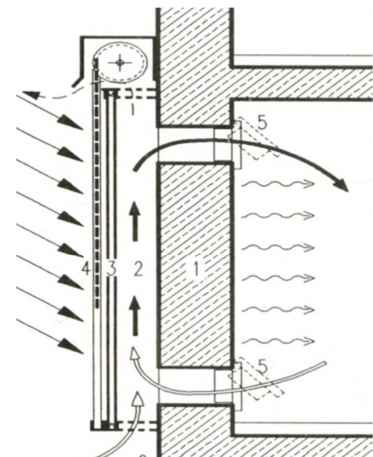


Abb. 128: Trombe Wand (Bosy, (05.03.2013))

Bei neuartigen Entwicklungen wurde versucht, dieses System noch weiter auszureizen. So konnte bewiesen werden, dass, durch Anordnung von lamellenartigen Wandoberflächen als speicherwirksamer Masse, der Effekt dieser Trombe Wand positiv beeinflusst werden kann. Abb. 129 zeigt das sogenannte Lucido- System im Schnitt. Die lamellierte Form des Holzpanels (3) besitzt eine leicht schräge Form nach vorne hin, dies hat zweierlei Gründe. Im Winter, wenn die Sonne tief steht, dringen die Sonnenstrahlen weit in die Lamellen ein und werden vom Holzkern absorbiert. Diese Lamellenstruktur weist eine um 325% größere Oberfläche als flache Fassaden auf, was dazu führt, dass dementsprechend mehr Energie absorbiert werden kann. Im Sommer hingegen, wenn die Sonne sehr hoch am Himmel steht, bewirken diese Lamellen eine Art Verschattung. Ein Großteil der Solarstrahlung wird dadurch wegreflektiert und vermindert somit eine übermäßige Erwärmung der Wand. (vgl. Nelson, Fent (2009), S. 9 ff.)

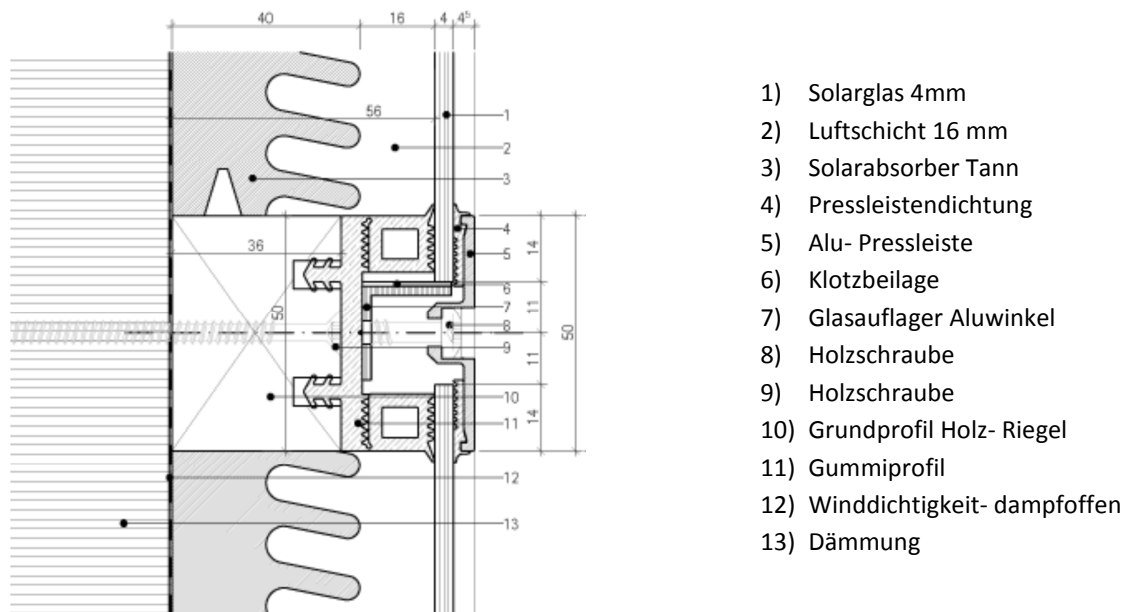


Abb. 129: Systemschnitt- Lucido Fassade, (Nelson/ Fent (2009)

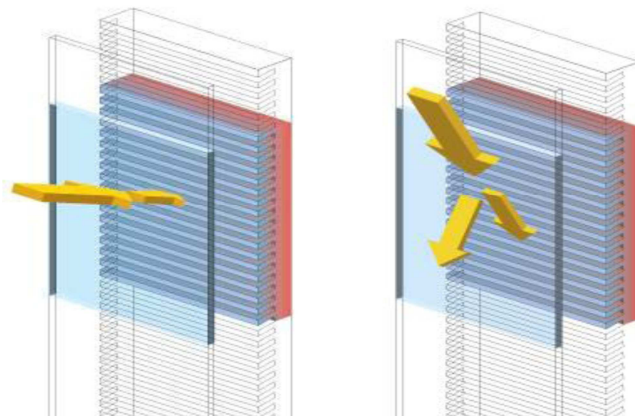


Abb. 130: Funktionsprinzip im Winter (links), im Sommer (rechts), (Nelson/ Fent, (2009), S. 12-13)

5.5.2 Konzept der Ausführung

Der Zubau des Wintergartens an ein bestehendes Einfamilienhaus in Vösendorf/Süd inkludiert grundsätzlich zwei Konzepte. Der linke Teil des Zubaus soll als Loggia dienen, die hauptsächlich in den Übergangszeiten genutzt werden kann. Der rechte Teil hingegen stellt einen typischen Wintergarten dar, der in gedämmter Variante ausgeführt wird. Die Hauptfassade ist Nordwest ausgerichtet.

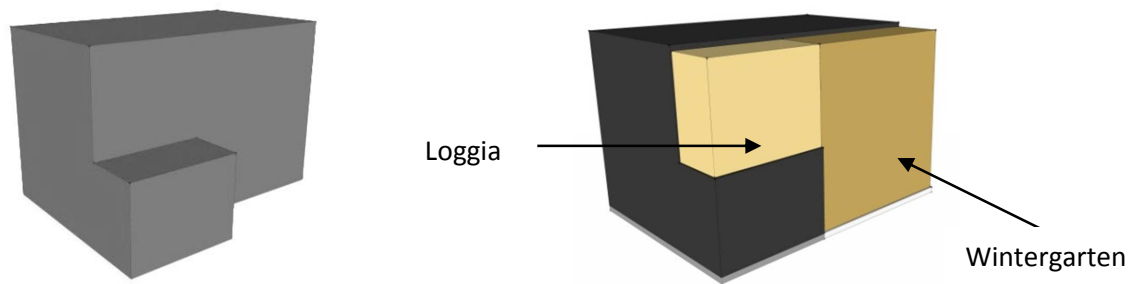


Abb. 131: Konzept des Wintergartens, Bestand- links, Zubau- rechts

Das Kernstück des Lüftungskonzepts, dargestellt in Abb. 132, besteht aus zwei Wärmekollektoren, mit denen eine natürliche Lüftung und Luftheizung im Gebäude ermöglicht werden soll. Dabei wird das physikalische Prinzip der Thermik genutzt (siehe Trombewand Punkt 5.5.1). Als Speichermasse für die Kollektoren kommen zum Beispiel Massivholzpaneele, zementgebundene Holzwolleplatten oder Holz-Beton-Verbundpaneele zum Einsatz. Die Oberfläche soll dementsprechend dunkel und profiliert ausgeführt werden. Dadurch entstehen höhere Temperaturen an der Oberfläche, was den thermischen Auftrieb und somit die Luftgeschwindigkeit erhöht. Können die Wärmekollektoren keine ausreichende Lüftung gewährleisten (an heißen Sommertagen), so besteht die Möglichkeit, durch Öffnen der Schiebetüren eine zusätzliche Ventilation zu ermöglichen. Eine ausreichende Lüftung im Loggiabereich soll durch Öffnen eines Scheibenelements mit Schiebemechanismus erreicht werden.

Nachfolgende Grafik zeigt das grundlegende bauphysikalische Lüftungskonzept des Wintergartenzubaus.

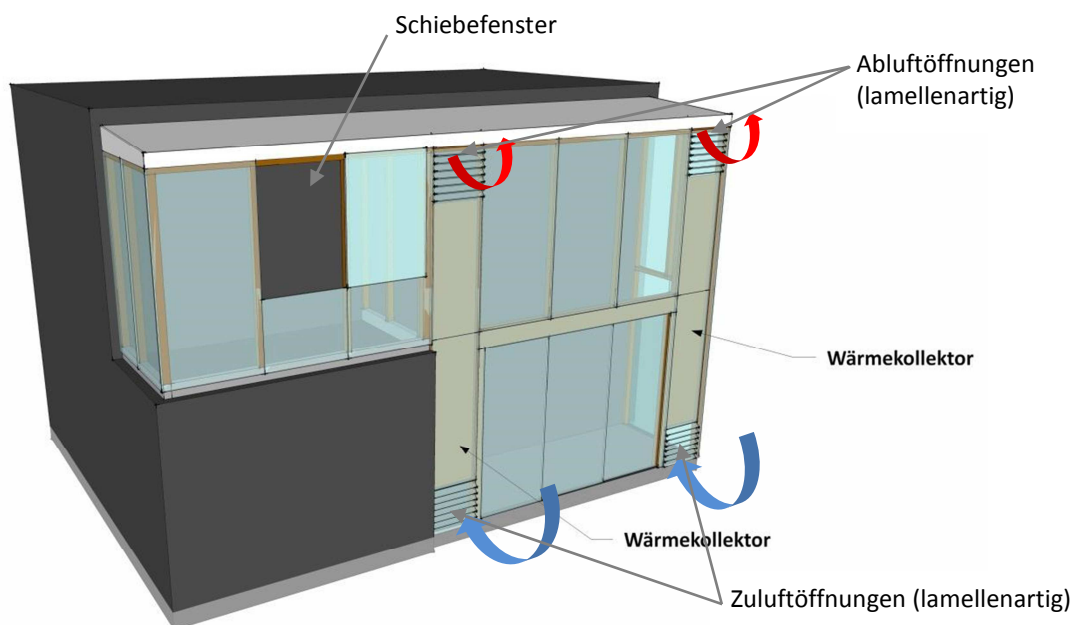


Abb. 132: Bauphysikalisches Konzept des Wintergartens

Mit den lamellenartigen Lüftungsklappen können je nach Jahreszeit und Witterung folgende Lüftungsvarianten eingestellt werden. An einem sonnigen Wintertag, werden die unteren, äußeren

und die oberen inneren Glaslamellen geöffnet. Durch die Sonneneinstrahlung wird die Speicherwand aufgeheizt. Diese gibt die Wärme einerseits an den vorbeilaufenden Luftstrom ab und andererseits wird Wärme durch Transmission direkt an den Innenraum abgegeben. An einem bedeckten Wintertag bleiben alle Lüftungsklappen geschlossen. Durch die Konstruktion einer Doppelfassade kann somit eine Verminderung der Transmissionsverluste erreicht werden. An einem sonnigen Sommertag wird die Konstruktion als Abluftfassade genutzt. Durch die starke Sonneneinstrahlung entsteht ein starker thermischer Auftrieb, wodurch die warme Innenluft aus dem Gebäude gezogen wird. Auf dementsprechende Zuluftöffnungen an anderen Stellen des Gebäudes (möglichst tief angeordnet) ist zu achten. An bedeckten Sommertagen werden alle Luftklappen geöffnet, dadurch kann eine erhöhte Luftwechselrate erreicht werden und somit eine Überhitzung vermieden werden.

Variante 1: Sonniger Wintertag

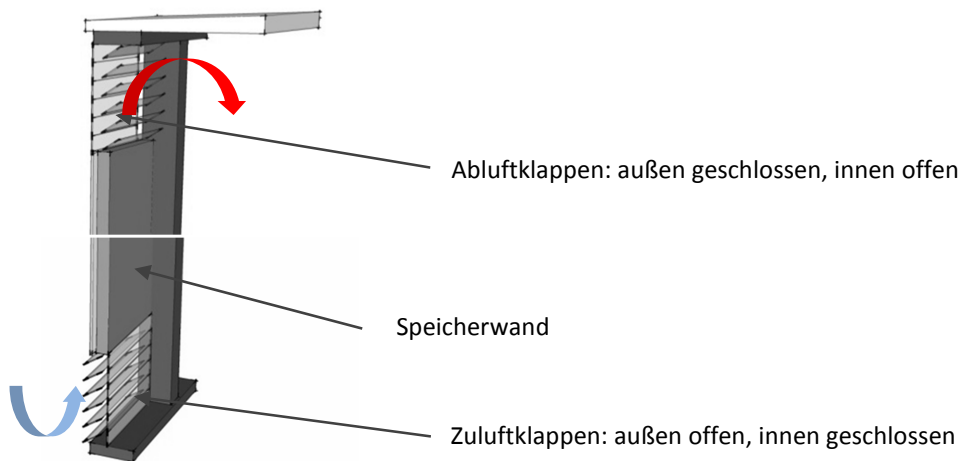


Abb. 133: Lüftungsklappenstellung- Winter sonnig

Variante 2: Wintertag bedeckt

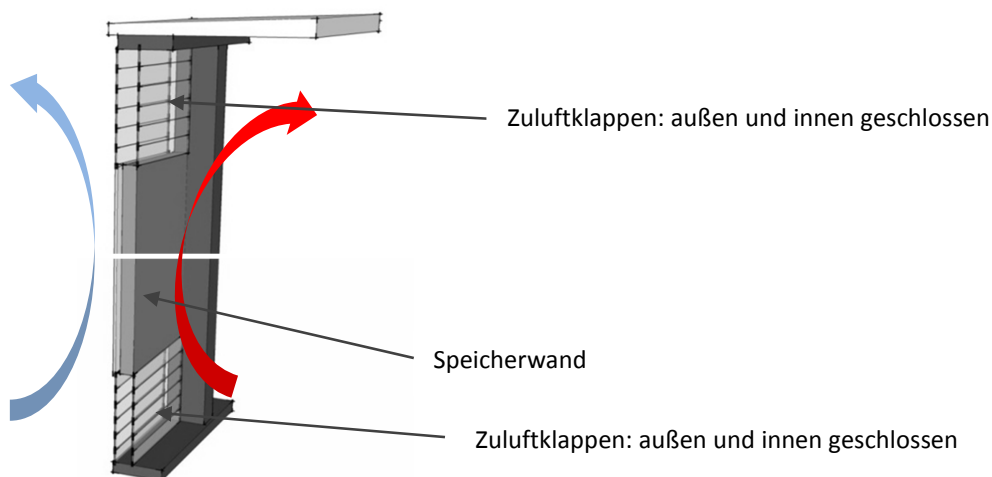


Abb. 134: Lüftungsklappenstellung- Winter bedeckt

Variante 3: Sommertag sonnig

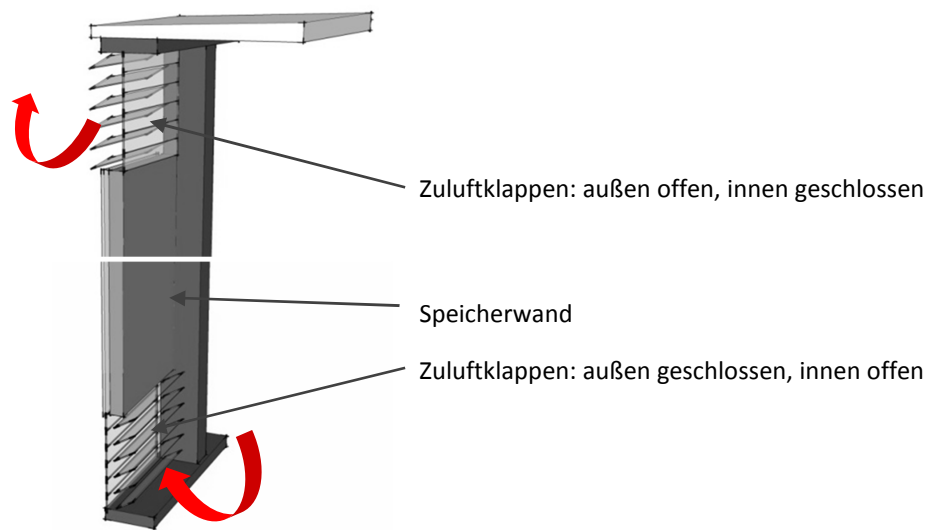


Abb. 135: Lüftungsklappenstellung- Sommertag sonnig

Variante 4: Sommertag bedeckt

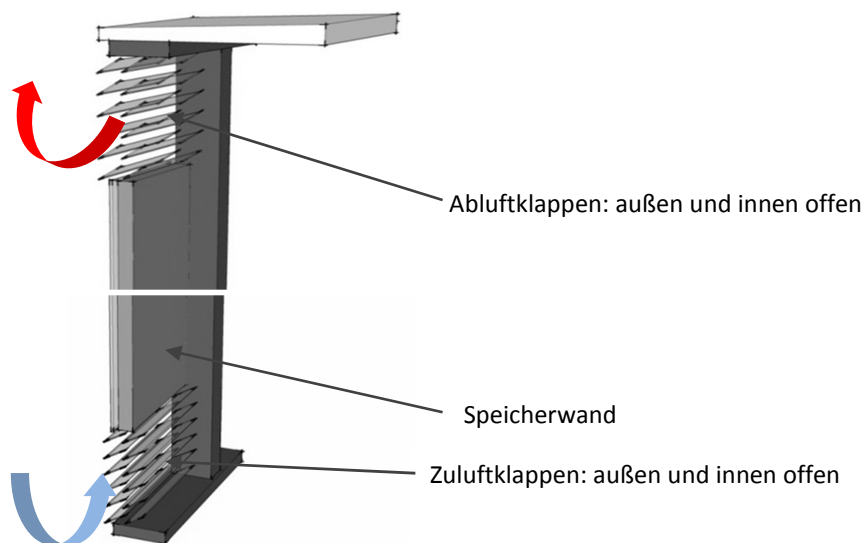


Abb. 136: Lüftungsklappenstellung- Sommer bedeckt

Durch diese vier Schaltvarianten kann, je nach Witterung, sehr flexibel mit diesem System umgegangen werden. Durch den Einsatz von derartigen Wärmekollektoren kann eine erhöhte Luftwechselrate erreicht werden und somit kann evtl. auf eine mechanische Lüftungsanlage bzw. auf eine außenliegende Verschattung verzichtet werden. Dies ist jedoch im Einzelfall zu prüfen und von der Ausrichtung des jeweiligen Gebäudes abhängig.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Diese Arbeit soll einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Holz- Glas- Fassaden im statischen Einsatz liefern. Gerade in Zeiten, in denen transparentes Bauen immer mehr an Bedeutung gewinnt, öffnen sich durch diese Bauweise viele Türen. Das Zeitalter des solaren Bauens fordert eben auch neue Konstruktionsansätze. Neben der Transparenz einer Glasfassade, was zu sehr hellen und lichtdurchfluteten Räumen führt, ist auch der Aspekt der Sonnenenergienutzung von großer Bedeutung. So können durch Funktionsfassaden, wie zum Beispiel Doppelfassaden und Trombewand-Fassadensysteme, große Energiegewinne erzielt werden. Eine weitere Möglichkeit, Energie zu nutzen, besteht in der Integration von Photovoltaik- Modulen in der Fassade. Übernehmen Glasfassaden neben der Transparenz und der Energienutzung auch noch die aussteifende Wirkung eines Gebäudes, so bleibt auch in architektonischer Hinsicht kein Wunsch offen. Es ist klar ersichtlich, welches Potenzial in dieser Konstruktion steckt.

Zum Thema Holz- Glas- Verbund Fassaden gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen und verfassten Arbeiten. Grundsätzlich haben sich in den letzten Jahren zwei Systeme von HGV-Fassadenkonstruktionen etabliert. Einerseits die Ausführung mit einer umlaufenden Schubverklebung, bestehend aus einer flachen Koppelleiste aus Birkenfurniersperrholz oder aus glasfaserverstärkten Kunststoff. Und andererseits die Variante mit umlaufender Schubverklebung mit zusätzlicher Verklotzung in den Eckbereichen der Glasscheiben, wobei die Koppelleiste aus L-förmigem Birkenfurniersperrholz besteht. Die reine Schubverklebung wurde von der Holzforschung Austria entwickelt und gilt als erste HGV- Fassade, die in der Praxis Anwendung fand. Als Weiterentwicklung zur reinen Schubverklebung wurde an der TU- Wien, am Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, eine zusätzliche Klotzung angeordnet, die zu einer deutlichen Erhöhung der aufnehmbaren Horizontallasten führt. Es entstand ein System, bei dem beide Tragmechanismen, Schubfeld und Druckdiagonale, kombiniert werden.

Um auch dieses System in die Praxis einführen zu können, bedarf es an Entwicklung und Umsetzung von prototypischen Bauwerken. Als erster Schritt sollte dabei diese Diplomarbeit dienen, in der ein Zubau eines Wintergartens in Vösendorf/Süd behandelt wird. Hierbei wurde zusätzlich versucht, zu den verschiedensten Themengebieten, wie Statik, Konstruktion, Baugenehmigung und Bauphysik, verschiedene Variantenstudien durchzuführen. Dadurch können die verschiedenen Ausführungsvariationen von HGV- Fassaden gut miteinander verglichen und die Vor- und Nachteile abgewogen werden.

Durchgeführte Steifigkeitsberechnungen von verschiedenen Ausführungssystemen und Anordnungen der HGV- Elemente brachten einen großen Aufschluss über die sogenannte Verbandwirkung von nebeneinander angeordneten Elementen. So weisen Scheibenelemente, die links und rechts durch angrenzende HGV- Elemente gestützt werden, ein Vielfaches der Steifigkeit einer Einzelscheibe auf. Im Besonderen sticht das System mit Schubverklebung und Druckdiagonale ins Auge. Hierbei konnten die mit Abstand höchsten Steifigkeitswerte erzielt werden. Um diese Berechnungen verifizieren zu können, wurden Vergleichsberechnungen mit der Software „SOFISTIK“ durchgeführt und brachten sehr gute Übereinstimmungen.

In punkto Konstruktion musste man von der, in den Versuchen verwendeten, breiten Koppelleiste zu einer schmalen Leiste wechseln, um die schmale Ansichtsbreite im Stoßbereich zweier Elemente zu erreichen. Als ersten Entwicklungsschritt versuchte man, die schmalen L- Leisten durch Klemmplatten ausreichend zu verschrauben. Verschraubungen durch die schmalen Koppelleisten

dienen lediglich zu Montagezwecken. Als Weiterentwicklung entstand eine gezahnte L- Koppelleiste, ähnlich der Ausführung mit reiner Schubverklebung. Diese bietet den Vorteil, dass die Koppelleisten ausreichend verschraubt werden können und eine schmale Ansichtsbreite gewährleistet wird. Weiters kann durch Ausbildung einer Stufenisolierverglasung die Fuge an der Außenseite minimiert werden.

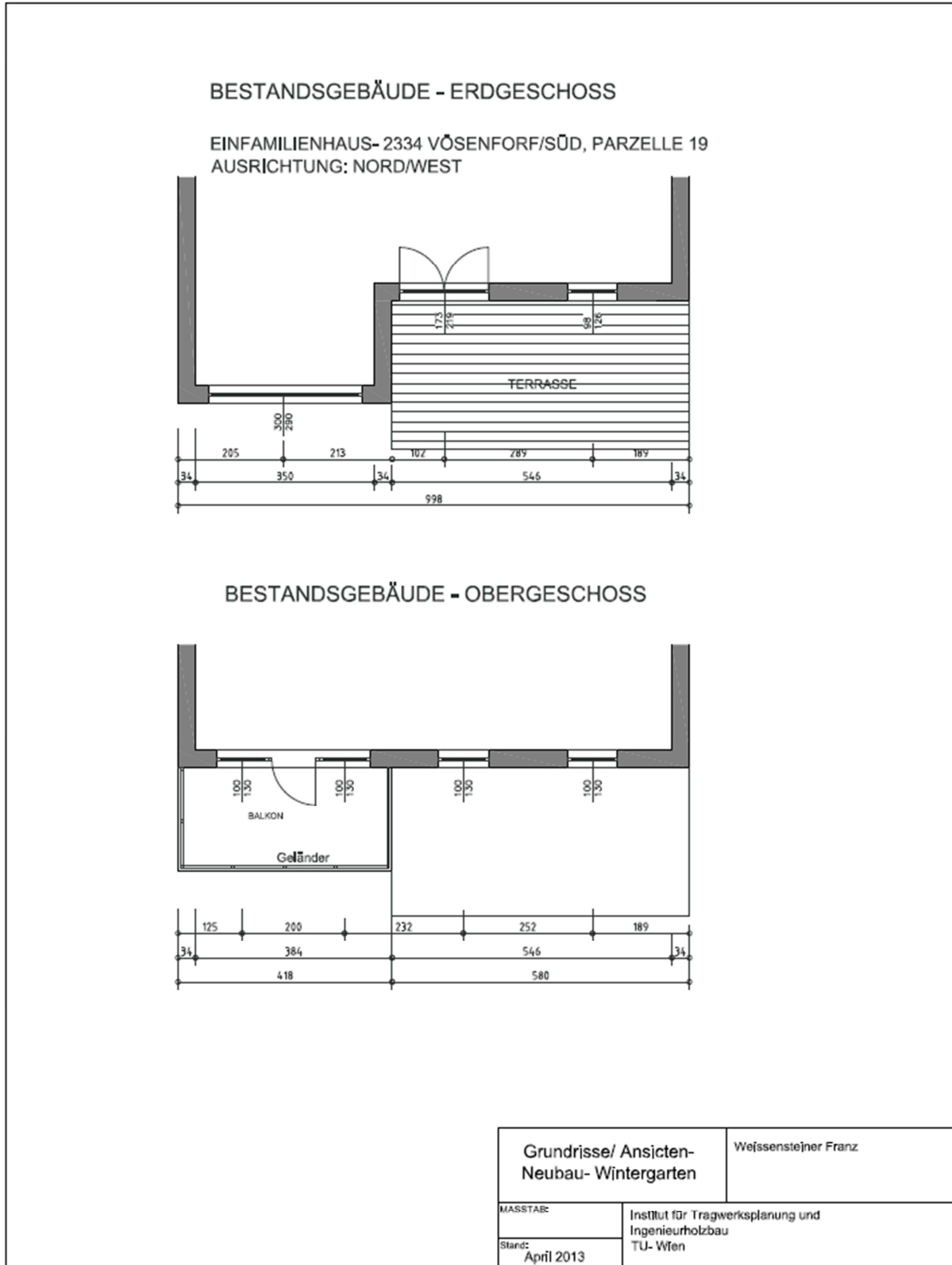
Die Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise konnten durch den, von Hochhauser entwickelten, Formelapparat durchgeführt werden. Probleme gab es beim Nachweis der Windnormalkräfte, diese konnten bei keinem der betrachteten Systeme nachgewiesen werden. Der Grund hierfür liegt in den hohen Teilsicherheitsbeiwerten, der laut ETAG 002 bei 6 liegt. Für die Umsetzung bedeutet das, dass derzeit noch Haltevorrichtungen anzubringen sind, die diese Kräfte aufnehmen können bzw. bei Versagen der Verklebung wirksam werden. Hier bedarf es noch an Forschung, um diese Faktoren reduzieren zu können.

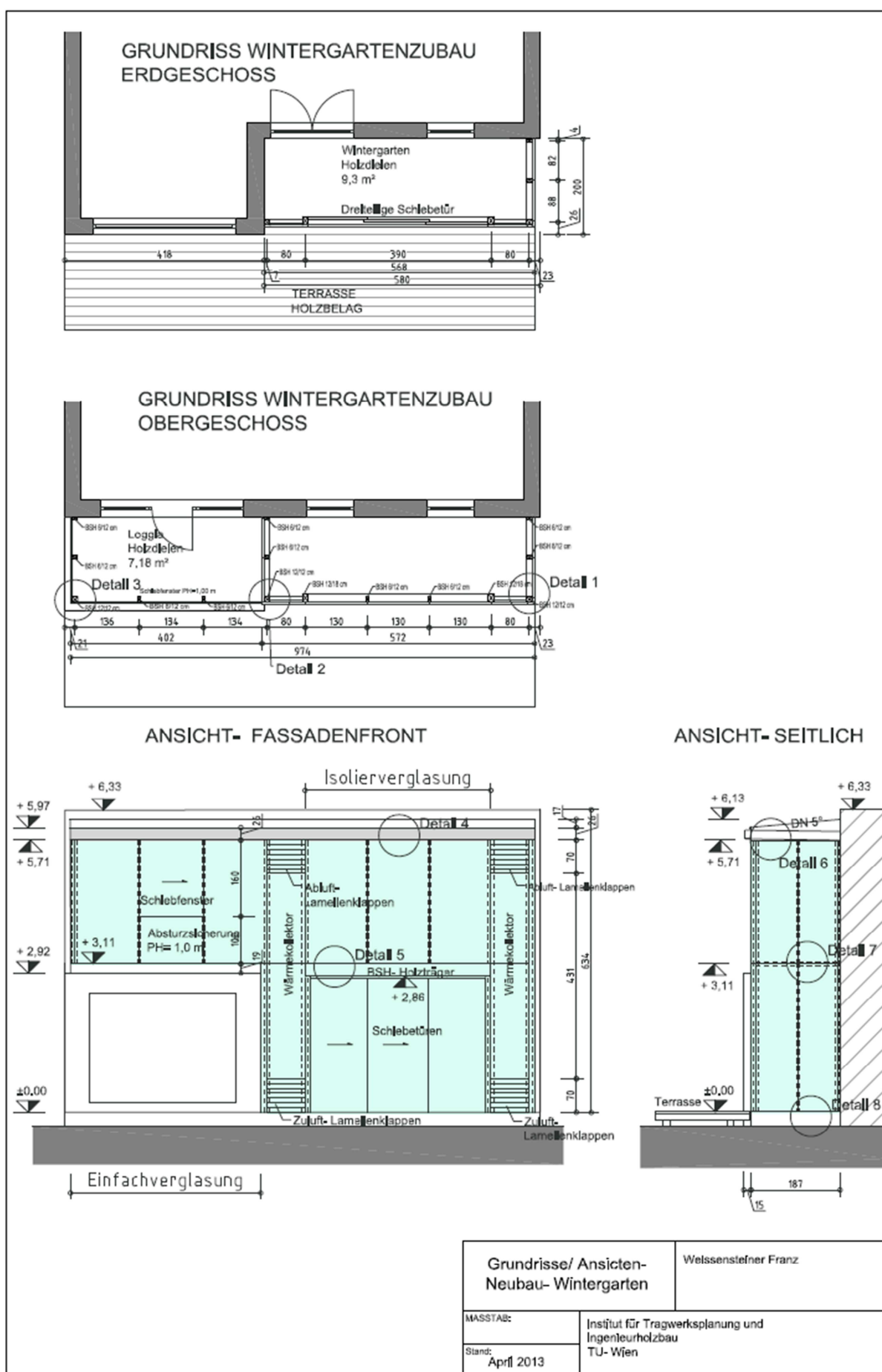
Durchgeführte Wärmebrückenberechnungen mit verschiedenen Variationen legen die wichtigsten Einflussparameter auf den U- Wert und die Oberflächentemperatur eindeutig dar. Grundsätzlich ergaben die Berechnungen zwischen den einzelnen Systemen keine gravierenden Unterschiede. Dabei konnte unter diesen die L- Koppelleiste als vorteilhafteste hervorgehen. Maßgebend ist jedoch der Einfluss des Glasrandverbundes und des Scheibenaufbaus. Es hat sich gezeigt, dass es von großer Bedeutung ist, die Bauteile sehr detailgetreu einzugeben. Im Besonderen sei hier der Glasrandverbund erwähnt, da dieser einen maßgebenden Einfluss auf die Wärmebrückensituation hat. Mit diesen Berechnungen kann durchaus behauptet werden, dass HGV- Glasfassaden mit Dreifachverglasung und einem thermisch optimierten Glasrandverbund mit Gasfüllung in den Scheibenzwischenräumen, als sehr gut einsetzbar beurteilt werden können.

Diese Arbeit bietet eine Grundlage für die Ausführung des ersten Prototypen in geklotzter und schubverklebter HGV- Bauweise. Es hat sich jedoch gezeigt, dass in alle behandelten Themen noch viel Forschung investiert werden muss, um ein ausgereiftes Produkt auf den Markt zu bringen.

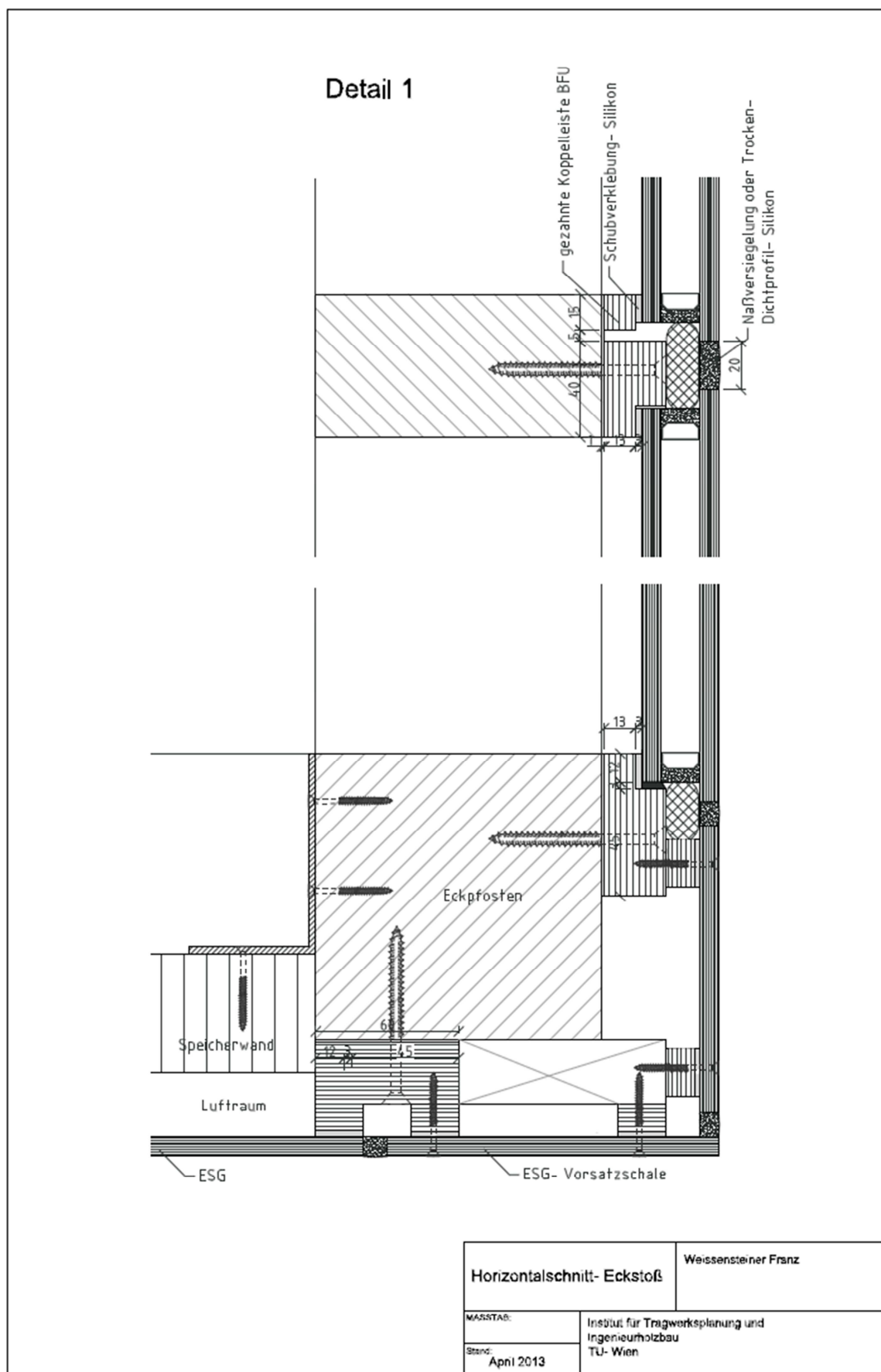
7 Anhang

7.1 Übersichtszeichnungen- Zubau Wintergarten

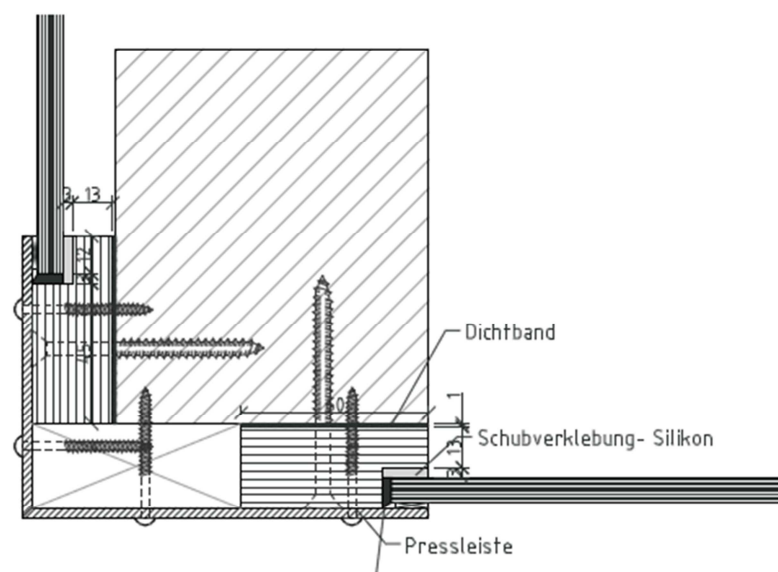




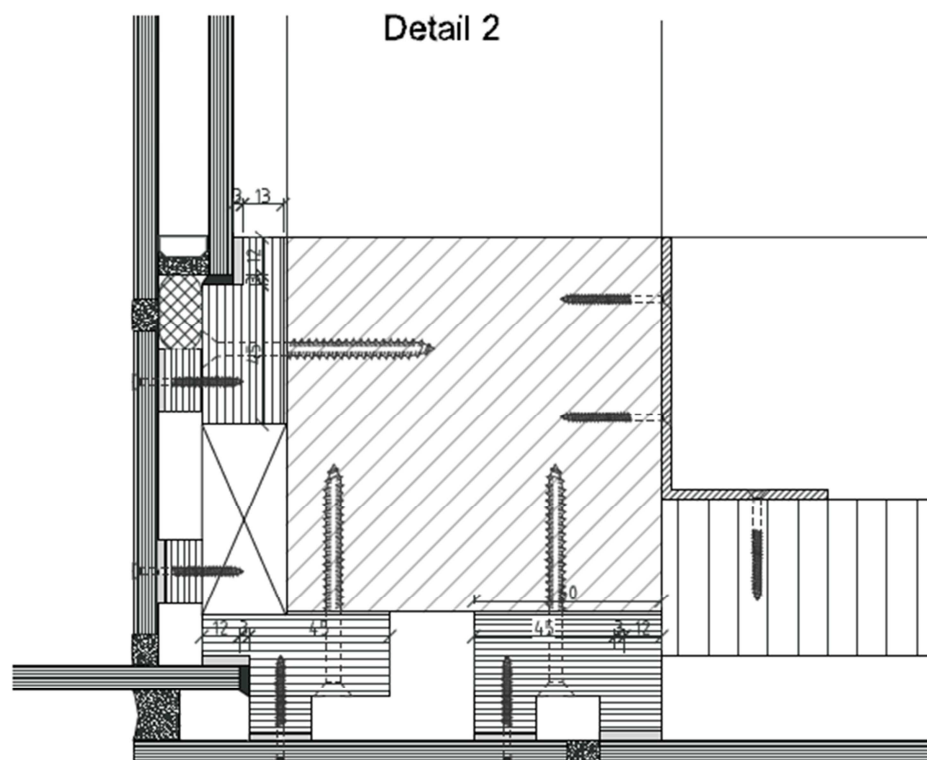
7.2 Konstruktionszeichnung gezahnte- schmale BFU- Koppelleiste



Detail 3



Detail 2



Horizontalschnitt- Eckstoß-
Isolierglas/ ESG

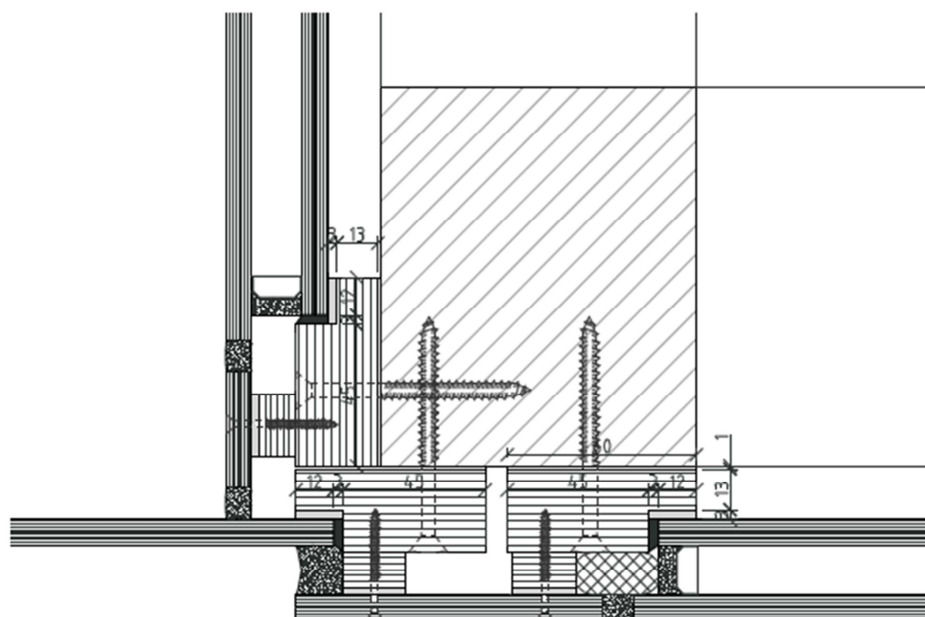
Weissensteiner Franz

MASSSTAB:

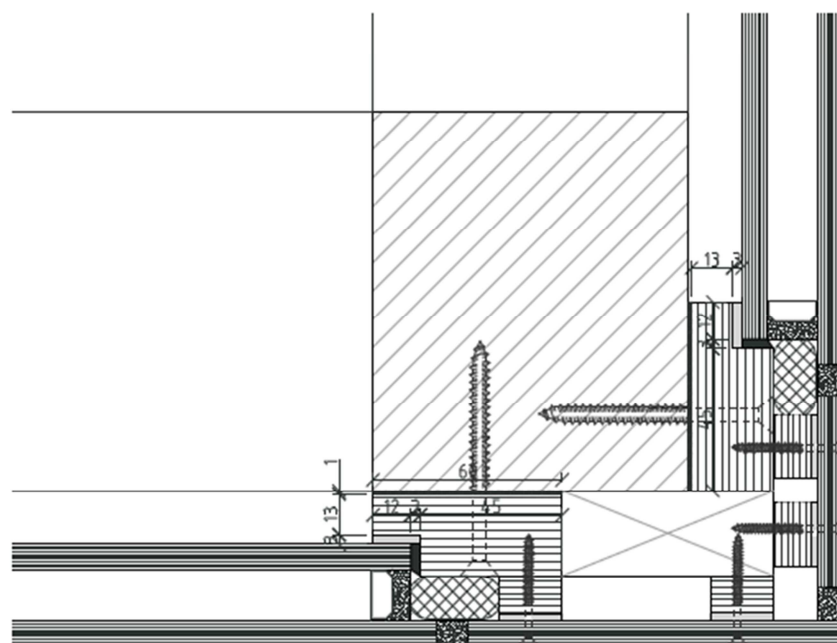
Institut für Tragwerksplanung und
Ingenieurholzbau
TU- Wien

Stand:
April 2013

Detail- Variante: Eckstoß/ Anschluss Isolierverglasung- Einfachverglasung



Detail- Variante: Eckstoß- Isolierverglasung



Horizontalschnitt- Eckstoß-
Isolierverglasung

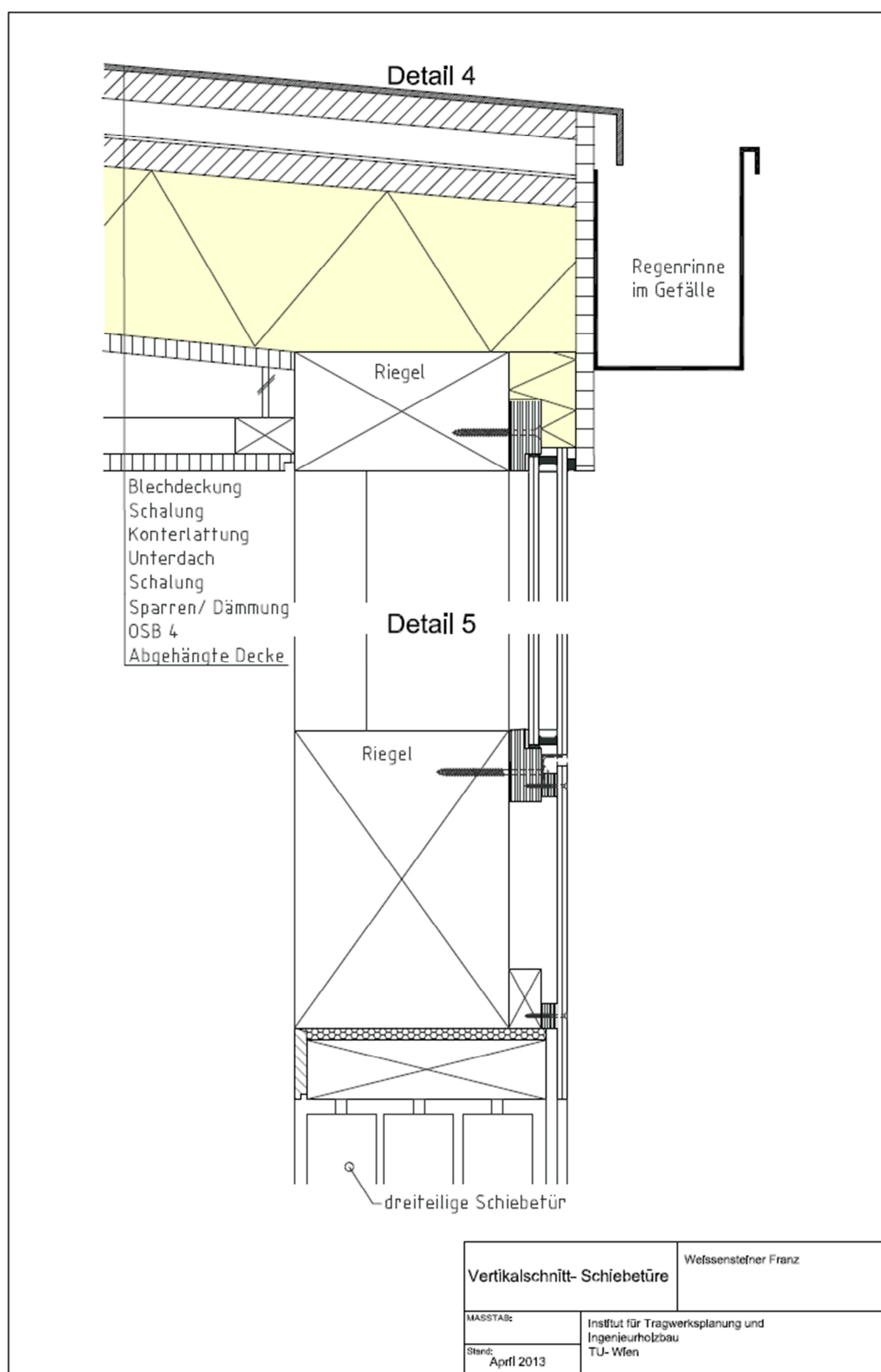
Weissensteiner Franz

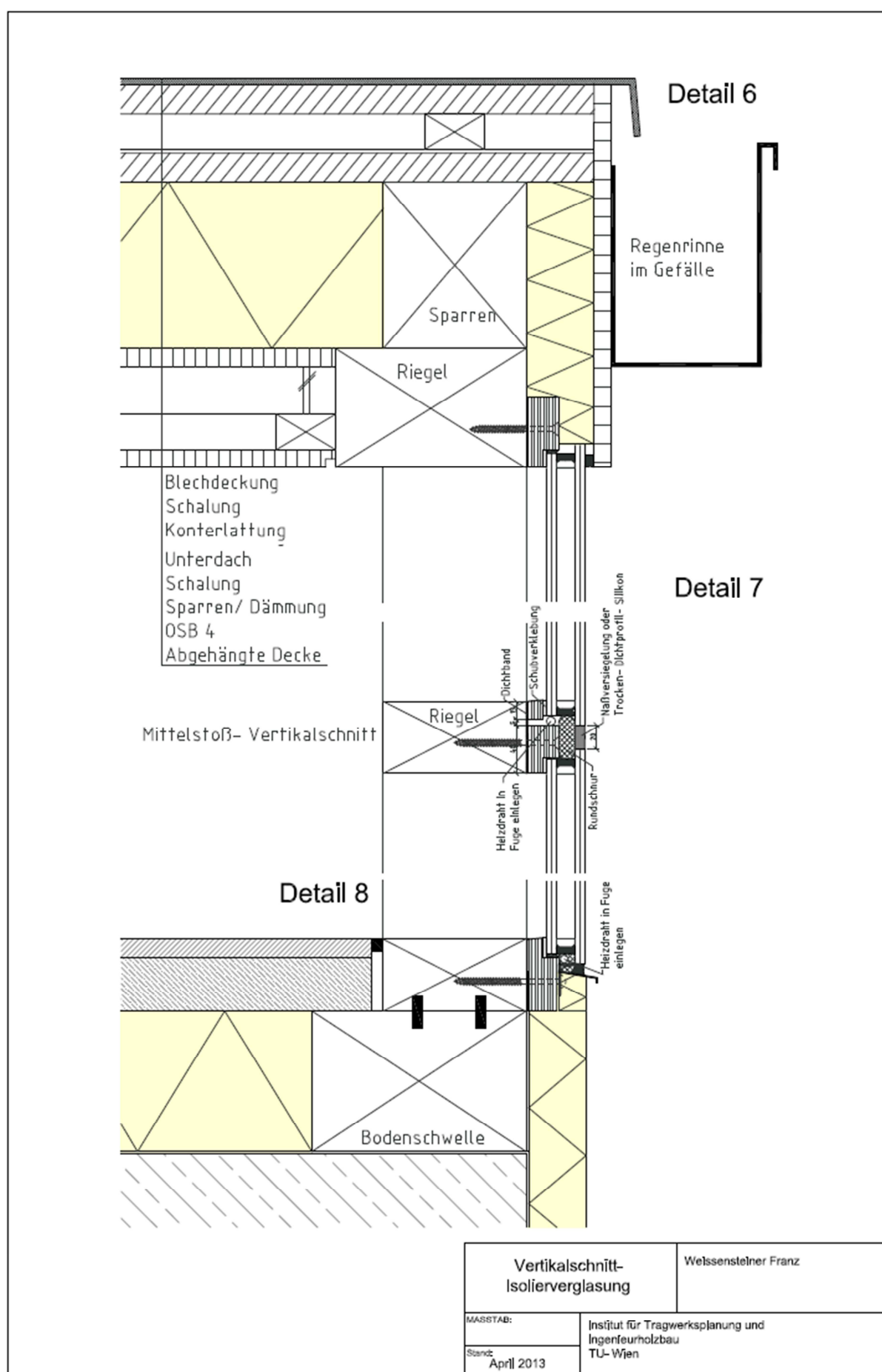
MASSITAB:

Stand:

April 2013

Institut für Tragwerksplanung und
Ingenieurholzbau
TU- Wien





7.3 Berechnung der Beanspruchung der Isolierverglasung

Nachfolgend wird die Beanspruchung der Isolierverglasung infolge isochoren Drucks und Windbelastung berechnet.

Berechnung nach ÖNORM B 3716-1, Anhang A. und B.				
Windlast	$W_K = 1,00 \text{ kN/m}^2$ (Berechnung siehe 5.3.1)			
Abmessungen Glasscheibe	Kante a	a =	130,0	cm
	Kante b	b =	260,0	cm
Aussenscheibe 1	ESG Dicke	$d_a =$	4	mm
Aussenscheibe 2	ESG Dicke	$d_a =$	4	mm
Zwischenraum	Argon	$d_{SZR} =$	16	mm
Innenscheibe 1	ESG Dicke	$d_i =$	4	mm
Innenscheibe 2	ESG Dicke	$d_i =$	4	mm
Berechnung der Anteile δ_a und δ_i der Einzelscheiben an der Gesamtbiegesteifigkeit				
$\delta_a = d_a^3 / (d_a^3 + d_i^3)$		= 0,50		
$\delta_i = d_i^3 / (d_a^3 + d_i^3)$		= 0,50		
Berechnung der Ersatzdicke d^*				
voller Verbund	$d^* = d_1 + d_2$	=	8 mm	(innen und außen gleich)
ohne Verbund	$d^* = (d_1^3 + d_3^3)^{1/3}$	=	5,04 mm	(innen und außen gleich)
Berechnung der charakteristischen Kantenlänge				
Beiwert aus ÖNORM B 3716-1, Tabelle A.1		$a / b = 0,50$		$B_v = 0,0501$
Die Beiwerte wurden auf der Basis der Kirchhoffschen Plattentheorie für $\mu = 0,23$ berechnet.				
voller Verbund	$a^* = 28,9 * ((d_{SZR} * d_a^3 * d_i^3) / ((d_a^3 + d_i^3) * B_v))^{0,25}$			= 489 mm
ohne Verbund	$a^* = 28,9 * ((d_{SZR} * d_a^3 * d_i^3) / ((d_a^3 + d_i^3) * B_v))^{0,25}$			= 346 mm
Berechnung des Faktors φ				
voller Verbund	$\varphi = 1 / (1 + (a / a^*)^4)$			= 0,020
ohne Verbund	$\varphi = 1 / (1 + (a / a^*)^4)$			= 0,005
Berücksichtigung des Klimalastrfalls lt. ÖNORM B 3716-1, A.5: $P_0 = 0,34 * \Delta T - \Delta p_{met} + 0,012 * \Delta H$				
Herstellungsort	A- 2285 Leopoldsdorf (Fa. Petschenig)			141 m
Einbauort	A- 2334 Vösendorf/Süd			194 m
Einwirkungskombination	ΔT	Δp_{met}	ΔH	P_0
	in K	in kN/m ²	in m	in kN/m ²
	Sommer	20	-2	53
Winter	-12	4	53	-7
Laut ÖNORM B 3716-1, Tabelle B.1: ist für unbeheizte Gebäude für die Einwirkungskombination Winter für $\Delta T -12 \text{ K}$ anzunehmen				
Verteilung der Einwirkungen Wind und Klima- voller Verbund				
Einwirkung	Wind w	Isochorer Druck p_0		Gesamt
Lastanteil auf äußere Scheibe	$(\delta_a + \varphi \times \delta_i) \times w =$ 0,510 kN/m²	(maßgebend LF- Winter) $- \varphi \times p_0 =$ 0,15 kN/m²		0,66 kN/m²
		(maßgebend LF- Sommer) $+ \varphi \times p_0 =$ 0,18 kN/m²		
Lastanteil auf innere Scheibe	$(1 - \varphi) \delta_i \times w =$ 0,490 kN/m²			0,67 kN/m²
Verteilung der Einwirkungen Wind und Klima- ohne Verbund				
Einwirkung	Wind w	Isochorer Druck p_0		Gesamt
Lastanteil auf äußere Scheibe	$(\delta_a + \varphi \times \delta_i) \times w =$ 0,502 kN/m²	(maßgebend LF- Winter) $- \varphi \times p_0 =$ 0,04 kN/m²		0,54 kN/m²
		(maßgebend LF- Sommer) $+ \varphi \times p_0 =$ 0,05 kN/m²		
Lastanteil auf innere Scheibe	$(1 - \varphi) \delta_i \times w =$ 0,498 kN/m²			0,54 kN/m²

7.4 Tragfähigkeit einer Schraubverbindung- einschnittig

- Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit einer einschnittigen Nagelverbindung nach (ÖNORM 1995-1-1): für eine Schraube 3/80

Berechnung nach EN 1995-1-1, 8.2.2: Einschnittige Holz-Holz Verbindung			
Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel:			
BFU	$\rho_{k,1} =$	680 kg/m ³	$t_1 =$ 27 mm
BSH GL 24 h	$\rho_{k,2} =$	380 kg/m ³	$t_2 =$ 53 mm
Schraubendurchmesser: 3 mm		$f_y =$ 640 N/mm ²	$f_u =$ 800 N/mm ²
$F_{v,Rk} = \min$	$f_{h,1,k} * t_1 * d$		4,38kN
	$f_{h,2,k} * t_2 * d$		4,81kN
	$f_{h,1,k} * t_1 * d / (1 + \beta) [(\beta + 2 * \beta^2 * [1 + t_2/t_1 + (t_2/t_1)^2] + \beta^3 (t_2/t_1)^2)^{0,5} - \beta * (1 + t_2/t_1)] + F_{ax,Rk}/4$		2,18kN
	$1,05 * f_{h,1,k} * t_1 * d / (2 + \beta) [(2 * \beta (1 + \beta) + 4 * \beta (2 + \beta) M_{y,Rk} / f_{h,1,k} * d * t_1^2)^{0,5} - \beta] + F_{ax,Rk}/4$		1,75kN
	$1,05 * f_{h,1,k} * t_2 * d / (1 + 2 * \beta) [(2 * \beta^2 (1 + \beta) + 4 * \beta (1 + 2 * \beta) M_{y,Rk} / f_{h,1,k} * d * t_2^2)^{0,5} - \beta] + F_{ax,Rk}/4$		2,17kN
	$1,15 * (2 * \beta / (1 + \beta))^{0,5} (2 M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d)^{0,5} + F_{ax,Rk}/4$		1,99kN
$F_{v,Rk,min} =$ 1,75 kN			
Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in Holz			
$f_{h,1,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_{k,1}$			
$f_{h,1,k} =$ 54,09 N/mm ²			
$f_{h,2,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_{k,2}$			
$f_{h,2,k} =$ 30,23 N/mm ²			
$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$			
$\beta =$ 0,5588			
Charakteristischer Wert des Fliemoments			
$M_{y,Rk} = 0,3 * f_u * d^{2,6}$			
$M_{y,Rk} =$ 4175,67 Nmm			
Charakteristischer Wert des Ausziehwiderstandes			
$F_{ax,Rk} = f_{ax} * d * t_{per}$	632,472 N	$f_{ax,k} =$	2,888 N/mm ²
$F_{ax,Rk} = f_{head} * d_n^2$	1010,8 N	$f_{head,k} =$	10,108 N/mm ²
$F_{ax,Rk} =$	1010,80 N		

- Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit einer einschnittigen Nagelverbindung nach (ÖNORM 1995-1-1): für eine Schraube 5/80

Berechnung nach EN 1995-1-1, 8.2.2: Einschnittige Holz-Holz Verbindung			
Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel:			
BFU	$\rho_{k,1} =$	680 kg/m ³	$t_1 =$ 27 mm
BSH GL 24 h	$\rho_{k,2} =$	380 kg/m ³	$t_2 =$ 53 mm
Schraubendurchmesser: 5 mm		$f_y =$ 640 N/mm ²	$f_u =$ 800 N/mm ²
$F_{v,Rk} = \min$	$f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$		7,15kN
	$f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$		7,84kN
	$f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d / (1 + \beta) \left[(\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot [1 + t_2/t_1 + (t_2/t_1)^2] + \beta^3 (t_2/t_1)^2)^{0,5} - \beta \cdot (1 + t_2/t_1) \right] + F_{ax,Rk}/4$		3,40kN
	$1,05 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d / (2 + \beta) \left[(2 \cdot \beta (1 + \beta) + 4 \cdot \beta (2 + \beta) M_{y,Rk} / f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2)^{0,5} - \beta \right] + F_{ax,Rk}/4$		2,97kN
	$1,05 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d / (1 + 2 \cdot \beta) \left[(2 \cdot \beta^2 (1 + \beta) + 4 \cdot \beta (1 + 2 \cdot \beta) M_{y,Rk} / f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2)^{0,5} - \beta \right] + F_{ax,Rk}/4$		3,58kN
	$1,15 \cdot (2 \cdot \beta / (1 + \beta))^{0,5} (2 M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d)^{0,5} + F_{ax,Rk}/4$		4,55kN
$F_{v,Rk,min} =$ 2,97 kN			
Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in Holz			
$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_{k,1}$			
$f_{h,1,k} =$ 52,97 N/mm ²			
$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_{k,2}$			
$f_{h,2,k} =$ 29,60 N/mm ²			
$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$			
$\beta =$ 0,5588			
Charakteristischer Wert des Fließmoments			
$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$			
$M_{y,Rk} =$ 15759,17 Nmm			
Charakteristischer Wert des Ausziehwiderstandes			
$F_{ax,Rk} = f_{ax} \cdot d \cdot t_{pei}$	1054,12 N	$f_{ax,k} =$	2,888 N/mm ²
$F_{ax,Rk} = f_{head} \cdot d \cdot h^2$	1010,8 N	$f_{head,k} =$	10,108 N/mm ²
$F_{ax,Rk} =$	1010,80 N		

7.5 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Spannungsdehnungslinien für fehlerfreies Holz unter Zug (t) und Druck (c) in Faserrichtung (Volllinie) und rechtwinklig zur Faser (strichliert), (Neuhaus (2007), S.22)	3
Abb. 2: Übersicht über die konstruktiven Holzbaustoffe (Burger, FH- Kuch- Skriptum (2008), S. 17) ..	4
Abb. 3: Spannungs- Dehnungslinie von Glas, Stahl und Beton (Ofner (2007), S. 3)	7
Abb. 4: Grundaufbau einer Floatglasanlage (Wittel 2011, S.17).....	8
Abb. 5: Fourcault- Verfahren (Kolbitsch (2012), S.12)	9
Abb. 6:Walzglasherstellung (Wittel (2011), 14)	9
Abb. 7: Veredelungsprodukte von Flachglas (Kolbitsch (2012), S.15)	10
Abb. 8: Herstellung von ESG (Wörner (2001), S.10).....	11
Abb. 9: Aufbau von VSG (Wörner (2001), S.16)	11
Abb. 10: Bruchbilder von Floatglas, TVG und ESG (Edl (2008), S.25)	11
Abb. 11: Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis (Habenicht (2009), S. 5)	12
Abb. 12: Einteilung nach dem Abbindemechanismus (Habenicht (2009), S. 6).....	13
Abb. 13: Qualitative Spannungsverteilung in Schweiß-, Niet- und Klebeverbindungen, (Kreher (2004), S. 59)	15
Abb. 14: Unterschied elastische und starre Verklebung, (Neubauer (2011), S.27)	16
Abb. 15: Spannungsverlauf starre (links) und elastische Verklebung (rechts). (Wallner,(2004), S. 21) ..	17
Abb. 16: Aussteifungssysteme (Maas (18.03.2013)).....	18
Abb. 17: System Schubverklebung mit gezahnter Koppelleiste (Neubauer, Schober, (2008), S.1)	20
Abb. 18: Schubverklebung mit gezahnter Koppelleiste, (Edl (2008), S. 234/235)	21
Abb. 19: Tragmechanismen Schubfeld (links) und Druckdiagonale (rechts), (Hochhauser, (2011), S.13)	21
Abb. 20: Kombinierte Beanspruchung. System ITI/ TU- Wien	21
Abb. 21: Detail reine Schubverklebung der HFA (links) und Schubverklebung und Verklotzung der TU- Wien (rechts), (Hochhauser et.al. (2011), S. 14)	22
Abb. 22: GFK- Koppelleiste (Knapp GmbH (28.04.2013)).....	22
Abb. 23: Federmodell für Schubfeldtheorie nach Kreuzinger und Niedermaier (Kreuzinger, (2005), S.3).....	23
Abb. 24: Modell der Verklotzung (links), resultierende Scheibenbeanspruchung durch Klotzung (rechts) nach Kreuzinger und Niedermaier, (Kreher (2009))	24
Abb. 25: Federmodell nach Hochhauser, (Hochhauser et.al. (2011), S. 222)	26
Abb. 26: HGV- Bausysteme, Variantenvergleich	28
Abb. 27: Verformung der Schubverklebung infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S 206)	30
Abb. 28: Verformung der Koppelleiste infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 207)	31
Abb. 29: Verformung der Verbindungsmittel infolge Schubbeanspruchung, , (Hochhauser et.al. (2011), S. 207)	31
Abb. 30: Verformung der Rahmenkonstruktion infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 208)	32
Abb. 31: Verformung der Glasscheibe infolge Schubbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 209)	33

Abb. 32: Verformung der Glasscheibe infolge Druckdiagonale, (Hochhauser et.al. (2011), S. 2012) .	34
Abb. 33: Verformung der Schubverklebung und Verklotzung infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al (2011), S. 213).....	34
Abb. 34: Verformung der Verbindungsmittel infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 2014).....	35
Abb. 35: Verformung der Koppelleiste infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 215)	35
Abb. 36: Pressung der Koppelleiste infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 216)	36
Abb. 37: Verformung der Rahmenkonstruktion infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 217)	36
Abb. 38: Biegung der Pfosten und Riegel infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 218)	37
Abb. 39: Dehnung des gezogenen Stiels infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 219)	37
Abb. 40: Deformation des Rahmengelenks infolge Druckbeanspruchung, (Hochhauser et.al. (2011), S. 220)	38
Abb. 41: Detail HGV- Element, Kräfteweiterleitung (Rosliakova (2012)).....	40
Abb. 42: HGV- Elemente im Verband.....	41
Abb. 43: Vergleich der Lastaufteilung bei schubverklebten und verklotzten Scheiben	42
Abb. 44: Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse der verschiedenen Bausysteme	44
(Einzelscheibe).....	45
Abb. 46: Kraft – Verformungsdiagramm einer Schubverklebung, Schubverklebung & Klotzung im Verband.....	46
Abb. 47: Kraft - Verformungsdiagramm, Gegenüberstellung aller Varianten für eine Scheibe	47
Abb. 48: Wandscheibensteifigkeit für drei nebeneinander angeordnete Elemente	48
Abb. 49: Steifigkeitsberechnung mit SOFISTIK (Dobovisek/ Weissensteiner,(März 2013)).....	48
Abb. 50: Vergleich der Steifigkeitsberechnung mit Federmodell nach Hochhauser und SOFISTIK für Schubverklebung und Klotzung.....	49
Abb. 51: Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Federmodell nach Hochhauser und SOFISTIK für reine Schubverklebung.....	50
Abb. 52: Bestehendes Einfamilienhaus (Rosliakova (2012)).....	51
Abb. 53: Wintergartenkonstruktion- Zubau.....	51
Abb. 54: Grundriss- Wintergartenzubau- Erdgeschoss	52
Abb. 55: Grundriss- Wintergartenzubau- Obergeschoss	52
Abb. 56: Ansicht-seitlich- Wintergartenzubau	52
Abb. 57: Ansicht- Fassadenfront- Wintergartenzubau	53
Abb. 58: Mehrgeschossige HGV-Elemente mit Konsolenaufleger	54
Abb. 59: Explosionszeichnung HGV-Konstruktion mit Konsolenaufleger (Rosliakova, (2012))	55
Abb. 60: Explosionszeichnung-Konstruktion-Konsolenaufleger (Rosliakova, (2012))	55
Abb. 61: Eckdetail des Konsolenauflegers- 1:1 Modell (links und Mitte), Befestigung der Koppelleisten mit Klemmplatten (rechts), (ITI- TU Wien (2012))	56
Abb. 62: Elementstoß- Horizontalschnitt (links), Vertikalschnitt (rechts), (Rosliakova, (2012)).....	56
Abb. 63: Detail Isolierverglasung- Wärmekollektor, Horizontalschnitt- Wärmekollektor (links), Vertikalschnitt (rechts), (Rosliakova (2012)).....	57

Abb. 64: Horizontalschnitt- gezahnte- schmale Koppelleiste, Bereich Schubverklebung (rechts), Bereich Klotzung (links)	58
Abb. 65: Anischt gezahnte Koppelleiste, Mittelstoß-links, Endstoß-rechts	58
Abb. 66: Vertikalschnitt- gezahnte Koppelleiste, links- Bereich der Schubverklebung, rechts- Klotzbereich	59
Abb. 67: Vertikalschnitt- Einfachverglasung- gezahnte Koppelleiste, links- Verklotzung, rechts- Bereich Schubverklebung	60
Abb. 68: Horizontalstöße, mit Einfachverglasung- links, mit Isolierverglasung- rechts	60
Abb. 69: Horizontalschnitt- Wärmekollektor- Eckpanel	61
Abb. 70: Inverkehrbringen von Bauprodukten mit CE- Kennzeichnung in Österreich (Proßegger (2010), S.10)	63
Abb. 71: Inverkehrbringen von Bauprodukten ohne CE- Zeichnung in Österreich (Proßegger, (2010), S.11)	64
Abb. 72: Typen von SSGS laut ETAG 002 (EOTA, (1998), S.7)	64
Abb. 73: Aussteifende HGV- Elemente des Wintergartens	66
Abb. 74: Positionsplan- Wintergartenkonstruktion	67
Abb. 75: Aussteifung durch HGV- Elemente	70
Abb. 76: Elementstoß- Schnitt durch Konstruktion (links), Ansicht der Koppelleiste (rechts)	71
Abb. 78: Aussteifung durch eine verklotzte HGV- Scheibe	85
Abb. 79: Elementmittelstoß- Klotzung (rechts), Enddetail (links)	86
Abb. 80: 3D- Darstellung des Mittel- und Endstoßes	86
Abb. 81: Aussteifung des Wintergartens durch schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe	100
Abb. 82: Mittel- und Endstoß für Schubverklebung und Verklotzung	101
Abb. 83: Dunkerley'sche Gerade zur Bestimmung des Beulwerts für Schub- und Druckverklebung ..	103
Abb. 84: Temperaturverläufe einer nachträglich von außen bzw. von innen gedämmten Fassade (Feldmann et.al., (2008), S.3)	109
Abb. 85: Prinzipskizze Wärmebrücken (links), Isothermenverlauf ungedämmte Außenwand (mitte), Isothermenverlauf mit nachträglich angebrachter Außendämmung (rechts), (Feldmann et.al., (2008), S.4)	110
Abb. 86: Konstruktionszeichnung- Variante 01, L- Leiste-klein, 2-fach Verglasung	114
Abb. 87: Wärmebrückenberechnung Variante 01	114
Abb. 89: Wärmebrückenberechnung VAR 02	116
Abb. 90: Konstruktionszeichnung VAR 03, L- Leiste- groß, 2-fach Verglasung	117
Abb. 91: Wärmebrückenberechnung VAR 03	118
Abb. 92: Konstruktionszeichnung VAR 04, L- Leiste, 3-fach Verglasung	118
Abb. 93: Wärmebrückenberechnung VAR 04	119
Abb. 94: Konstruktionszeichnung- Variante 05 mit 2-fach Isolierverglasung	120
Abb. 95: Wärmebrückenberechnung VAR 05	121
Abb. 96: Konstruktionszeichnung- VAR 04, flache BFU-Leiste- 3-fach Isolierverglasung	122
Abb. 97: Wärmebrückenberechnung VAR 06	122
Abb. 99: Wärmebrückenberechnung VAR 07	124
Abb. 100: Konstruktionszeichnung- VAR 08- GFK- 3-fach Isolierverglasung	125
Abb. 101: Wärmebrückenberechnung VAR 08	125
Abb. 102: Konstruktionszeichnung VAR 09, Aluminium, 2-fach Verglasung	126
Abb. 103: Wärmebrückenberechnung VAR 09	127

Abb. 104: Konstruktionszeichnung VAR 10, Aluminium, 3-fach Verglasung	127
Abb. 105: Wärmebrückenberechnung VAR 10	128
Abb. 106: Vergleich der Oberflächentemperaturen für Edelstahlrandverbund und Argonfüllung	129
Abb. 107: Vergleich der ψ - Werte für Edelstahlrandverbund und Argonfüllung	129
Abb. 108: Vergleich der U- Wert für Edelstahlrandverbund und Argonfüllung.....	130
Abb. 109: Prozentuelle Abweichung der Bauphysikalischen Kenndaten.....	131
Abb. 110: Randverbund Isolierglas (Isolar (04.03.2013)).....	131
Abb. 111: Randverbund aus einer Silikonmatrix (Glas Trösch Beratungs-GmbH (04.03.2013)).....	132
Abb. 112: Einfluss des Randverbundes auf die Oberflächentemperatur.....	132
Abb. 113: Einfluss des Randverbundes auf den ψ - Wert.....	133
Abb. 114: Einfluss des Randverbundes auf den mittleren U- Wert der Fassaden	133
Abb. 115: Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf die Oberflächentemperatur.....	134
Abb. 116: Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf den ψ - Wert	135
Abb. 117: Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf den U- Wert	135
Abb. 118: Einfluss der Gasfüllung auf die Oberflächentemperatur	136
Abb. 119: Einfluss der Gasfüllung auf den ψ - Wert	136
Abb. 120: Einfluss der Gasfüllung auf den U- Wert	137
Abb. 121: Vergleich der Einflussparameter für L- Leiste, klein	138
Abb. 122: Vergleich der Einflussparameter für L- Leiste, groß	138
Abb. 123: Vergleich der Einflussparameter für BFU- Flachleiste	139
Abb. 124: Vergleich der Einflussparameter für GFK- Flachleiste	139
Abb. 125: U- Wert Vergleich verschiedener Einflussparameter	140
Abb. 126: Funktionsprinzip der natürlichen (links) und der mechanischen Lüftung (rechts) eines Wintergartens (Arbeitsgemeinschaft Holz (2000), S.19)	142
Abb. 127: Speichermasse- Wintergarten (Bosy, (05.03.2013)).....	143
Abb. 128: Trombe Wand (Bosy, (05.03.2013)).....	143
Abb. 129: Systemschnitt- Lucido Fassade, (Nelson/ Fent (2009) S. 11).....	144
Abb. 130: Funktionsprinzip im Winter (links), im Sommer (rechts), (Nelson/ Fent, (2009), S. 12-13).....	144
Abb. 131: Konzept des Wintergartens, Bestand- links, Zubau- rechts.....	145
Abb. 132: Bauphysikalisches Konzept des Wintergartens	145
Abb. 133: Lüftungsklappenstellung- Winter sonnig.....	146
Abb. 134: Lüftungsklappenstellung- Winter bedeckt	146
Abb. 135: Lüftungsklappenstellung- Sommertag sonnig	147
Abb. 136: Lüftungsklappenstellung- Sommer bedeckt	147

7.6 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittlere Festigkeiten von Bauhölzern (Neuhaus 2007, S. 35).....	3
Tab. 2: Physikalische Eigenschaften von Gläsern (Kolbitsch (2012), S 8).....	7
Tab. 3: Prozesse bei der Glasherstellung (Kolbitsch (2012), S.10)	8
Tab. 4: Berechnungsergebnisse einer schubverklebten und geklotzten HGV- Scheibe im Verband.....	42
Tab. 5: Berechnungsergebnisse einer geklotzten Einzelscheibe.....	42
Tab. 6: Berechnungsergebnisse einer geklotzten Scheibe im Verband	43
Tab. 7: Berechnungsergebnisse einer schubverklebten Einzelscheibe.....	43
Tab. 8: Berechnungsergebnisse einer schubverklebten Scheibe im Verband	43
Tab. 9: Bestimmungen für Inverkehrbringen und Verwendbarkeit von Bauprodukten in Österreich, (WKO, 20.04.2013)	62
Tab. 10: Charakteristisches Eigengewicht der Konstruktion.....	69
Tab. 11: Berechnung Wandsteifigkeit für eine reine Schubverklebung- kurzfristige Lasteinwirkung ...	75
Tab. 12: Federsteifigkeiten für langfristige Belastung- reine Schubverklebung	77
Tab. 13: Systemsteifigkeit bei reiner Verklotzung- kurzfristige Lasteinwirkung.....	87
Tab. 14: Systemsteifigkeit für kombinierte Beanspruchung bei einer kurzfristigen Lasteinwirkung ..	101
Tab. 15: Systemsteifigkeit für eine kombinierte Beanspruchung bei einer langfristigen Lasteinwirkung	101
Tab. 16: Vergleich der Nachweise- schubverklebte HGV- Scheibe	106
Tab. 17: Vergleich der Nachweise- geklotzte HGV- Scheibe	107
Tab. 18: Vergleich der Nachweise- schubverklebte und geklotzte HGV- Scheibe	108
Tab. 19: Bauphysikalische Kenndaten VAR 01	115
Tab. 20: Bauphysikalische Kenndaten VAR 02	116
Tab. 21: Bauphysikalische Kenndaten VAR 03	118
Tab. 22: Bauphysikalische Kenndaten VAR 04	119
Tab. 23: Bauphysikalische Kenndaten VAR 05	121
Tab. 24: Bauphysikalische Kenndaten VAR 06	123
Tab. 25: Bauphysikalische Kenndaten VAR 07	124
Tab. 27: Bauphysikalische Kenndaten VAR 09	127
Tab. 28: Bauphysikalische Kenndaten VAR 10	128

8 Literatur

8.1 Bücher und Schriften

Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Düsseldorf in Zusammenarbeit mit dem Fachverband (2000): Holz-Glas- Konstruktionen und Holz- Wintergärten. Holzbau Handbuch. 2. Aufl. Unter Mitarbeit von Anke Samhammer- Hambrich.

Bucak, Ömer (2009): Gutachterliche Stellungnahme für die Verwendbarkeit von HILTI HIT®-HY 70 im Glasbau. Weingarten.

Burger, Norbert; Hamm, Patricia (2008): Holzbau 1. Skriptum, FH- Salzburg-Kuchl, HTW/HTB.

Edl, Thomas (2008): Entwicklung von Wandartigen verklebten Holz- Glas- Verbundelementen und Beurteilung des Tragverhaltens als Aussteifungsscheibe. Dissertaion. Hg. v. TU- Wien. Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau.

Engelhardt, Oliver (2007): Flächentragwerke aus Glas. Tragverhalten und Stabilität. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien.

Ermanni, Paolo (2006): Leichtbaustrukturen. Skriptum, ETH- Zürich.

Feldmann, Rainer; Becker, Thomas (2008): Energie & Haus. Wärmebrücken in der Bestandssanierung. Leitfaden für Fachplaner und Architekten. Berlin: Beuth.

Habenicht, Gerd (2009): Kleben. Grundlagen, Technologien, Anwendungen. 6. Aufl. Berlin: Springer.

Hauser, Gerd (1986): Bauphysikalische Aspekte bei Wintergärten. Sonderdruck aus "Glaswelt", Gesamthochschule Gassel, Universität.

Hochhauser, Werner (2011): Ein Beitrag zur Berechnung und Bemessung von geklebten und geklotzten Holz-Glas-Verbundscheiben. Dissertation. TU-Wien, Wien.

Hochhauser, Werner; Winter, Wolfgang; Kreher, Klaus (2011): Holz- Glas- Verbundkonstruktionen. State of the Art, Forschungsbericht, Studentische Arbeiten. Wien.

Hochschule Augsburg, Institut für Bau und Immobilie (2013): Fassade 13. Geklebtes Glas in Fenster und Fassade, Gestaltung und Konstruktion. Tagung mit Fachaussstellung.

Kolb, Bernhard (Hg.) (1994): Wintergärten und Glasanbauten im Detail. Projektbeispiele, Material, Konstruktionsdetails, Kosten. 1. Aufl. Augsburg: WEKA-Baufachverl, Verl. für Architektur.

Kolbitsch, Andreas, Prof (Hg.) (2012): Glas und Glasbaustoffe. Skriptum. Unter Mitarbeit von Professor Kolbitsch. Institut für Hochbau und Technologie, Zentrum für Hochbaukonstruktionen und Gebäudeerhaltung Technische Universität Wien. Wien.

Kreher, Klaus (2004): Tragverhalten und Bemessung von Holz- Glas- Verbundträgern unter Berücksichtigung der Eigenspannungen des Glas, Technische Universität Darmstadt, Allemagne.

Kreher, Klaus; Hochhauser, Werner (2009): Berechnung von nachgiebigem Verbund, von der exakten zur Näherungslösung- Theorie und Praxis. Tagungsbandbeitrag: Werkstoffkombination-ein Mehrwert für Holz. 41. Fortbildungskurs 2009 der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung. Weinfelden.

Kreuzinger, Heinrich; Niedermaier, Peter (2005): Glas als Schubfeld. Tagungsband Ingenieurholzbau; Karlsruher Tage.

Meyer zur Capellen, W.: Festigkeitslehre. In Bouché, Ch., et.al (Hg.) (1974): Dubbel- Taschenbuch für den Maschinenbau, Berichtiger Neudruck der 13. Auflage, Band 1. Berlin: Springer.

- Neubauer, Georg (2001): Entwicklung und Bemessung von statisch wirksamen Holz- Glas- Verbundkonstruktionen zum Einsatz im Fassadenbereich. Diplomarbeit. TU- Wien, Wien.
- Neubauer, Georg; Schober, Klaus Peter (2008): Handbuch für den Einsatz von Holz- Glas- Verbundelementen. Hg. v. Holzforschung Austria. Wien.
- Neuhaus, Helmuth (2007): Ingenieurholzbau. 2. Aufl. Wiesbaden: Teubner.
- Ofner, Robert (2007): Leichtbau und Glasbau- Skriptum. Konstruktionsprinzipien des Leichtbaus. Hg. v. Technische Universität Graz. Institut für Stahlbau und Flächentragwerke.
- Riccabona, Christof; Bedner, Thomas: Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik. 7. Aufl. Wien: Manz.
- Wallner, Georg (2004): Versuchstechnische Ermittlung der Verschiebungskenngrößen von orthogonal verklebten Brettlamellen. Diplomarbeit/ TU- Graz.
- Winter, Wolfgang; Hollinsky, Karlheinz; Wolfgruber, Josef (2007): Bausysteme Holz für Architekten. Holzbau. Skriptum.
- Wittel, Falk (2011): Amorphe Werkstoffe im Bauwesen: Glas. Skriptum. 1. Auflage. Hg. v. ETH Zürich. Institut für Baustoffe.
- Wörner, Johann-Dietrich; Fink, Andreas; Schneider, Jens; Wörner-Schneider-Fink (2001): Glasbau. Grundlagen, Berechnung, Konstruktion ; mit 75 Tabellen. Berlin [u.a.]: Springer.

8.2 Normen

- ÖNORM EN 1991-1-1: Eurocode 1- Einwirkung auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. Ausgabe 2003-03-01
- ÖNORM B 1991-1-1: Eurocode 1- Einwirkung auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. Nationale Festlegung und nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 1991-1-1. Ausgabe 2006-01-01
- ÖNORM EN 1991-1-3: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten. Ausgabe 2005-08-01
- ÖNORM EN 1991-1-3: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten. Nationale Festlegung und nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 1991-1-3. Ausgabe 2006-04-01
- ÖNORM EN 1991-1-4: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten. Ausgabe 2005-11-01
- ÖNORM EN 1991-1-4: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten. Nationale Festlegung und nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 1991-1-4. Ausgabe 2005-11-01
- ÖNORM EN 1995-1-1: Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Ausgabe 2009-07-01
- ÖNORM B 1995-1-1: Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-1. Ausgabe 2009-07-01

ÖNORM B 3716-1: Glas im Bauwesen-Konstruktiver Glasbau, Teil 1: Grundlagen, Anhang A und B. Ausgabe 2006-03-01

ÖNORM EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007). Ausgabe 2008-04

ÖNORM EN ISO 14683: Wärmebrücken im Hochbau - Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient - Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (ISO 14683:2007). Ausgabe 2008-04

DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken- Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Ausgabe 2004-08.

DIN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte. Ausgabe 2010-05

DIN EN ISO 6946: Bauteile- Wärmedurchlasswiderstand und Wärmebrückenkoeffizient- Berechnungsverfahren (ISO 6946: 2007). Ausgabe 2003-10

Leitlinie für Europäische Technische Zulassung, Geklebte Glaskonstruktionen ETAG Nr. 002: Geklebte Glaskonstruktionen, Teil 1: Gestützte und ungestützte Systeme (OIB-467-018/98). Ausgabe 1998

8.3 Quellen aus dem Internet

Bornschlegel, Klaus (2008): Energiesparendes Bauen III. Solares Bauen/Wintergärten. Online verfügbar unter <http://ibbfm.de/app/download/5781079651/Skript+EnBau+III+--+Niedrigenergie+Passivhaus+klein.pdf>, zuletzt geprüft am 05.03.2013.

Bosy, Bruno: Wintergarten Glashaus. Abbildung. Online verfügbar unter <http://www.bosy-online.de/nullenergiehaus.htm>, zuletzt geprüft am 05.03.2013.

ECKELT GLAS GmbH: Ganz Glas Optik. Hg. v. ECKELT GLAS GmbH. Online verfügbar unter <http://www.eckelt.at/de/produkte/systeme/vario/download.aspx>, zuletzt geprüft am 03.03.2013.

Glas Trösch Beratungs-GmbH: Robot Assisted Application RAA. Abbildung. Online verfügbar unter <http://www.warmekante.info/systemueberblick/verarbeitung-und-applikation/robot-assisted-application-raa/>, zuletzt geprüft am 04.03.2013.

ISOLAR-Glas-Beratung GmbH. Abbildung. Online verfügbar unter http://www.isolar.de/media/sz_randverbund.pdf, zuletzt geprüft am 04.03.2013.

Knapp GmbH: Fasco- Fassadensystem. Verklebte Glaselemente für den modernen Holz- und Metallbau. 01.2013, zuletzt geprüft am 28.04.2013.

Kuklik, Petri (2008): Handbuch 1 - Tragwerke aus Holz. Lehr- und Lernunterlagen für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Holz- TEMENTIS. Hg. v. Leonardo da Vinci Pilot Projekt. Online verfügbar unter http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/Handbuch1_German.pdf, zuletzt aktualisiert am 10.02.2013.

Maas, Michael: Aussteifung von Tragwerken. Skriptum. Abbildung. Hochschule Bochum. Online verfügbar unter http://www.hochschule-bochum.de/fileadmin/media/fb_a/Maas/ordner1/Vorlesung-Aussteifung-07.10.11.pdf, zuletzt geprüft am 18.03.2013.

Nelson, Eric; Fent, Guiseppe (2009): IEA SHC Task 37: Solarfassade für Wohnbau - Erneuerungen mit tiefstem Energieverbrauch. Die bauphysikalischen, energetischen und architektonischen Potentiale 1. Abbildung. BFE-Bundesamt für Energie, Schweizerische Eidgenossenschaft. Online verfügbar unter www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file...pdf..., zuletzt geprüft am 05.03.2013.

Niemz, Peter (2011): Skript zur Vorlesung Werkstoffe I. Teil Holz und Holzwerkstoffe. Hg. v. ETH Zürich. Institut für Baustoffe. Online verfügbar unter http://www.ifb.ethz.ch/education/bachelor_werkstoffe1/2011FS/Werkstoffe1_Holz2011.pdf, zuletzt aktualisiert am 10.02.2012.

Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB) (2013): Bauproduktkennzeichnung in Europa und Österreich im geregelten und ungeregelten Bereich. Online verfügbar unter http://www.wohnbeton.at/Seiten/produktkennzeichnung/01_oetz.asp, zuletzt aktualisiert am 21.05.2013.

Wikipedia Foundation Inc. (2013): Epoxidharz. Online verfügbar unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Epoxidharz>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2013.

Wirtschaftskammer Österreich (WKO) (2013): FAQ zur Bauproduktenrichtlinie. Online verfügbar unter http://wko.at/unternehmerservice/ce_kennzeichnung/faq_bau.asp, zuletzt aktualisiert am 20.04.2013.