



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## **DIPLOMARBEIT**

Thermische Bewertungen der Holz-Glas-Verbundkonstruktion, wie auch der  
Anwendungsmöglichkeit weiterer Optimierungsuntersuchungen.

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

**O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang WINTER**

**Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza FADAI**

E 259

Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

**eingereicht an der Technischen Universität Wien**

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

**Pierre HEID**

0825148

Skodagasse 24, 2531 Gaaden

## KURZFASSUNG

### **Thermische Bewertungen der Holz-Glas-Verbundkonstruktion, wie auch der Anwendungsmöglichkeit weiterer Optimierungsuntersuchungen.**

Die Holz-Glas-Verbundkonstruktion erfüllt den architektonischen Wunsch einer transparenten Hülle, wie auch die konstruktive Idee, eine aktive Krafteinleitung der Fassadenkonstruktion zu ermöglichen. Das heutige gesellschaftliche Bedürfnis nach Offenheit und Transparenz soll durch unsere modernen Konstruktionen gefördert werden, indem neue Fassadensysteme gemeinsam mit ökologisch, innovativen Ideen umgesetzt werden. Die immer größer werdende Ressourcenknappheit, sowie die Schnellebigkeit der letzten Jahre erfordern des Weiteren die Beachtung der energieschonenden Herstellungsweisen und Materialien.

Die bisherig bewertete Holz-Glas-Verbundkonstruktion erfüllt diese Bedingungen hinsichtlich der Ökobilanz im Wesentlichen besser als jene Konstruktionen aus Aluminium oder Kunststoff. Die Forschung dieser Konstruktion obliegt der Kooperation mit Firmenpartnern, wie auch der Holzforschung Austria, um hier ein angemessenes Produkt mit anspruchsvollen Materialien auf den Markt zu bringen. Zudem ermöglichen diese Materialien auch eine komfortable und warme Atmosphäre für den Innenraum.

Diese Arbeit beruht auf dem thermischen und bauphysikalischen Interesse, diese Konstruktionsweise kritisch zu hinterleuchten und einen innovativen und ökonomischen Beitrag für diese bedeutungsvolle Forschung leisten zu können.

Die Untersuchungen starten mit einer Diskrepanz zwischen den genehmigten und geprüften Ermittlungen der Holz-Glas-Verbundkonstruktion und einer Forschungsarbeit zur thermischen Analyse ebendieser Konstruktion. Das Ergebnis dieser Analyse weist die Bildung von Kondensat an der inneren Oberfläche aus, was fatale Folgen bezüglich Schimmelbildung hat. Im ersten Ansatz soll die Konstruktion im Hinblick auf thermische Fragen kritisch hinterfragt, sowie ein möglicher Fehler gefunden und behoben werden. Im Interesse der weiteren Forschung soll ein innovativer Gedanke eingebracht werden, der eine Optimierung der bisherigen Konstruktion ermöglichen kann, wobei eine solche Optimierung mittels der bisherigen Untersuchungen und konventionellen Fassadenkonstruktionen aus Stahl oder Aluminium zu verifizieren ist. Die Fragestellung nimmt also Bezug auf eine Optimierungsmöglichkeit, die neue energetische und thermische Ansätze ermöglicht und dem Trend neuer Fassadenlösungen mit individuellen und multifunktionalen Ansprüchen gerecht werden.

## ABSTRACT

### **Thermal ratings of wood-glass composite construction, as well as the application possibility of further optimization studies.**

The wood-glass composite construction combines the architectural desire for a transparent facade with the constructive idea to lead over a part of the active forces into the facade structure. Today's social need for openness and transparency should be enhanced by our modern constructions by implementing new facade systems together with environmental innovative ideas. The increasing shortage as well as the fast pace of time that came up during the last years require the careful consideration of energy-saving production methods and materials.

The hitherto evaluated wood-glass composite construction meets the conditions in terms of the LCA better than constructions made of aluminum or plastic. Research of this promising construction is done in collaboration with the respective companies, as well as Holzforschung Austria, so that adequate products using high quality materials can be brought on the market. In addition, such materials also provide a comfortable and warm atmosphere for the interior space.

This work is based on the thermal and structural-physical interest to critically question this construction method, as well as contribute an innovative and economic input to this significant research.

This study sets out with a discrepancy between the approved and audited investigations of wood-glass composite construction and a research project for thermal analysis of this construction. The result of this analysis shows the formation of condensate on the inner surface, which has fatal consequences like mold formation. A first approach to this topic is to critically question the construction in regard to thermal issues so that a possible error can be found and corrected. As for further research, an innovative idea is to be introduced, which may allow an optimization of the previous design. This new approach can then be verified by comparing it with previous studies and conventional facade constructions made of steel or aluminum. To sum up, this study concentrates on a possible optimization of wood-glass composite construction, which allows not only modern approaches to energy and thermal issues but also an individual and multifunctional facade construction.



## DANKSAGUNG

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Master-These unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders gilt dieses Dank dem Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, worunter Herr Prof. Alireza Fadai und in letzter Instanz Herr Prof. Wolfgang Winter meine Arbeit und somit auch mich betreut haben. Ebenso ist der gleiche Dank auch Herrn Prof. Klaus Krec beizumessen, welcher auch meine Ergebnisse hinsichtlich der bauphysikalischen Fragen begutachtet und diskutiert hat. Alle genannten Personen halfen mit kritischem Hinterfragen und wertvollen Hinweisen. Vielen Dank für die Unterstützung.

Daneben gilt mein Dank meiner Frau und Georg Schweiger, die beide wesentlichen Stunden Korrektur gelesen haben. Sie wiesen auf Schwächen hin und konnten als Fachfremde immer wieder zeigen, wo noch Erklärungsbedarf bestand.

Auch meine Studienkollegen der Technischen Universität Wien haben dazu beigetragen, dass diese Arbeit nun so vorliegt.

Nicht zuletzt gebührt meiner Familie Dank, da Sie mich nicht nur während der Schulzeit sondern auch während des Studiums so herzlich unterstützten.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>8</b>
1.1	Herkömmliche Abkürzungen	8
1.2	Geometrische Abkürzungen	8
1.3	Materialtechnische Abkürzungen	8
<b>2.</b>	<b>Einleitung in das Thema</b>	<b>10</b>
2.1	Glasarchitektur	10
2.2	Ökologische Betrachtung der Glasarchitektur	11
2.3	Energieeffizienz	13
2.4	Einblick in die Holz-Glas-Verbundkonstruktion	15
2.5	Bauphysikalische Themeneinführung	17
2.6	Normungen für die Betrachtung	21
<b>3.</b>	<b>Die Analyse der thermischen Untersuchungen</b>	<b>26</b>
3.1	Motivation	26
3.2	Diskrepanz	26
3.3	Temperaturfaktor	27
3.4	Fehlerquellen	28
3.5	Fehlerquellensuche	28
<b>4.</b>	<b>Methodik</b>	<b>30</b>
4.1	Ablaufbeschreibung	30
4.2	CAD-Programm	31
4.3	Thermische Simulationsprogramme	32
<b>5.</b>	<b>Analyse der Durchführbarkeit der HGV-Konstruktion</b>	<b>38</b>
5.1	Datensätze	38
5.2	Randbedingungen für die thermischen Simulationen	39
5.3	Betrachtung der Simulationsergebnisse	40
<b>6.</b>	<b>Optimierungen unter dem Einsatz konventioneller Glasabstandhalter</b>	<b>52</b>
6.1	Vorgehensweise und Methodik	52
6.2	Die Vorschau auf die Optimierbarkeit	52
6.3	Veranschaulichung der Schwachstelle bei konventionellen Abstandhaltern	53
<b>7</b>	<b>Vergleich der Überdeckungen anhand beider Konstruktionen</b>	<b>64</b>
7.1	Vergleich der Überdeckungen anhand der thermischen Resultate	65
7.2	Vergleichende Temperaturen	67

---

---

<b>8 Einflüsse und Auswirkung der Überdeckung des Birkenfurnier</b>	<b>68</b>
Entstehender Mehrbedarf an Material	
8.1 Entstehender Mehrbedarf an Material	68
8.2 Änderungen an der Konstruktion	69
8.3 Änderungen an den Flächenverteilungen - Ausblick	70
8.4 Lichteinfall	71
<b>9 Weitere Optimierungsmöglichkeit durch Entfall des Riegels</b>	<b>72</b>
9.1 Thermischer Luftstrom entlang der Fassade	72
9.2 Thermische Simulationen	74
9.3 Entfallen des Riegels an der Konstruktion ITI	75
9.4 Entfallen des Riegels an der Konstruktion Petschenig	78
<b>10 Weiterführende Ergebnisse durch die Einwirkung der Konsolen</b>	<b>82</b>
10.1 Bisheriger Ansatz der Konsolen	82
10.2 Weiterer Ansatz der Konsolenentwicklung	85
10.3 Messpunkte der Thermischen Untersuchung	88
10.4 Thermische Simulationen der Konsolen	88
10.5 Ergebnisse der L-verzahnten Koppelleiste mit Warm-Edge-Hybrid	89
10.5 Ergebnisse der verzahnten Koppelleiste mit Warm-Edge-Hybrid	93
10.6 Ergebnisse der L-verzahnten Koppelleiste - Edelstahlabstandhalter (V2A)	95
10.7 Ergebnisse der verzahnten Koppelleiste - Edelstahlabstandhalter (V2A)	99
10.8 Ergebnisse der L-verzahnten Koppelleiste - Verschiedener Abstandhalter	101
10.9 Ergebnisse der verzahnten Koppelleiste - Verschiedener Abstandhalter	103
<b>11 Tauwasser im Hohlraum der Konstruktionen</b>	<b>106</b>
11.1 Eingabe der Neoprenbänder	108
<b>12 Kurzüberblick - Projekt Ljubljana</b>	<b>110</b>
12.1 Optimierungsvorschläge	111
12.2 Thermische Untersuchungen	113
12.3 Simulationen - Edelstahl Glasabstandhalter	114
12.4 Simulationen - Warm-Edge-Hybrid	116
<b>13 Zusammenfassung aller HGV-Konstruktionen</b>	<b>118</b>
13.1 Überblick über die untersuchten Konstruktionen	118
13.2 HGV - Winkelförmig verzahnte Koppelleiste	119
13.3 HGV - Einfach verzahnte Koppelleiste	121
13.4 HGV - Schichtholzkonstruktion	123
<b>Abbildungsverzeichnis, Tabellen und Diagramme und Literatur</b>	<b>126</b>
<b>Anhänge</b>	<b>134</b>

---

## 1 Abkürzungsverzeichnis

Auf den folgenden Seiten werden die Kurzzeichen mit dessen Bedeutungen für Ihre Verwendung in dieser schriftlichen Arbeit erläutert.

### 1.1 Herkömmliche Abkürzungen

HGV	Holz-Glas-Verbundkonstruktion
ESG	Einscheiben - Sicherheitsglas
TVG	Teilvorgespanntes - Glas
VSG	Verbundsicherheits - Glas
BFU	BirkenfurnierSperrholz
SPH	Sperrholz
SG	Structural Glaszing

### 1.2 Geometrische Abkürzungen

V	Volumen
A	Fläche
l <sub>fm</sub>	Laufmeter
m	Meter
mm	Millimeter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
mm <sup>2</sup>	Quadratmillimeter
ΔL	Längendifferenz

### 1.3 Materialtechnische Abkürzungen

GAH	Glasabstandhalter
V2A	Rostfreier Edelstahl
PVC	Polyvinylchlorid
BU	Butyl
CF	Kohlenstoff-Faser
CL	Polychlorid
GF	Glasfaser
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
Bst	Baustahl

**Abkürzungen und Formelzeichen in der statischen Anwendung**

E	Elastizitätsmodul
F	Kraft
G	Schubmodul
H	Horizontallast
V	Vertikallast
N	Newton
kN	Kilonewton
$\rho$	Rohdichte
$\sigma$	Spannung
$\varepsilon$	Dehnung

**Abkürzungen und Formelzeichen in der bauphysikalischen Anwendung**

f	Temperaturfaktor
$f_{R_{s,i}}$	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
$U_g$	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
$U_f$	Wärmedurchgangskoeffizient der Fuge
$U_{TJ}$	Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade
$U_{cW}$	thermischer zweidimensionaler Leitwert
$L_{2D}$	Längenbezogener Durchgangskoeffizient
$\psi$	projizierte Breite des Rahmprofil
bf	projizierte Breite der Verglasung
bg	projizierte Breite der Fuge
bt	Wärmeausdehnungskoeffizient
$\alpha$	Innentemperatur
$\theta_i$	Innere Oberflächentemperatur
$\theta_{si}$	Außentemperatur
$\theta_e$	Sättigungstemperatur / Taupunkttemperatur
$\theta_{sat}$	Relative Feuchtigkeit Innenraum
$\varphi_i$	Relative Feuchtigkeit Außenraum
$\varphi_e$	Wasserdampf-Sättigungsdruck
$p_{sat}$	Grad Celsius
$^{\circ}C$	Grad Kelvin
$^{\circ}K$	Absolute Temperatur
T	Temperaturdifferenz
$\Delta T$	

## 2. Einleitung in das Thema

### 2.1 Glasarchitektur

Seit dem berühmten Bau von Joseph Paxton für die Weltausstellung 1851 ist klar, welche Bedeutung der Glasbau und die kombinierbare Modulplanung für uns gewinnt. Der Skelettbau und die Einführung vom Baustoff Glas als großformatiges Bauelement öffnet uns seit jeher schier unvorstellbare Möglichkeiten. Die Erlebbarkeit des Außenraumes wird in das Gebäudeinnere gebracht, während man von Außen, das Leben und die Prozesse des Gebäudes von Außen erleben kann. In der Geschichte ist zu erkennen, dass seit diesem Punkt das Glas nicht nur eine Rolle in der Fassadenbildung spielt, sondern dass es in der Lage ist, die Fassade zwischen dem Außen- und Innenraum zu sein. Ein erwähnenswertes Beispiel ist die Entwicklung der Warenhäuser und der Einkaufspassagen aus dem 19. und 20. Jahrhundert, wo das Glas sehr schnell seine repräsentative Rolle in der Architektur gefunden hat. Kaufleute und Industrielle zeigten in Schaukästen ihre Waren und bringen zugleich Licht in den sonst eher düster geratenen Innenraum. Ihren Symbolcharakter erhält die Glasarchitektur, seit es möglich ist, sich vor der Wärme und Kälte in den Sommer- und Wintermonaten schützen zu können. Büro- und Wohnhochhäuser sind seit diesem Punkt in explosionsartiger Weise aus dem Boden gen Himmel vorgedrungen. Mit den heutigen Möglichkeiten, das Glas einzufärben, es beliebig zu rastern, es zu bedrucken, es zu biegen oder anderweitig zu verformen, es als Informationsträger und es gar als tragendes Element zu nutzen, erweitert die Grenze des Möglichen immer weiter.

#### *Bisherige Ansprüche und Kriterien*

Das Glas bildet die Brücke zwischen dem inneren und dem äußeren Raum in der Gebäudehülle. Mit seiner Möglichkeit eine transparente Hülle zu schaffen, ist es vorstellbar diese Brücke von beiden Seiten zu betreten und mit dem eigenen Körper zu erfahren. Der Außenraum wird spürbar mit dem Inneren verwoben und eine klare Grenze lässt sich seit der Glasarchitektur der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts nicht mehr definieren. Lediglich durch Pfosten und Riegel ist eine Kontur in der Fassadengestaltung bemerkbar zu machen. Der Innenraum wird in Szene gesetzt und der Mensch von Außen wird eingeladen einen Blick in das Innere des Gebäudes zu werfen oder droht gar in das Gebäude hineingezogen zu werden. Andererseits ist der Schutz der Privatsphäre durch neue Technologien, mittels integrierter oder reflexierter Sichtschutz heutzutage gegeben. Schutz gegenüber dem Einbruch der Kälte in das Gebäude und der Überhitzung von Fassadenbestandteilen ist seit den letzten Forschungen immer mehr ein Riegel vorgeschoben worden und der Komfort von Glasfassaden und der gesamten Glasarchitektur ist im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten gestiegen. Mit der Anwendung von Holz als tragendes Element, erfüllt es auch die zukünftigen Erwartungen zu dem steigenden Druck von ökologischen Ansprüchen. In dieser Kombination wird nicht nur ein Raum geschaffen, der den Anforderungen dieser Generationen für Freiheit, Wärme, Leichtigkeit und Geborgenheit gerecht wird, sondern bereitet zugleich auch die Maßstäbe in konstruktiver Sicht für die Zukunft der kommenden Generationen.

## 2.2 Ökologische Betrachtung der Glasarchitektur

### Ökologische Betrachtung

In den Zeiten des wachsenden Interesses an den Klimawandel, gewinnt die ökologische Gestaltung mehr und mehr an Bedeutung. Seit den letzten Jahren sind die Ansprüche und Forderungen an umweltverträglichen Bauweisen und Konstruktionen gestiegen. Ziel und Zweck der wachsenden Bewegung ist es, den Menschen mit seinem Ansprüchen und dem Ökosystem in Einklang zu bringen, um auch für die Nachwelt eine funktionierende Umwelt erhalten zu können.

Das Kyoto Ziel von 1997 für das Jahr 2011, mit der Erfüllung der Senkung der Treibhausgase ist nicht erfüllt worden. Laut Angaben des Klimaschutzberichtes sind wir seit der letzten Etappe, um 6% über dem Niveau von 1990. Dennoch ist festzustellen, dass seit den letzten Jahren die Emissionen zurückgegangen sind, was auf die Modernisierung der erneuerbaren Energien zurückzuführen ist. Das neue Ziel bis 2020 ist, vom Ausgangswert von 1990 gemessen, eine Reduktion der Emissionen von 20%. Aus dieser Zielformulierung ist es notwendig, mehr in die Richtung des ökologisch bewussten Bauens zu denken und Bauweisen zu fördern, welche dies ermöglichen zu fördern.

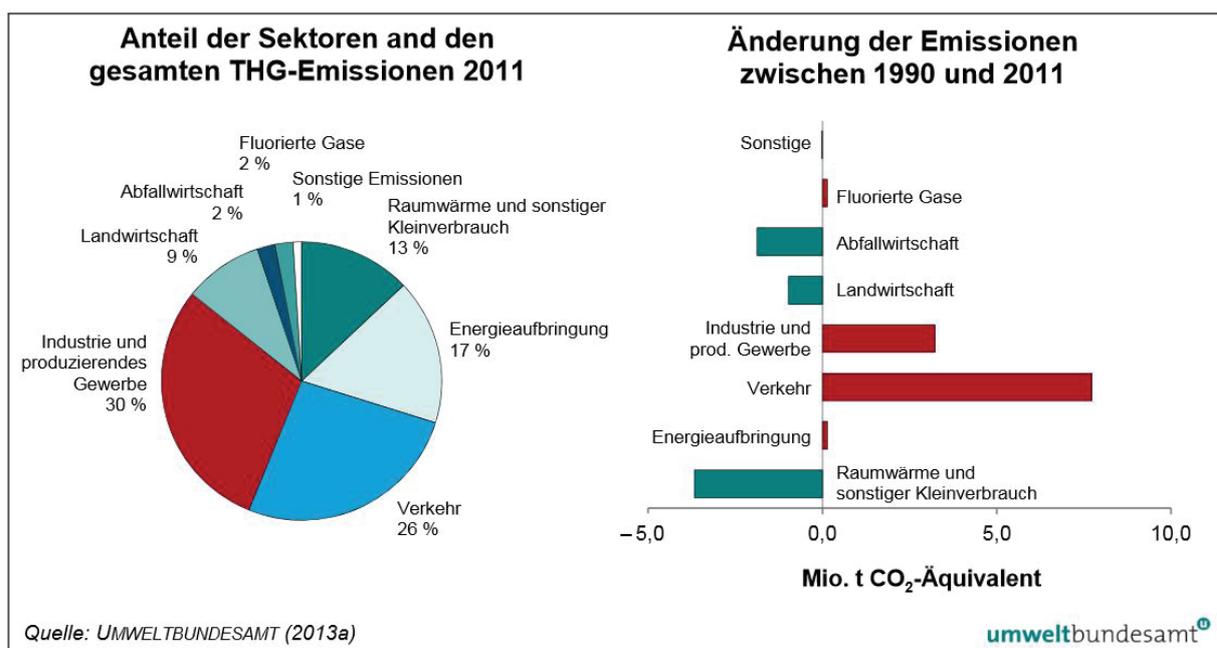


Abb. 01 - Anteil und Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (Bundesamt für Umwelt 2013)

Nachstehende Grafik erläutert die notwendige Reduktion der einzelnen Bereiche, um das Ziel für 2050, laut dem österreichischen Bundesamt für Umwelt erreichen zu können. Laut dieser Prognose müsste ab 2015 ein rapider Abfall in der Treibhausgas-Emission stattfinden, der laut der Forscher anhand der bisher geschätzten politischen Tendenzen nicht in Erscheinung treten wird. Von der derzeitigen Ausgangslage werden wir das Ziel für 2050 nicht erreichen.

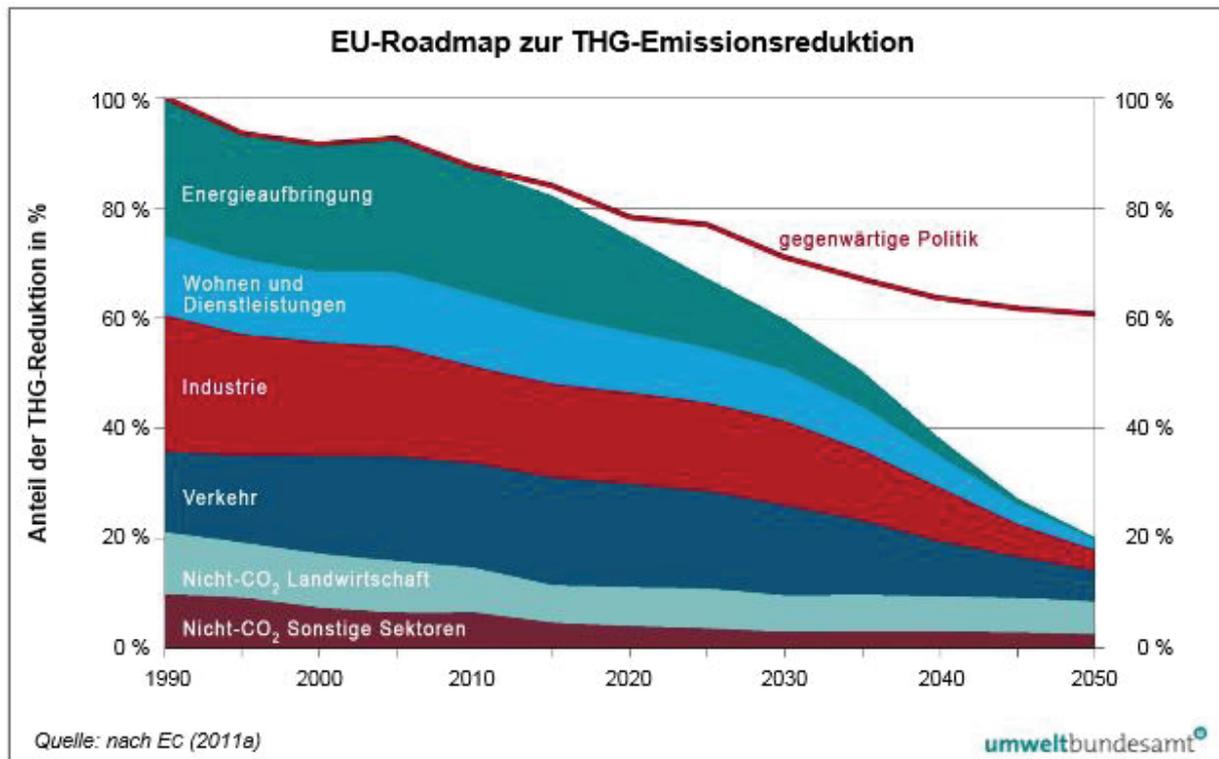


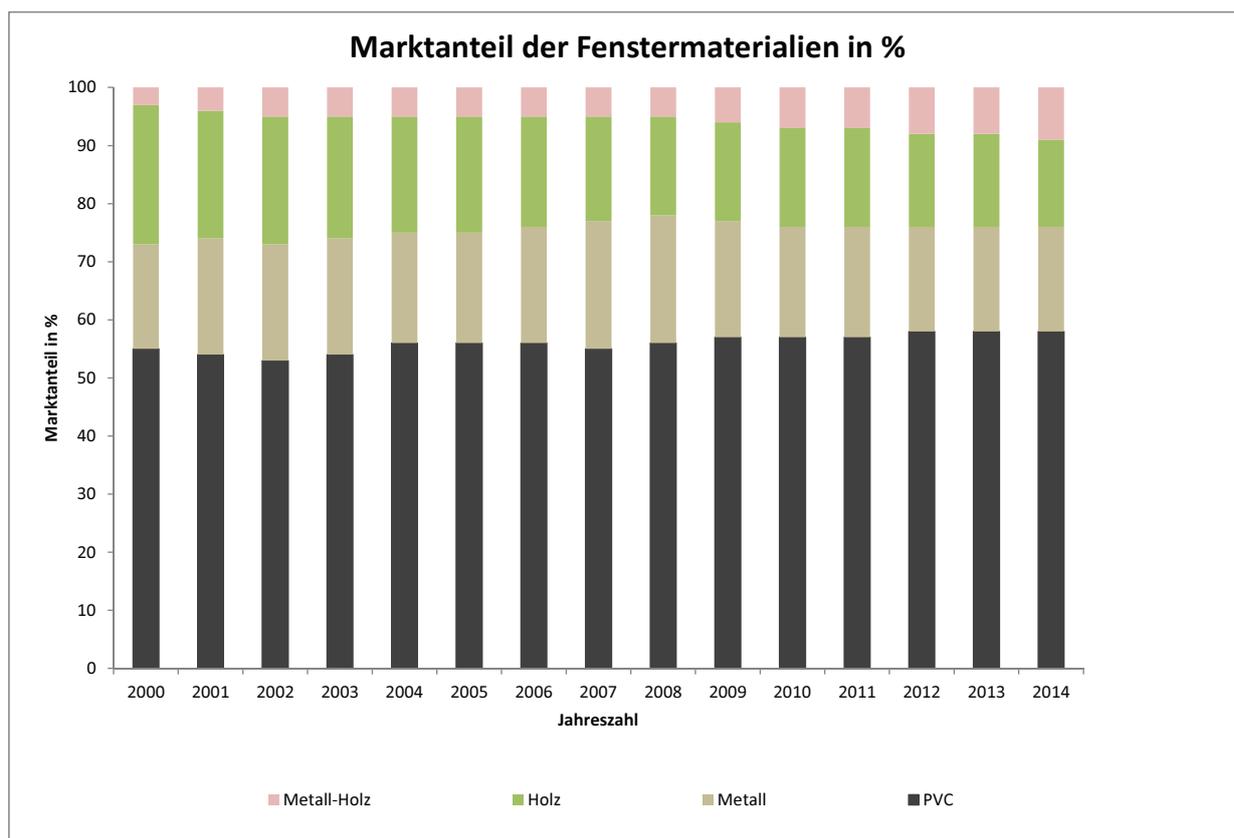
Abb. 02 - Einschätzung der Treibhausgas-Emissionen - bis 2050 (Bundesamt für Umwelt 2013)

### Wahl der Rohstoffe beim Planen und Bauen

Es werden Aussagen getroffen, dass die Bau- und Baustoffindustrie für rund 40% des Energieverbrauches zuständig sind. Der steigenden Komfort und der Konsumanstieg der Gesellschaft sind verantwortlich für diese Einschätzung. Es werden auf der einen Seite viele Maßnahmen gesetzt, um die Treibhausgase in diesem Sektor zu minimieren und es wird an alternativen Energieressourcen angeknüpft. Andererseits nimmt der Industrie- und Gewerbesektor zu, was auf die steigenden Zahlen für die Treibhausgasemissionen in der Industrie hinweisen.

Die Glasfassaden müssen einem regelrecht steigenden Trend der Transparenz und grenzenfreien Gestaltung von Innen- und Außenraum nachkommen. Glasarchitektur ist in der heutigen, modernen Zeit nicht mehr aus unseren Köpfen zu denken. Hinzu kommt der Faktor, dass der Marktanteil der Rahmenkonstruktion von PVC bei rund 58% liegt, da dies die billigste Fensterkonstruktion darstellt und damit von wirtschaftlich größerem Interesse ist. Holz hingegen liegt lediglich an dritter Stelle mit 15%, dicht hinter Metall-Glas-Konstruktionen, die aus repräsentativen und aus instandhaltungstechnischen Aspekten mit 18% vor den Holzkonstruktionen liegen.

Das nachfolgende Diagramm 01 auf Seite 13, zeigt den Anteil am westeuropäischen Fenstermarkt, der den Anteil von billigeren PVC-Rahmen für Fenster der letzten Jahre verdeutlicht. Angeführt sind die wesentlichsten Materialien zur Verwendung der Fensterrahmen, die in diesem Bereich üblicherweise zur Anwendung kommen.



Diag. 01 - Marktanteil der Rohstoffe von Fensterrahmen (Angaben lt. Interconnection Consulting)

Die Wahl der Materialien lässt sich eher auf die günstigeren Preise von PVC und dessen wartungsfreie Nutzung begründen, als die ökologische Betrachtung dieses Baustoffes. Die Herausgabe des Umwelttechnologischen Betriebes, Engineering BMG zeigt die Vergleiche der Energieaufwände für den Herstellungsprozess der Güter auf, welche auch für die Rahmenbauteile verwendet werden. Das Züricher Unternehmen weist Werte für das meist vertretende PolyVinylChlorid mit 72 MJ/kg aus. Mit der Verwendung von Stahl als Rahmenwerkstoff ist eine Reduktion um das 2,5-fache möglich, während Aluminium mehr als das 2,3-fache an Primärenergie für die Herstellung verbraucht. Holz hingegen weist deutlich weniger Verbrauch mit 19,4 MJ/kg auf, was um eine Reduktion von PVC um das knapp 4-fache und von Stahl, das 1,5-fache beträgt.

### 2.3 Energieeffizienz

Nicht allein die Herstellung eines Bauwerkes, oder hier die Errichtung einer Glasfassade verbraucht Energie, sondern auch deren Nutzung und die Kombination mit Haustechnikgeräten. Vieles liegt in den Händen der modernen, technischen Geräten und den Nutzern, welche diese bedienen. Laut den Angaben der Skripten der Projektentwicklungsvorlesung an der TU Wien von Prof. Wiegand und Prof. Achammer, belaufen sich die Gesamtkosten eines Gebäudes mit geschätzten 20% für die Errichtung einer Konstruktion und 80% auf die Nutzung dieser. Somit ist der entscheidende Faktor die Benützung des Bauwerkes und der Konstruktion, der sich aber bereits mit der Wahl der Konstruktion und deren Bauweise regulieren lässt.

Glasfassaden und die Architektur im Allgemeinen bieten verschiedene Vorteile, um eine gute Energieeffizienz bewerkstelligen zu können. Heutzutage ist eine Integration von Lüftung und Lüftungsleitungen möglich, die in Kombination mit dezentralen Energieversorgungen eine spezifische Regulierung ermöglichen. Somit ist eine bessere Einstellung auf den Nutzer und dessen Anforderungen möglich. In Verbindung einer Wärmerückgewinnung, kann der Verlust der Nutzungsenergie weiter gemindert werden.

Werden der Kaltluftabfall im Winter und die Überhitzungsgefahr im Sommer und deren Einfluss auf den Innenraum abgemindert, wären Glasfassadenkonstruktionen ihrem Stellenwert weiter voraus. Derzeit ist die Nutzung von Glasfassaden in den meisten Fällen mit hohen energetischen Aufwänden betroffen.

### *Planungsziele für die Energiebilanz*

Die Einsparung im Energieverbrauch lässt sich durch den ressourceneffizienten Umgang mit Rohstoffen und Haustechnikgeräten einsparen, wobei hier die Nutzung alternativer und natürlicher Energien bereits in Betracht gezogen wird. Gebäude mit einem hohen Verglasungsanteil benötigen einen höheren Planungsaufwand, da hier besondere Anforderungen an den thermischen Komfort, auf Grund der Überhitzung und des Kälteeinfall es gestellt werden. Die stärkere Kühlleistung im Sommer und die erhöhte Heizlast im Winter sind für die meisten Glasfassaden mit großen energetischen Verlusten verbunden. Der Grund liegt darin, dass Glasfassaden mit gezielter Steuerung, hochwertigen Verglasungen, integrierten Sonnenschutz und Nutzung passiver Solareinstrahlung eine gute Energiebilanz aufweisen können, was aber mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Schon bei der Planung sind die Lebenszykluskosten mit dem energetischen Vorteil zu bedenken und in richtiger Relation zu den Investitionskosten zu setzen.

### *Wärmeschutz des Glases*

Der Transmissionswärmeverlust des Glases hat sich durch die Folge von innovativen Forschungen in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Der Einsatz von Wärmeschutzgläsern ermöglicht geringe U-Werte, die in Kombination mit Edelstahllegierungen an der Oberfläche genauso gut dämmen, wie beispielsweise eine Außenwand oder gar besser. Im Falle der Holz-Glas-Verbundkonstruktion wird sich ein Wert von  $U=0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$  erweisen.

### *Überhitzungsschutz des Glases*

Durch den Einsatz von großflächigen Glasfassaden, kommt es zur starken Überhitzung der Innenräume, was in den heißen Sommermonaten den Komfort deutlich senkt. Wichtige Schritte können schon bei der Planung, vor allem bei der Orientierung der geografischen Ausrichtung der Glasfassaden getroffen werden. Weiters übernimmt der Wärmeschutz mit den Edelstahllegierungen in geringer Weise auch den Schutz vor starker Wärmebelastung. Eine Optimierung des Wärmeschutzes ist lediglich durch außen liegende Systeme sinnvoll, welche die Sonnenstrahlen abhalten. Bei der Planung

sollte berücksichtigt werden, dass Markisen und Lamellen nur im Süden sinnvoll einsetzbar sind, da im Westen und im Osten die Sonne weitaus tiefer steht.

## 2.4 Einblick in die Holz-Glas-Verbundkonstruktion

### Anforderungen und Ziele

Von Interesse ist die Kombination eines ressourcenschonenden Baustoffes mit dem transparenten Material Glas. Holzskellette erweisen bisher eine geringe Aussteifung in der Konstruktionstechnik, was durch die Verklebung von Glas ausgeglichen wird. Die Holz-Glas-Verbundkonstruktion profitiert von jüngeren Forschungen der Klebeverbindung und -zusammensetzungen, um eine kraftschlüssige Verbindungen von Holz und Glas zu ermöglichen. Somit ist man nicht mehr auf die Einschränkung von starren Verbindungen angewiesen, sondern kann die Vorteile beider Werkstoffe verbinden. Es bildet sich ein statisch wirksames Verbundelement, das bereits jetzt großes Interesse geweckt hat.

### Verklebung

Ergebnisse der Holzforschung Austria von elastisch und semi-elastisch verklebten Holz-Glas-Verbundelementen zeigten vorteilhafte Ergebnisse für die Aufnahme der Bruch- und Bemessungslast für das Fassadenelement. Für eine semi-elastische Verklebung ist der Ansatz getroffen worden, dass sie einerseits weich oder steif miteinander verschraubt sind.

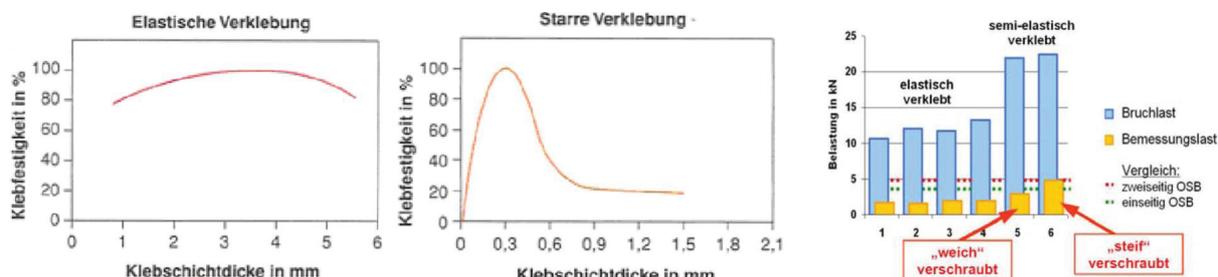


Abb. 03 -Angaben starre und elastische Verklebung (Neuhauser 2011) Abb. 04 -Belastungsergebnisse (Holzforschung Austria, 2011)

Anhand der elastischen Verklebung können unterschiedliche Materialien zusammengefügt werden, was sich für die starre Verklebungsvariante schwieriger erweist. Lastabhängige Bewegungen der Konstruktion können so ohne weiteres aufgenommen und die Lasten besser verteilt werden. Elastische Verklebungen bringen den Nachteil mit sich, dass sie eine gewisse Verformbarkeit zur Folge haben, was auf die dickere Ausführung des Klebewerkstoffes zu Grunde zu legen ist.

Die Bedeutung der wärmetechnischen Eigenschaften bezüglich der Verklebung, wird im Laufe dieser Arbeit aufgeführt werden. Vorweg sei gesagt, dass die gewöhnlichen Komponenten, wie Silikon mit  $\lambda=0,32-0,35$  W/mK, Zweikomponentensilikon mit  $\lambda=0,35$  W/mK schon eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen. Die Anwendung und die Stelle innerhalb der Konstruktion werden Aufschluss über den Einfluss der wärmetechnischen Isolation des Bauteils geben.

### Verklotzung

Anhand der Verklotzung der Scheiben soll in weiterer Folge auch noch eine Verschraubung möglich sein, was eine Verzahnung der einzelnen Leisten ermöglicht. Dieser Forschungsbereich geht von der Holzforschung Austria aus, der von der Technischen Universität Wien aufgegriffen und weiterentwickelt wird. Das Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau richtete sich auf die Optimierung der Lastabtragung der Konstruktion, was mit der Verklotzung und der Schubverklebung erfolgte. Die Aufnahme der Horizontalkräfte kann anhand der Kombination beider Mechanismen deutlich gesteigert werden, wie dies in der Dissertatur von Hochhauser unter dem Titel „Ein Beitrag zur Berechnung und Bemessung von geklebten und geklotzten Holz-Glas-Verbundscheiben“ nachzulesen ist. Während bei reiner Schubverklebung eine Last von  $H = 1 \text{ kN} / \text{lfm}$  erreicht wird, ist mit der zusätzlichen Verklotzung eine Lasteinleitung von  $H = 1,5 \text{ kN} / \text{lfm}$  möglich.

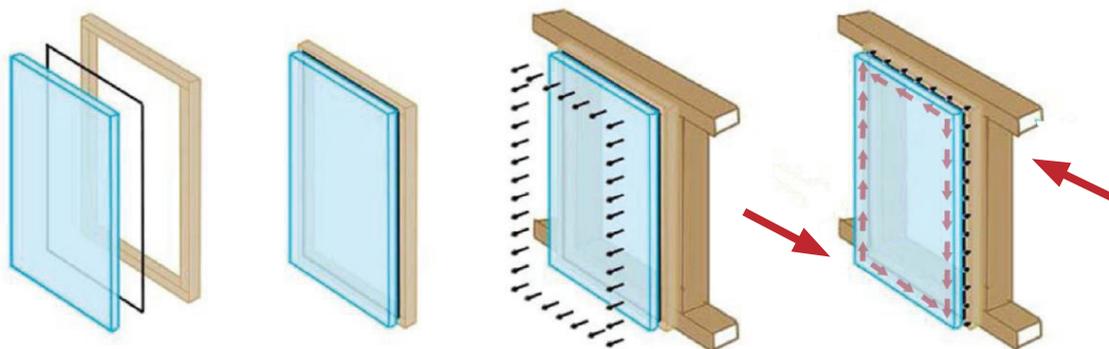


Abb. 05 - Schubverklebung mit Koppelleiste (Neubauer - Schober 2008 - bearbeitet Heid 2014)

### Anwendungen der HGV-Konstruktion

Anhand folgender Beispiele findet die HGV-Fassade ihre Anwendung. Die Schattenbox im Winerwald und die Fassade des von Otto Chemie wurde mit der Konstruktion geplant und umgesetzt.



Abb. 06 - Schattenbox mit HGV (Magazin CLIMApplusWOOD - Feb. 2013) - bearbeitet Heid



Abb. 07 - Fassade Otto Chemie mit HGV-Elementen (www.die-fassade.de) - bearbeitet Heid

## 2.5 Bauphysikalische Themeneinführung

Seit den 70er Jahren setzt man große Bemühungen in der Optimierung der Bauwerke in Richtung der thermischen Aspekte. Das Interesse steigt seither weiter an, da man sich über die starken Auswirkungen auf den Klimawandel bewusst ist und der Druck nach Handlungsbedarf weiter steigt. Thermische Optimierungen sorgen für weniger Energieverbrauch in der Nutzung und verbessern die Wohnhygiene der Benutzer. Des Weiteren kann das Ausmaß der verursachten Schäden im schlimmsten Fall so groß werden, dass große Sanierungen mit einem erneuten Energieaufwand notwendig werden.

### Wärme und Wärmetransport

Anhand von thermodynamischen Systemgrenzen, wie beispielsweise eines Bauteils oder eines Werkstoffes fließt thermische Energie, was als Wärmestrom bezeichnet wird. Dies geschieht in durch eine Temperaturdifferenz, wie dies bei der Differenzierung von Außen- und Innenraum der Fall ist. Prinzipiell geht man von 3 verschiedenen Arten der Wärmeübertragung aus:

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Wärmestrahlung

Das Bauteil besitzt verschiedene Schichten, wodurch die Wärme von Werkstoff zu Werkstoff weitergeleitet wird. Hier spricht man vom Wärmedurchlass. Jedes Material setzt dieser Wärmeleitung einen Widerstand entgegen, der sich von der Materialität des Baustoffes differenziert. So gibt es metallische Baustoffe mit einem geringeren Widerstand gegen die Wärmeleitung und biologische wie Kork, Schafwolle oder Flachs mit höheren Widerständen. Je höher der Widerstand eines Baustoffes ist, desto besser wirkt dieser isolierend und damit als Dämmmaterial. Dieser Widerstand ist in der Ähnlichkeit mit dem elektrischen Strom zu vergleichen, der durch nachgereichte Widerstände fließt, die einen Gesamtwiderstand bieten.

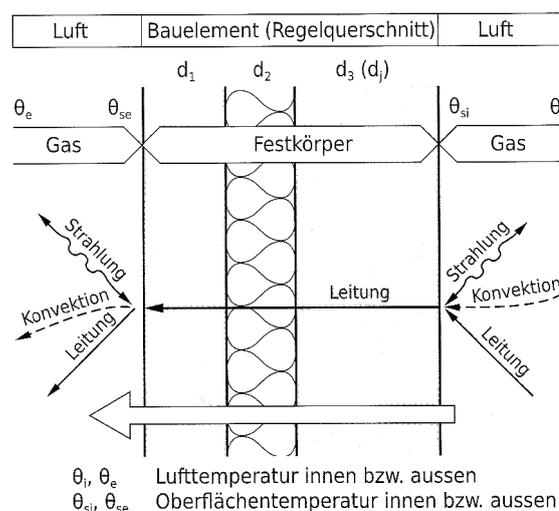


Abb. 08 - Wärmetransport an einer Wand  
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)

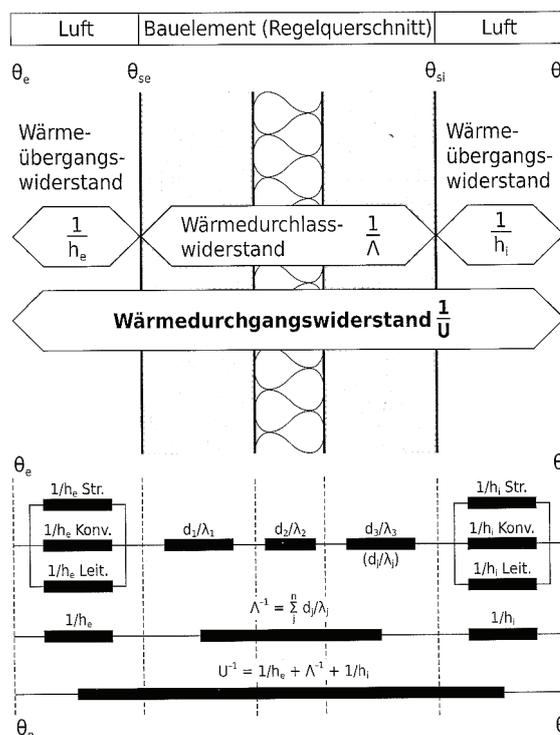


Abb. 09 - Elektrisches Analogiemodell der Wand  
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)

Wärmebrücken

Die Wärmebrücke oder auch umgangssprachlich als Kältebrücke definiert, deutet auf eine Stelle im Bauteil oder an einem Raum, wo die Wärme schneller verloren geht, bzw. die Kälte stärker in das Gebäude eindringt. Bei niedrigen Außentemperaturen kühlt die innere Oberfläche an der Stelle der Wärmebrücke stärker ab. An diesen Punkten liegt eine Gefährdung von Tauwasserbildung oder das Wachstum von Schimmelsporen vor, was in weiterer Folge beträchtliche Schäden für die Konstruktion oder das hygienische Wohlbefinden der Nutzer hat. Dieser Effekt tritt bei unterschreiten der Tauwasserbildung auf, der auf der nächsten Seite oder in der Betrachtung der ÖN B 8110-2 genauer erläutert wird.

Die geometrische Wärmebrücke trifft wie in den beiden oberen Abbildungen (10 - 11) gezeigt, häufig an Gebäudeecken auf. Auch im Falle der Verschneidung von einer Wandecke mit der Decke ist eine Wärmebrücke vorhanden, wenn auch im besonderen dreidimensionalen Ausmaß. Diese Art von Wärmebrücke kann nicht gänzlich vermieden werden. Hier ist nur mit guten konstruktiven Eingriffen und dicken Dämmschichten entgegen zu wirken.

Konstruktive Wärmebrücken treten an Schnittstellen von bautechnischen Maßnahmen auf. Dies können unter anderem Montagestellen von Markisen oder der Anschluss eines Fenster, beziehungsweise einer Glasfassade sein.

Für diese analytische Arbeit wird hauptsächlich die Auseinandersetzung mit der materialbedingten Wärmebrückenbetrachtung relevant sein. Diese entstehen durch den Einsatz verschiedener Baustoffe in einer Konstruktion, wie es beim inhomogenen Aufbau einer Mauerwand oder einer Fassade der Fall ist. Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt dies im Falle einer Fensterdarstellung.

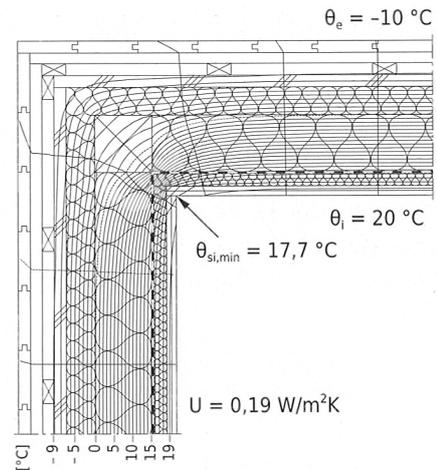


Abb. 10 - Wärmebrücke an einer Ecke (Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)

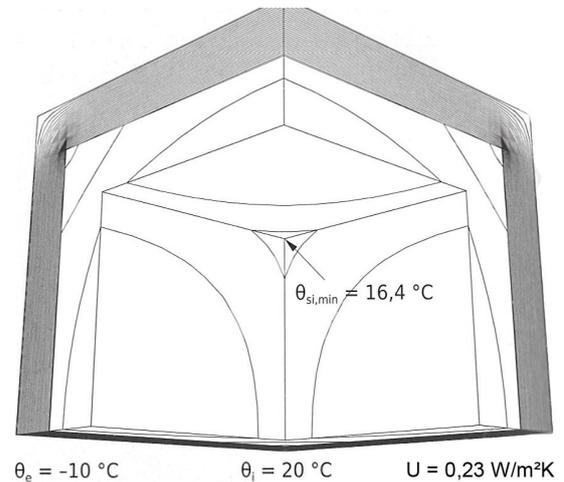


Abb. 11 - Geometrische Wärmebrücke (Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)

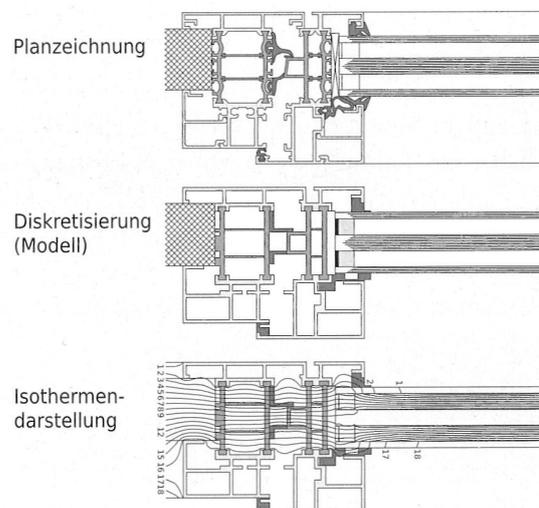


Abb. 12 - Metallfensterrahmen (Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)

Bei Fenster und Glasfassaden weist der Abstandhalter die größte Schwachstelle des Bauteils auf. Der beste Wärmedurchgangskoeffizient  $U_g$  wird lediglich in der Scheibenmitte erzielt, denn mit der Nähe zum Abstandhalter nimmt die Dämmung der Konstruktion deutlich ab. Der maßgebliche Faktor des Glasverbundes  $\Psi$  an dieser Stelle bedeutet eine Beeinträchtigung von Fensterbauteilen, welche die Kondensatbildung an der Stelle der Glaskante fördern.

Glasabstandhalter bestehen im Inneren aus Trocknungsmittel, wie beispielsweise Silicagel, welches die Restfeuchtigkeit nach der Herstellung aufnimmt. Meist sind die Ummantelungen aus Aluminium oder Edelstahl mit gestanzten Lochungen hergestellt. Aluminium bedeutet mit seiner hohen Wärmeleitfähigkeit einen starken energetischen Verlust an dieser Stelle. Mit der Anwendung von Edelstahl kann der Effekt verringert werden, da dieser um das 13-fach besser dämmt, aber eine Kondensatgefahr besteht weiters. Wenn der Wasserdampfgehalt an dieser Stelle auf Grund der geringen Temperatur nicht mehr gehalten werden kann, fällt Kondensat an der Oberfläche an. Ist die temperaturabhängige Sättigung des Dampfdruckes überschritten, bildet sich durch die relative Luftfeuchtigkeit an diesem Taupunkt das Wasser an der Konstruktion.



Abb. 14 - Abstandhalter zwischen Gläser (Schmidt-Norm GmbH - bearbeitet)

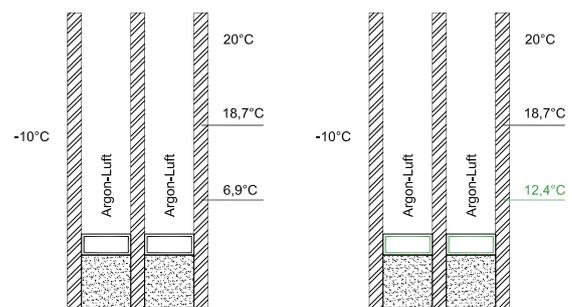


Abb. 15 - Wirkung des Abstandhalter (Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank) nachgezeichnet - Pierre Heid 2014

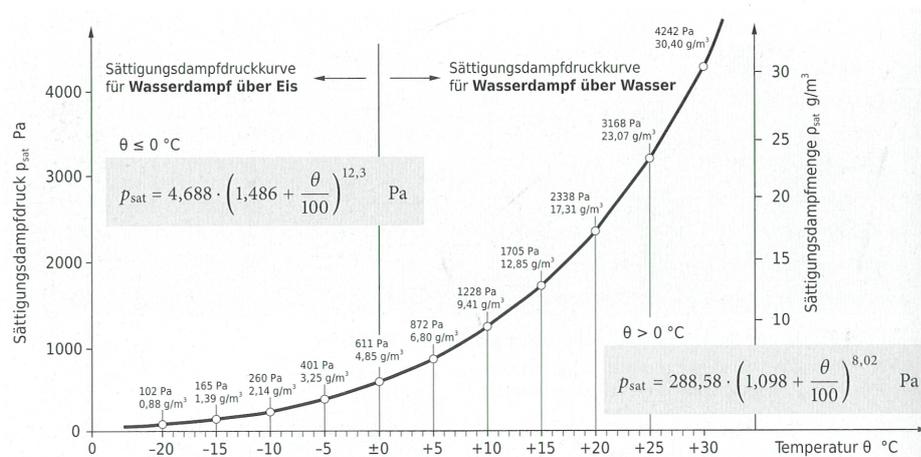


Abbildung 3.5: Verlauf des Sättigungsdampfdruckes bzw. -gehaltes als Funktion der Temperatur, Näherungsformeln zur Beschreibung des Sättigungsdampfdruckes in den Bereichen -20 °C bis 0 °C bzw. 0 °C bis ca. 50 °C

Abb. 13 - Verlauf des Sättigungsdampfdruckes in Verbindung mit der vorhandenen Temperatur

*Feuchte und Feuchtetransport*

Verbunden mit dem Temperaturunterschied, tritt mit dem damit abhängigen Dampfdruck ein Gefälle durch den inneren und den äußeren Dampfdruck ein. Die wärmere Innenluft nimmt eine höhere Feuchtigkeit auf, als die kalte Außenluft. Somit stellt sich ein Dampfdruckgefälle von Innen nach Außen ein. Somit wird der Wasserdampf durch die Kapillarporen über die äußere Gebäudehülle transportiert. Jedes Bauteil verfügt nicht nur über einen Widerstand gegen die Wärmeleitung, sondern auch einen Dampfdruckwiderstand. Dieser Wert wird mit der entsprechenden Dicke des Baustoffes in der Konstruktion multipliziert und mittels Glaser-Verfahren in einem Diagramm, mit den Punkten des damit verbundenen Dampfdruckes in der Konstruktion eingetragen. In weiterer Folge bildet die Verbindung der Punkte eine Kurve durch das Bauteil. Fällt die Kurve des Sättigungsdrucks und schneidet sich mit der Linie des Dampfdruckaufbaus der einzelnen Baustoffe, so ist eine Kondensation des Wasserdampfes innerhalb der Konstruktion absehbar, wie dies in der Abbildung 16 dargestellt wird. In dem unten gezeigten Beispiel wird der Wasserdampf mit einer Dampfsperre erweitert, um den zugehörigen Widerstand zu vergrößern. Als Resultat verläuft die Sättigungskurve dementsprechend abgewandelt.

*Oberflächenkondensat*

An der Oberfläche von Bauteilen mit Wärmebrücken ist von einer deutlichen Gefahr von Schimmelpilzwachstum auszugehen, wie dies bei Punkt 2.5.1 nachzulesen ist. Der Grund liegt im starken Temperaturabfall an dieser Stelle, wo auch der Dampfdruck über der temperaturabhängigen Sättigung liegt. Ab einer auftretenden Bauteiloberfläche von 80% ist ein Risiko vorhanden, da der Hausstaub und der Nährstoffbedarf von Schimmelpilzen gedeckt ist. Zur Vermeidung ist entweder eine gute Durchlüftung notwendig, was auf Grund des wachsenden Trends der dichten Hülle des Bauwerks immer schwieriger umzusetzen ist. In weiterer Folge wird das konstruktive Lösen der Wärmebrücken im Bauteil notwendig sein.

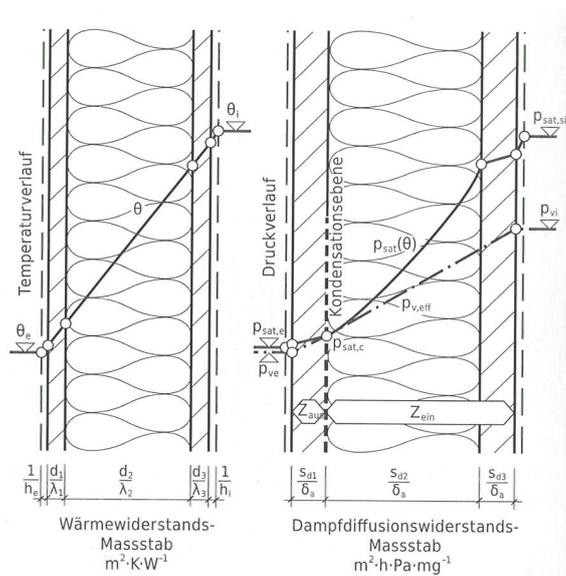


Abb. 16 - Feuchtetransport, Mauerbeispiel (Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)

## 2.6 Normungen für die Betrachtung

Während der Durchführung des Verfahrens der thermischen Simulationen wurde auf verschiedene Normen zurückgegriffen. Auf den folgenden Seiten sind die wichtigsten Normen mit einer Kurzbeschreibung und deren Anwendung in dieser Arbeit erläutert.

### *DIN EN ISO 10077-1*

#### *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen*

#### *Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines*

In dieser Norm wird die Ermittlung und Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Türen und Fenstern erläutert. Zum Vergleich des Heizwärmeverbrauches werden die Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung, der opaken Füllungen und des Rahmens beschrieben. Des weiteren wird der Umgang mit dem linearen Glasverbund für die zu berechnenden Bauteile erklärt. Die Norm DIN EN ISO 12631 für Vorhangfassaden stützt sich auf Elemente dieser Norm.

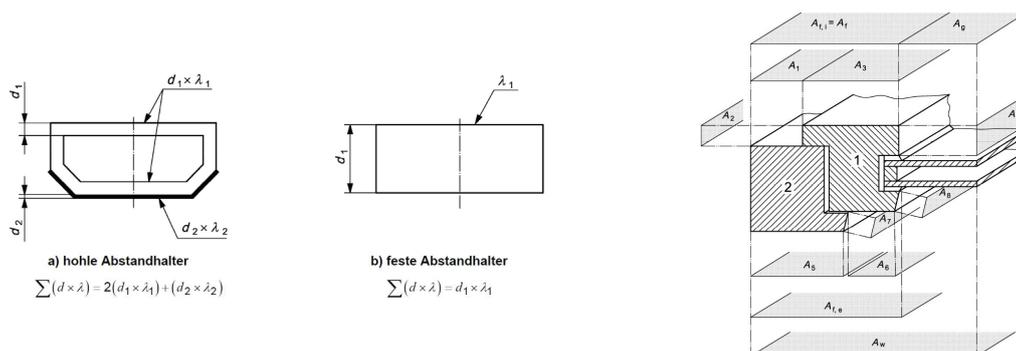


Abb. 17 - Auszüge aus der DIN EN ISO 10077-1 (Deutsches Institut für Normungen 2009)

### *DIN EN ISO 10077-2*

#### *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen*

#### *Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen*

Die DIN EN ISO 10077-2 beinhaltet die Berechnungswerte für die thermischen Umstände der Rahmenprofile. Dieses Rechenverfahren dient als Alternative für das Prüfverfahren, dass in der EN 12412-2 vorgestellt wird. Primär wird es für die Ermittlung der Werte für vertikale Rahmenprofile angewandt, kann aber näherungsweise auch für die horizontale Ermittlung angewandt werden.

Des weiteren sind die Wärmeleitfähigkeiten der verschiedensten Stoffe aufgeführt, die in der Konstruktion ihre Anwendung finden können. Als Ergänzung wird der Umgang mit der Berechnung des Glasverbundes erläutert, der die Bestandteile für den zweidimensionalen Leitwert  $L_{2D}\Psi$ , der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens  $U_f$ , des Glases  $U_g$  und die Projektionsbreite des Rahmens  $b_f$ , die für die Konstruktion maßgebend sind.

Die DIN EN ISO 10077-2 beschreibt den Vorgang der Ermittlung des Glasverbundes, um den linearen Wärmedurchgangskoeffizienten an dieser Stelle ermitteln zu können. Die darauffolgende Norm DIN EN ISO 12631 stützt sich bei der Ermittlung des Glasverbundes auf diese Norm. Diese Kalkulierung ist notwendig, da der Wert des Wärmedurchgangskoeffizient, nicht den Übergang mit dem Glasabstandhalter miteinbezieht und der Wert für den Rahmen  $U_f$ , schließt nicht die Verglasung mit ein. Für die Berechnung gilt:

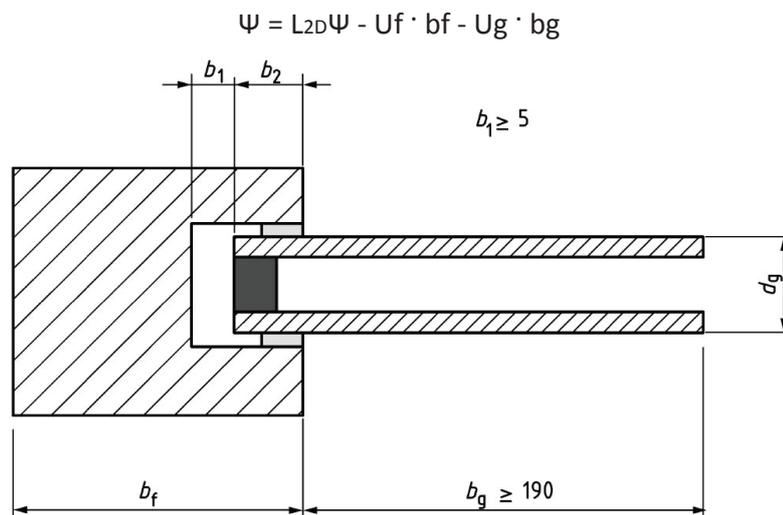


Abb. X18 - Auszüge aus der DIN EN ISO 10077-2 (Deutsches Institut für Normungen 2012)

Dabei bedeutet:

$\Psi$ .....	der längenbezogene Durchgangskoeffizient [W/mK]
$L_{2D}\Psi$ ....	der zweidimensionale thermische Leitwert [W/m <sup>2</sup> K]
$U_f$ .....	der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenprofils [W/m <sup>2</sup> K]
$U_g$ .....	der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung [W/m <sup>2</sup> K]
$b_f$ .....	die projizierte Breite des Rahmenprofils [m]
$b_g$ .....	die projizierte Breite der Verglasung [m]

### *DIN EN ISO 12631*

#### *Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten*

Anhand der EN ISO 12631 wird der Umgang mit der Ermittlung aller Wärmedurchgangskoeffizienten für Rahmen, Verglasung und der linearen Profilbetrachtung aufgezeigt. Folgende Norm beschäftigt sich mit der Umsetzung der zuvor genannten Normungen auf die Ermittlung der thermischen Wärmedurchgangskoeffizienten im Bezug auf das Verhalten von Vorhangfassaden. Die Herkunft der Eingabedaten ist relevant, wie sie in den zuvor dargestellten Normen DIN EN ISO 10077-1 (2009), DIN EN ISO 10071-2 (2012) und DIN EN ISO 10071-2 Anhang B (2012) erläutert werden. Die Resultate sind hierfür für den horizontalen Wärmestrom zu bemessen und nach diesen zu berechnen.

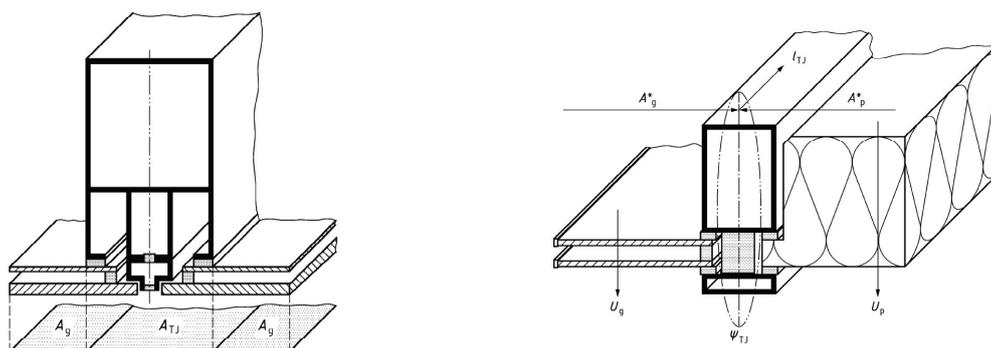


Abb. 19 - Auszüge aus der DIN EN ISO 12631 (Deutsches Institut für Normungen 20012)

In diesen Skizzen der Norm (Abbildung 19) ist die bildliche Darstellung der Projektionsflächen zu sehen, wie auch die Bestimmung des flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Fuge. Der hier benutzte Wert der  $\Psi_{TJ}$  ist nicht zu verwechseln mit dem Vorgehen des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens  $U_f$  mit der Bezeichnung  $\Psi$ . Hier wird lediglich der Wärmestrom des Rahmens, ohne der Berücksichtigung der seitlichen Wärmeströme und der Wirkung mit dem Rahmen berechnet.

Dabei ist:

- $A_T$  ... die Anschlussfläche für den Rahmen [m<sup>2</sup>]
- $A_g$  ... die Fläche der Verglasung [m<sup>2</sup>]
- $U_p$  ... der Wärmedurchgangskoeffizient des Paneels [W/m<sup>2</sup>K]
- $U_g$  ... der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung [W/m<sup>2</sup>K]
- $U_{TJ}$  ... der Wärmedurchgangskoeffizient der Fuge [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_p$  ... die Fläche des Paneels [m<sup>2</sup>]
- $A_{TJ}$  ... die Fläche der Fuge [m<sup>2</sup>]

In der DIN EN ISO 12631 sind  $\Psi$ -Werte für den Einbau der Verglasung in die Fassade zu entnehmen um die Berechnung vereinfachen zu können. In dieser Arbeit wurden die Werte mit der ausgewiesenen Formel berechnet, welche auf die DIN EN ISO 10071-2 verweist.

Dabei bedeutet:  $\Psi_m = L_2D\Psi - U_m \cdot A_m - U_f \cdot A_f - U_{p1} \cdot A_{p1} - U_{p2} \cdot A_{p2}$

- $U_m$ ..... der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient des Pfostens
- $U_f$ ..... der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
- $U_{p1-2..}$  der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient der Paneele
- $A_m$ ..... die projizierte Fläche des Pfostens
- $A_f$ ..... die projizierte Fläche des Rahmens
- $A_{p1-2..}$  die projizierte Fläche der Paneele

*ÖN B 8110-1*

*Teil 1: Deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden  
Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*

In der ÖN B 8110-1 befasst man sich mit der Kundmachung der Ziele für den ausreichenden Wärmeschutz von Niedrig- und Niedrigstenergiebauwerken und dessen Grundbegriffe. Hier angeführt ist die Norm auf Grund der Bezugnahme einiger Begriffe in dieser Arbeit, welche in der genannten Norm erwähnt und erklärt werden.

Zudem bietet sie eine klare Übersicht über die einzelnen Bestandteile der ÖN B 8110, die sich wie folgt aufgliedern lässt:

*"Teil 1: Deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden*

*Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*

*Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse*

*Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes*

*Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*

*Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf"*

*Zitat aus der ÖN B 8110-1, Seite 3 (Austrian Standards plus GmbH 2011)*

*ÖN B 8110-2*

*Wärmeschutz im Hochbau*

*Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*

Auf diese Norm wurde im Zusammenhang der Arbeit mehrfach zurückgegriffen, da sie sich mit planungsrelevanten Grundlagen für die Vermeidung von Wasserdampfkondensat und dem Zusammenhang mit Schimmelpilzbildung beschäftigt. Grundlegende Rechnungen für die Einschätzung der Wasserdampfdiffusion und der Kondensation werden hier erläutert. Zudem lassen sich hier jegliche Hinweise über die Innen- und Außenluftbedingungen finden. Die Randbedingungen, die in dieser Arbeit getroffen wurden, sind auf Seite 39 in Kapitel 5.2.1 erläutert.

Die ÖN B 8110-2 befasst sich im Kapitel 6.2 anhand der Tabelle 3 mit den mittleren jährlichen Tiefstwerte, die aufgeschlüsselt nach den bestehenden Bezirken auftreten können. Die gemittelten Jährlichen Tiefstwerte belaufen sich in den Regionen Wien, Niederösterreich, Burgenland, Oberösterreich, bei einem Wert von rund  $-10^{\circ}\text{C}$ , welche laut Norm für Außenbauteile mit geringerer Speicherfähigkeit angewendet wird. Aus diesem Grund wird für die Untersuchungen der Wert  $\theta_e = -10^{\circ}\text{C}$  für die Außenlufttemperatur in Betracht gezogen. Die Feuchtigkeit beträgt in den Wintermonaten laut Norm  $\varphi_e = 80\%$ . Die Innenlufttemperatur wird für Wohnungen und Aufenthaltsräume mit  $20^{\circ}\text{C}$  vorgegeben, wobei die Luftfeuchtigkeit (relative Feuchte  $\varphi_i$ ) des Innenraumes anhand der angenommenen Außenlufttemperatur angenommen wird. Die innere relative Feuchtigkeit  $\varphi_i$  wird mit  $65\%$  bei  $\theta_e = 0^{\circ}\text{C}$  Außenlufttemperatur angenommen. Mit jedem Luftunterschied steigt oder fällt die anzunehmende Feuchtigkeit mit jeder schrittweisen Änderung der Temperaturdifferenz. Für die Vermeidung von Kondensat wird die Feuchtigkeit  $\varphi_i$  mit  $65\%$  angesetzt. Beträgt die

Temperaturdifferenz  $\Delta = -10^\circ\text{C}$  von der Bedingung  $\theta_e = 0^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_i = 65\%$ , so wird die Kalkulation von  $\varphi_i = 65 - 10 = 55\%$  durchgeführt. Dies bedeutet, dass die anzunehmende innere relative Feuchtigkeit  $\varphi_i = 55\%$  beträgt.

### *Temperaturgewichtsfaktoren (laut ÖN B 8110-2)*

Die Gewichtungsfaktoren finden ihre Anwendung, wenn drei oder mehr als drei Räume an dem Bauteil mit der Wärmebrücke angeschlossen sind. Hier wird die kleinste innere Oberflächentemperatur des betrachteten Raumes ermittelt.

$$\theta_k = g_e \cdot \theta_e + g_1 \cdot \theta_1 + g_2 \cdot \theta_2 \dots + g_n \cdot \theta_n \quad [^\circ\text{C}]$$

$g_e$ ..... ist der Temperaturgewichtsfaktor für den Außenraum

$g_i$ ..... ist der Temperaturgewichtsfaktor für den Innenraum von 1 - n

### *Temperaturfaktor $f_{Rsi}$ (laut ÖN B 8110-2)*

Für den Fall, dass die Wärmebrücke an zwei Räumen angeschlossen ist, so ist nach dem Temperaturfaktor zu bemessen. Für die Anwendung des Temperaturfaktors muss die raumseitige Oberflächentemperatur bekannt sein, die auf Grund von definierten Angaben nicht als Temperatur in Grad Celsius angegeben wird. Bei der Ausweisung in Grad Celsius wäre das Ergebnis allein unter den gewählten Randbedingungen gültig, was den Rahmen an Vergleichsoptionen deutlich einschränkt. Dies kann aus eigener Studie bestätigt werden, da alle Konstruktionen zu diesem Kontrollzweck mit  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und  $\theta_e = 0^\circ\text{C}$  und den gleichen Innentemperaturen angenommen worden sind und sich der Temperaturfaktor nicht unterscheidet. Der Temperaturfaktor ergibt sich aus folgender Formel:

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

Dabei bedeutet:

$\theta_{si}$ ..... Innere Oberflächentemperatur [ $^\circ\text{C}$ ]

$\theta_e$ ..... Äußere Lufttemperatur [ $^\circ\text{C}$ ]

$\theta_i$ ..... Innere Lufttemperatur [ $^\circ\text{C}$ ]

Um die notwendig erforderliche Oberflächentemperatur zur Kondensatvermeidung und zur Vermeidung von Schimmelsporen zu ermitteln, wird die Formel für die gewählten Randbedingungen von  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  umgeformt.

$$\theta_{si} = [ f_{Rsi} \cdot (\theta_i - \theta_e) ] - \theta_e$$

Vermeidung von Kondensat: Temperaturfaktor 0,69.....  $10,7^\circ\text{C}$

Vermeidung von Schimmel: Temperaturfaktor 0,71.....  $11,3^\circ\text{C}$

### *Taupunkt (laut ÖN B 8110-2)*

Der Taupunkt ist relevant für die Beurteilung von Kondensat im Bauteil. Wenn die ermittelte Temperaturkurve im Bauteil unter der Taupunkttemperatur fällt, trifft im Element Kondenswasser auf. Zur Ermittlung der Taupunkttemperatur unter den verschiedenen Randbedingungen, wird die Tabelle Anhang A.1 der ÖN B 8110-2 auf Seite 24 verwendet.

### 3. Die Analyse der thermischen Untersuchungen

#### 3.1 Motivation

Die Motivation dieser Arbeit beruht auf der Betrachtung der unterschiedlichen Ergebnisse, die seitens eines vorhandenen Bauphysik-Berichtes und eines Studenten getätigt wurden. Es entstand in erster Linie eine Diskrepanz in den Aussagen bezüglich der erreichten inneren Temperaturen, wie auch ein Auftreten von Kondensat an der Konstruktion. Es ist wie mündlich übertragen, kein allzu großes Problem, wenn Kondensat auf der inneren Oberfläche auftritt. Es sei jedoch ein Denkanstoß, wenn man durch unsere Städte und Dörfer umhergeht und sich die bisher umgesetzten Konstruktionen einmal aus der Nähe ansieht. So wird man erkennen, dass bei einigen Fassadenelementen, Spuren der Folgen von Kondensat deutlich bemerkbar ist. Schimmel ist eine der häufigsten Folgen, die durch Kondensat entstehen kann und stellt eine deutliche Gefahr des Gesundheitsrisikos für den Menschen in längerer Folge darstellt. Zudem führt länger stehendes Kondensat und Schimmelpilzgefahr in weiterer Folge nicht nur zur Beeinträchtigung des Menschen, sondern mindert auch die Qualität der Konstruktion oder in diesem Fall auch die Qualität des Holzes.

Aus diesem Grund wurden die thermischen Untersuchungen wieder aufgenommen, um eine der beiden Aussagen hinsichtlich der Umsetzung und der thermischen Eigenschaften zu bekräftigen und diese als begründet zu betrachten.

#### 3.2 Diskrepanz

Noch vor der Erläuterung der Methodik der nachfolgenden Untersuchungen mit der Darstellung der Werte, wird in den unteren Abbildungen 20-21 gezeigt, wie die Ergebnisse der beiden unterschiedlichen Analysen aussah.

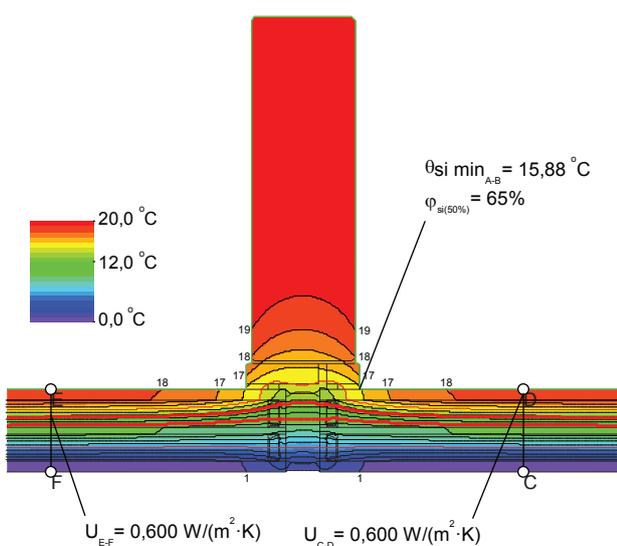


Abb. 20 - Temperaturfelder Fa. Petschnig Glasbau

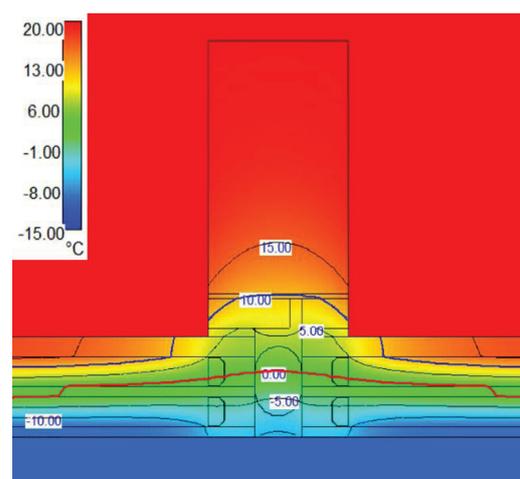
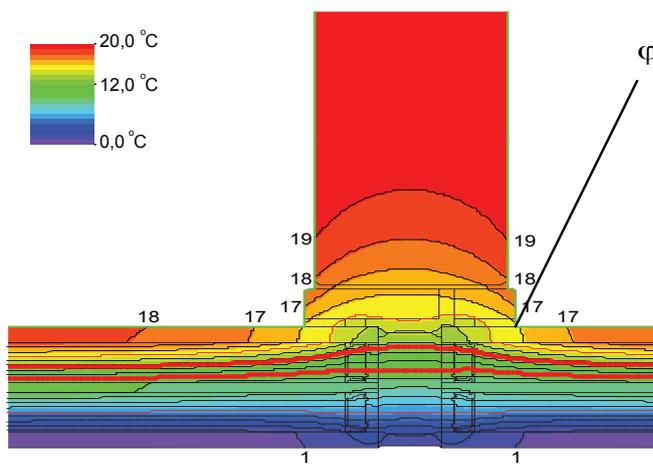


Abb. 21 Temperaturfelder Diplomand

Anhand der näheren Betrachtung, auch ohne konkreter Datenaufstellungen zum Abgleich, wird durch die Thermofelder ersichtlich, dass sich die Temperaturen der beiden Analysen sehr deutlich unterscheiden. Blickt man auf die unten stehenden, vergrößerten Abbildungen 22-23 der Holz-Glas-Verbundkonstruktion, wird die Problematik ersichtlich. Während wir an der einen Seite eine unproblematische Betrachtung in Augenschein mit einer Temperatur im Falzbereich von 15,88°C ausweisen können, zeigt die 2. Analyse eine Temperaturentwicklung von weniger als 10,00°C. Zweitere Temperaturentwicklung würde, wie auch von dem Studenten ausgewiesen ein Kondensat an der Verbindung der Klebung und des Glases zur Folge haben. Der deutliche Unterschied liegt wie später bewiesen nicht nur in der differenzierten Annahme der Außentemperatur, welche hier bei einer Differenz von  $\Delta T = -15^\circ\text{K}$  vorliegt. Die Ursache der Divergenz lässt sich im Input der Daten finden.



$$U_{E-F} = 0,600 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad U_{C-D} = 0,600 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Abb. 22 - Temperaturfelder Fa. Petschnig Glasbau

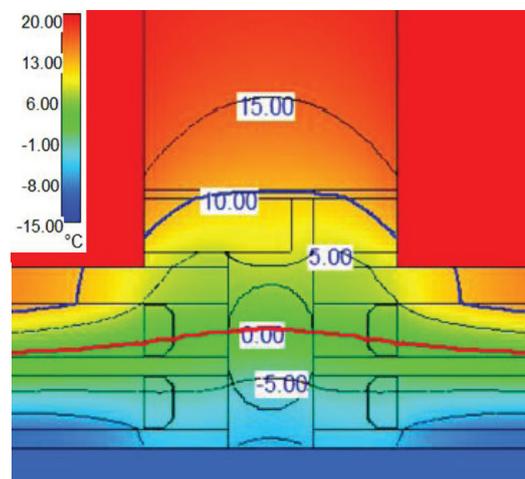


Abb. 23 Temperaturfelder Diplomand

### 3.3 Temperaturfaktor

Der laut der Norm ÖN B 8110-2 ausschlaggebende Temperaturfaktor, der zur Vermeidung von schädlichem Oberflächenkondensat  $> 0,69$  und zur Vermeidung der Schimmelpilzgefahr  $> 0,71$  betragen soll, wird mit dem Ausweis des Bauphysikbüros erreicht, jedoch stimmen diese nicht mit den Ergebnissen, die Seitens der Technischen Universität angestrebt wurden sind, überein.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{15,88 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,86 > 0,71$$

Fml. XX - Temperaturfaktor Petschenig Glasbau

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{6,48 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,61 < 0,71$$

Fml. XX Temperaturfaktor Diplomand

Mit einer inneren Oberflächentemperatur von 15,88°C, wie dies in Abbildung 22 zu sehen ist, werden die erforderlichen Bedingungen bei weitem überschritten und die thermischen Anforderungen entsprechen der Nachweisführung der ÖN B 8110-2. Ein Wert von weniger als 11,30 °C mindert jedoch laut Norm keine Gefahr der Schimmelbildung und gilt als zu erreichender Wert an der Ober-

fläche der Konstruktion. Somit erfüllt die ausgewiesene Temperatur von 6,48°C, wie in dem Unteren Auszug des ersten thermischen Ansatzes zu sehen ist, bei weitem nicht die Anforderungen, die bezüglich der geltenden Norm zu treffen sind.

Tab. 24: Bauphysikalische Kenndaten VAR 06

Wärmedurchgangskoeffizient der Glasscheibe	$U_g$	0,641 W/m <sup>2</sup> K
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	$\Psi$	0,23 W/mK
Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade	$U_w$	1,27 W/m <sup>2</sup> K
Taupunkt	$t_{\tau}$	9,26 °C
niedrigste Innenoberflächentemperatur	$t_{s,min}$	6,48 °C
Temperaturfaktor	$f_{Rs,i}$	0,61
<b>!! 0,61 &lt; 0,69 und &lt; 0,71 → Kondensat und Schimmelpilzrisiko !!</b>		

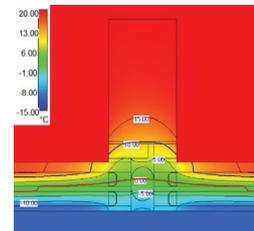


Abb. 24 - Auszug der Ergebnisse bezüglich der HGV-Konstruktion

### 3.4 Fehlerquellen

Seitens Petschenig Glastec GmbH äußerte man einen Fehler in der Eingabe der Materialien oder der Randbedingungen des Studenten. In den Untersuchungen konnte ermittelt werden, dass der Nachteil in der Modellierung der Klebefuge und der Modellierung des Glasabstandhalters zurückzuführen war. Anhand der nachfolgenden Seiten wird aufgezeigt, wodurch es zu dieser unterschiedlichen Ergebnisführung kommt und was der Output nach der Behebung für Werte ergibt.

### 3.5 Fehlerquellensuche

Seitens Petschenig Glastec GmbH äußerte man einen Fehler in der Eingabe der Materialien oder der Randbedingungen. In den Untersuchungen konnte ermittelt werden, dass der Nachteil in der Modellierung der Klebefuge und der Modellierung des Glasabstandhalters zurückzuführen war. Anhand der nachfolgenden Seiten wird aufgezeigt, wodurch es zu dieser unterschiedlichen Ergebnisführung kommt und was der Output nach der Behebung für Werte ergibt.

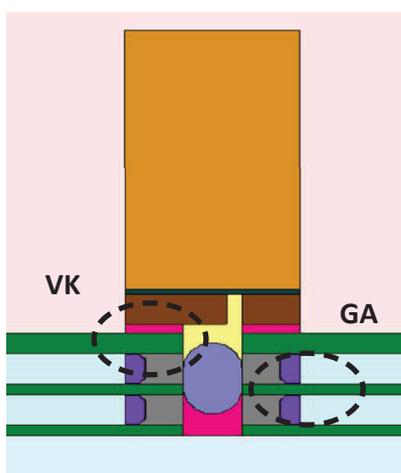


Abb. 24 - Darstellung Modellierung Verklebung

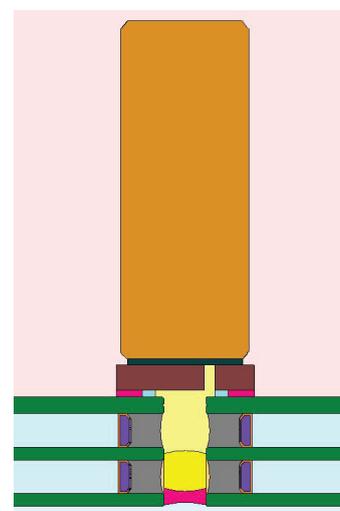


Abb. 25 - Darstellung Modellierung Abstandhalter

*(VK) Klebeverbindung und thermische Abdichtung*

Bei der Eingabe der Konstruktion ist für genauere Berechnungen und deren Aussagen die Modellierung der Konstruktion und der einzelnen Bestandteile von größerer Bedeutung. Eine Vereinheitlichung zweier Materialien mit der schlechteren Wertigkeit wird zu anderen Ergebnissen führen. Wichtig war hier die Beachtung der Verklebung Otto Coll S 660 und dem Einsatz einer thermischen Abdichtung mit der Bezeichnung Thermalbond.

*(GA) Konstruktion des Abstandshalters*

Weitaus entscheidender für die ersten Untersuchungen und positive Ergebnisse war die Auseinandersetzung der Thematik der Glasabstandhalter. Wie später gezeigt wird, ist der Einsatz an dieser Stelle von thermisch größter Bedeutung. Aluminium viel von Anfang an mit einer deutlich großen Wärmeleitfähigkeit von  $\gamma=200 \text{ W/mK}$  aus der Überlegung und auch eine Ausführung mit thermisch besserem Edelstahl erreichte keine gültigen Werte. Nur dem Chromatech Ultra, einem sogenannten Warm-Edge-Hybrid, sei es zu verdanken, dass die Konstruktion so durchgeführt werden kann.

## 4. Methodik

### 4.1 Ablaufbeschreibung

In erster Linie wurden die Konstruktionen nach den Angaben im CAD-Programm AutoCad 2011 nachgebildet, um sie im weiteren Verlauf in die thermischen Simulationsprogramme überspielen zu können. Die Beschreibungen zu den einzelnen thermischen Analyseprogrammen sind auf den nächsten Seiten zusammengefasst, mit den spezifischen Erkenntnissen, welche während der Nutzung entstanden, zusammengefasst. Für Antherm und Winiso mussten eigene CAD-Konstruktionsvorlagen erstellt werden, da zwar beide Programme eine Importfunktion mit .dxf besitzen, diese sich aber stark voneinander unterscheiden. In der unteren Abbildung ist die grafische Erläuterung der Vorgangsweisen im Bezug der zweidimensionalen, wie auch der dreidimensionalen Vorgangsweise dargestellt.

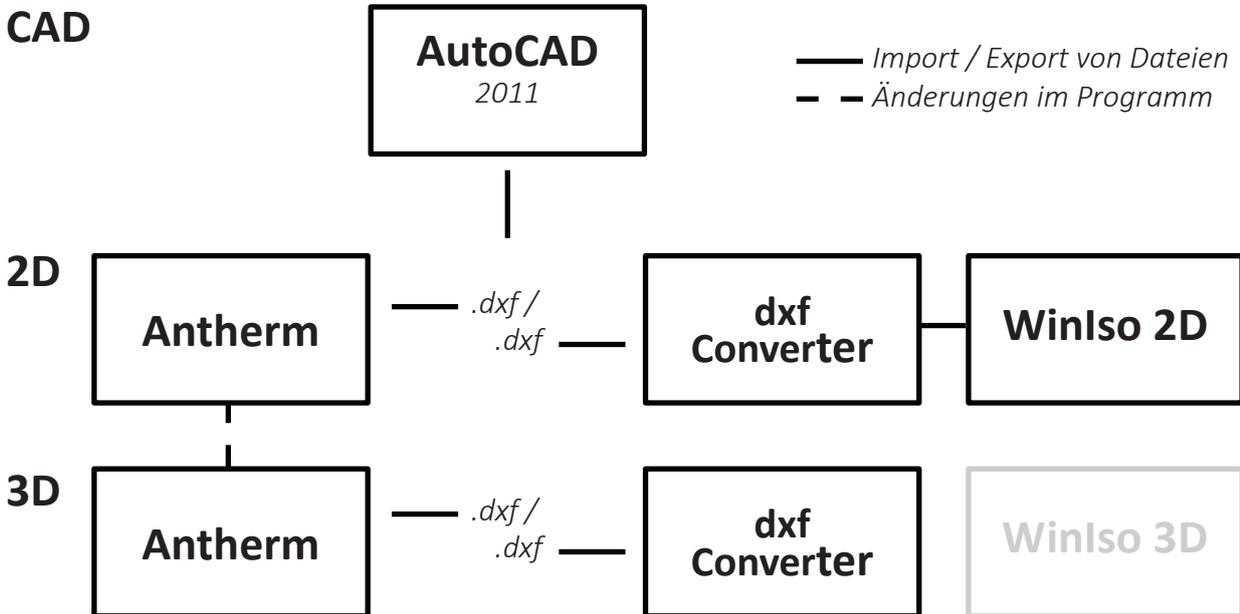


Abb. 26 - Darstellung der Vorgehensweise zu den thermischen Simulationen

Die Darstellung des Winiso 3D ist ausgegraut, da dieses Programm im Verlauf der Arbeit nicht mehr für die thermischen, dreidimensionalen Simulationen im Vergleich relevant werden wird. Die Ergebnisse von Antherm zeigten im Vorfeld der zweidimensionalen Untersuchungen annähernd gleiche Ergebnisse, wie Winiso 2D wenn nicht genauere Resultate. Es zeigte sich jedoch, dass die Software trotz angebotenen Update der Firma Sommer Informatik GmbH, zu immer wiederkehrenden Abstürzen führt. Aus diesen Gründen wurden die dreidimensionalen Simulationen allein durch Antherm durchgeführt.

Wie bereits erwähnt, wurden zwei verschiedene .dxf-Dateien, für das Einlesen in die thermischen Simulationsprogramme mittels der CAD-Software AutoCAD 2011 erstellt. Für den .dxf-Converter von Sommer Informatik, müssten die Polylinien der Dateien gesprengt und somit in einzelne Linien unterteilt werden. Mit den aufgesplitterten Linien erfolgte eine Überarbeitung im dxf-Converter, der das File wieder im dxf-Format für den Import in WinIso 2D abspeicherte.

## 4.2 CAD-Programm

Alle erforderlichen Konstruktionen wurden auf CAD-Basis erstellt, wie dies der Ausschnitt aus der unteren Abbildung 27 darstellt. Die Schraffuren wurden für die zu importierenden Datensätzen entfernt, um nur mehr die Linien im File zu haben. Dieser Vorgang wurde für jede Konstruktionsvariante des ITI, wie auch der Firma Petschenig durchgeführt, die in eine separate Datei gespeichert wurde. Kleinere Konstruktionsänderungen, wie schrittweise Überdeckungen konnten schnell in den thermischen Simulationsprogrammen eingegeben werden. Für die Eingabe von Schraubungen, veränderten Geometrien oder zusätzlichen Bestandteilen der Konstruktion, wurde eine CAD-Datei erstellt, die im dxf. Format für den Import oder die weitere Bearbeitung ausgegeben wurde.

In der rechten Darstellung ist die Legende zu sehen, um die Konstruktionsmaterialien in den folgenden Abbildungen identifizieren zu können. Die Angaben bezüglich der Materialität und der Abmessungen richten sich nach den bisherig angewandten Werkstoffen, wie sie in den Konstruktionsblättern ausgewiesen sind. Darunter befinden sich auch die bisherigen Grundlagen, welche die Konstruktionsweise des ITI mit der L-förmigen Koppelleiste zeigen, wie auch die Konstruktion für die Forschungsuntersuchung in Ljubljana.

-  FLOATGLAS e=0.03
-  SILIKAGEL / TROCKENMITTEL
-  2-KOMPONENTENSILIKON
-  OTTO-SEAL S7
-  BIRKENFURNIER-SPERRHOLZ
-  TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK
-  THERMALBOND
-  OTTO COLL S660

Abb. 28 - Darstellung Legende - CAD Zeichnungen

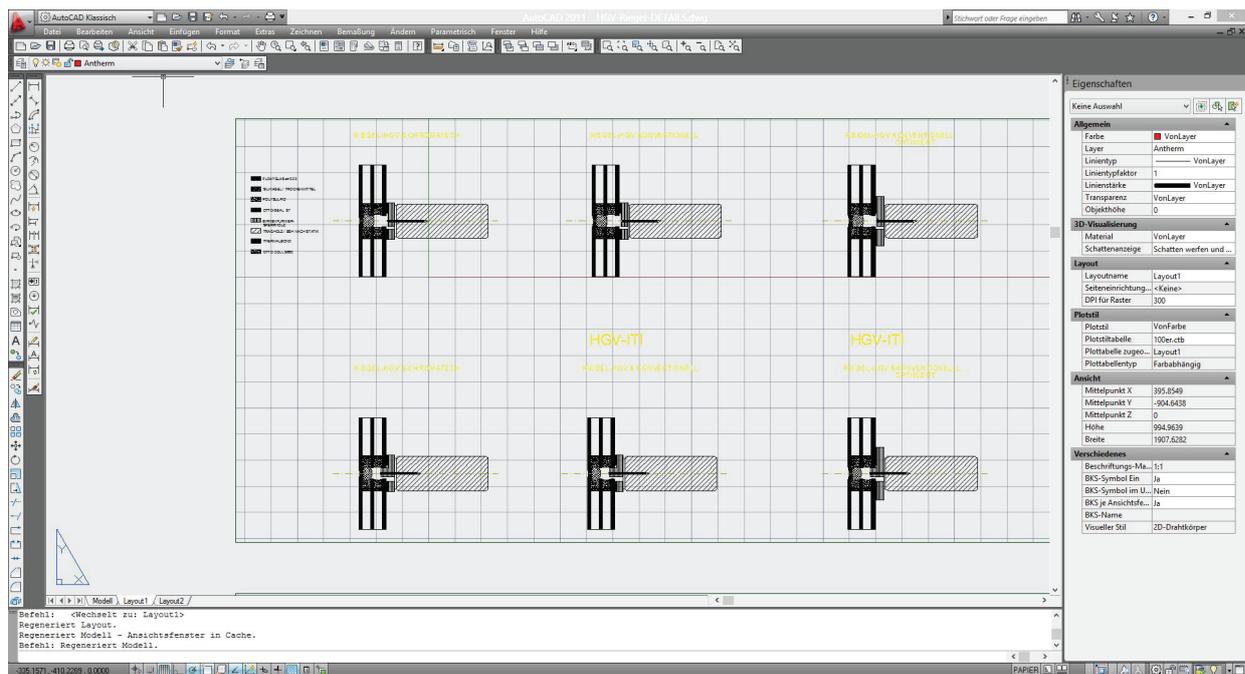


Abb. 27 - Auszug aus AutoCAD 2011 mit den HGV-Details

### 4.3 Thermische Simulationsprogramme

#### WinISO 2D

Die thermische Auseinandersetzung mit WinIso zeigte anfangs eine Unterteilung der Konstruktion in Zellen und Spalten. Das Programm zerlegt die mittels dxf-Converter erstellten Dateien in horizontale und vertikale Elemente, die als Flächen dargestellt werden. Das Programm bedient sich der damit verbundenen Gitterstruktur, mit in sich wechselnden Feinheiten. Mit den meist notwendigen Überarbeitungen im Converter erstellt WinIso die Struktur des Gitters schnell und unkompliziert.

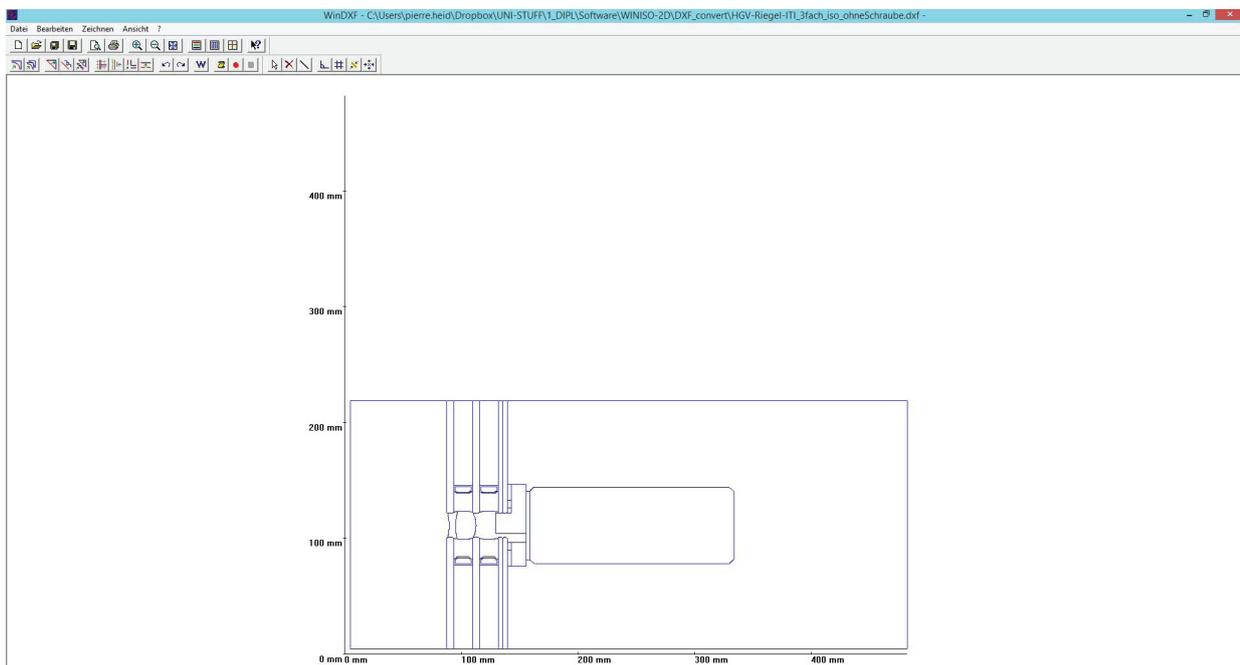


Abb. 29 - Darstellung des Converters für WinIso 2D + 3D

Die Abbildung 29 zeigt die Darstellung der Benutzeroberfläche für die Handhabung der wichtigsten Programmfunktionen. WinIso kann keine schrägen Linien anhand der Zellen und Spaltenanordnung in das System von dem CAD-Import übertragen. Die Geometrisierung der Software erfolgt somit nach dem orthogonalen Muster des Gitternetzes. Um dies zu ermöglichen, bietet der .dxf-Converter die Funktion, die schrägen Linien in eine treppenartige Struktur umzuwandeln. Der Benutzer hat die Wahl für die Festlegung der Abtreppung und dessen Detaillierungsgrad. Im Handbuch wird von einer Rasterisierung mit der Einheitsgröße der Schräge von 0.25mm ausgegangen, was für eine Betrachtung des Detaillierungsgrades für diese Arbeit als ausreichend gesehen wird. Ein weiteres Gadget bietet der Converter, indem dieser doppelt gezeichnete CAD Linien verbindet und somit die Gefahr von überschüssigen Knotenpunkten, welche die Rechenleistung vermindern, vermeidet. Diese beiden Funktionen sind in der Abbildung 30, auf der folgenden Seite dargestellt.

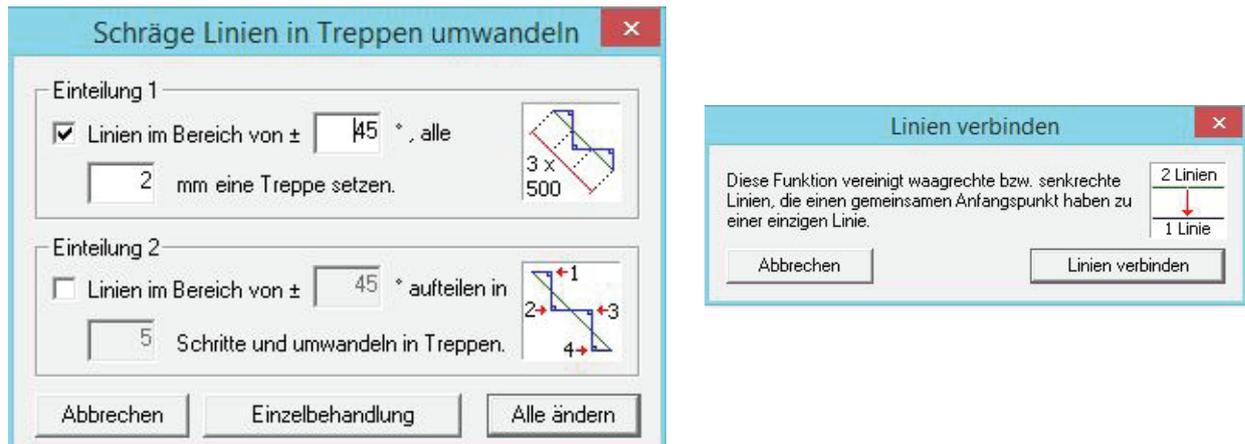


Abb. 30 - Darstellung wichtiger Programmfunktionen im dxf-Converter

Mit dem Abschluss der Vorbereitungen im Converter werden die .dxf-Files in WinIso importiert und das Programm erstellt das Gitternetz für die vorgegebene Konstruktion. Die daraus resultierenden Zeilen und Spalten begrenzen die Flächen, die WinIso nutzt, um die thermischen Berechnungen anzustellen. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Materialien mit deren wärmeleitenden Werten den Flächen zuzuordnen. Die Zuweisung erfolgt aus der mitgelieferten Materialdatenbank, wo die Kennwerte mittels Drag & Drop in die Konstruktion gezogen werden können.

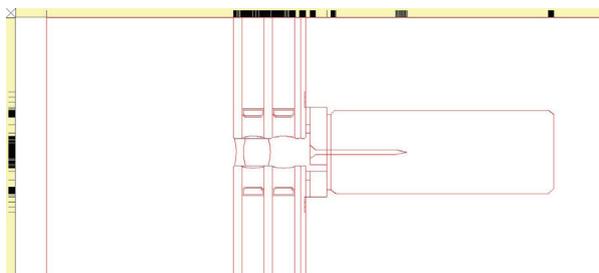


Abb. 31 - Auszug aus Handbuch - WinIso Gitternetz

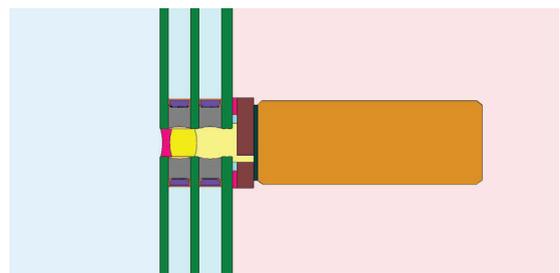


Abb. 32 - Auszug WinIso - Materialienzuweisung

Anhand der zugewiesenen Materialkennwerten und der daraus erfolgten Berechnungen, können diese nach der thermischen Relevanz angezeigt werden. WinIso ermöglicht unter Anderem die Darstellung der Temperaturfelder, des Wärmestroms, der Isothermen, der relativen Feuchte und den Isobaren und viele Weitere. In den unteren Abbildungen ist die thermische Ausweisung mit den Isothermen-Linien gezeigt, wie auch die Berechnung des Temperaturfaktors, die das Programm mit der Auswahl von bestimmten Zellen für die Konstruktion kalkuliert. Alle wichtigen Funktionen wurden für die zweidimensionale Berechnung des thermischen Verhaltens herangezogen.

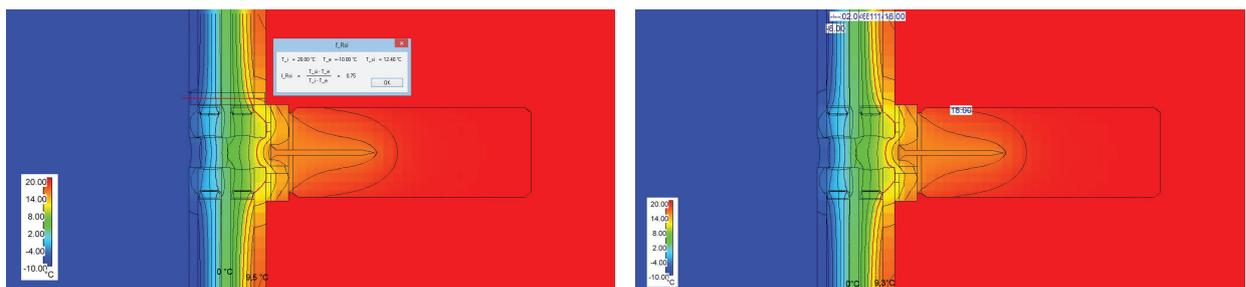


Abb. 33 - Ausweisung des  $f_{Rsi}$  und der Oberflächentemperaturen in WinIso

An dieser Stelle muss jedoch ein Hinweis bezüglich der Fehlerquelle gegeben werden, welche mittels der Zeilen und Spalten entstehen kann. WinIso berechnet das thermische Verhalten laut den grafischen Darstellungen der Temperaturfelder korrekt punktuell aus, dennoch erfolgt die Ausweisung von Temperaturen in der Konstruktion anhand des Durchschnitts der Fläche. Um dies besonders im kritischen Falzbereich der Rahmenkonstruktion zu vermeiden, wurden hier zusätzliche Zellen und Spalten eingefügt, um eine genauere Aussage zu erhalten.

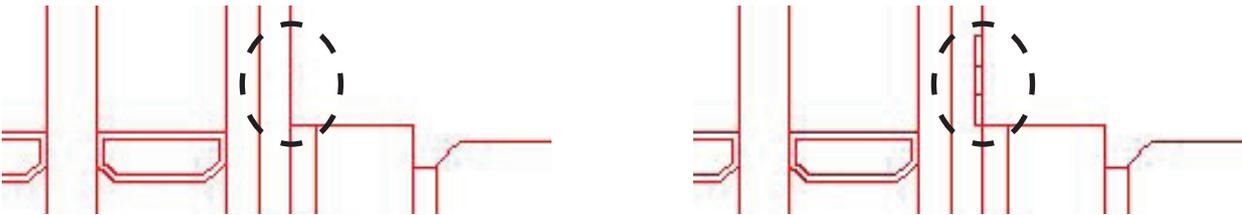


Abb. 34 - Darstellung der Detailierung im Falzbereich - WinIso

### Antherm

Das Einspielen der Datensätze erfolgte in Antherm, wie schon zuvor erwähnt, auf andere Art und Weise, wie dies bei WinIso der Fall war. Bei diesem thermischen Simulationsprogramm wurden .dxf-Dateien erstellt, in denen Linien als Polylinienkörper verblieben. Das Programm übernimmt die Polylinien aus der CAD-Datei und setzt diese gleich als Elementbaustein ein. An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass Antherm ebenfalls keine Schrägen und Kurven einlesen kann. Es bietet auch kein Modul, um etwaige schräge Linien umzuwandeln oder einzulesen. Aus diesem Grund ist es dem Nutzer überlassen, nicht orthogonale Linienführungen im CAD-Programm selbst abzutrepfen oder die Konstruktion in orthogonale Elemente zu vereinfachen. Ist die Datei in das thermische

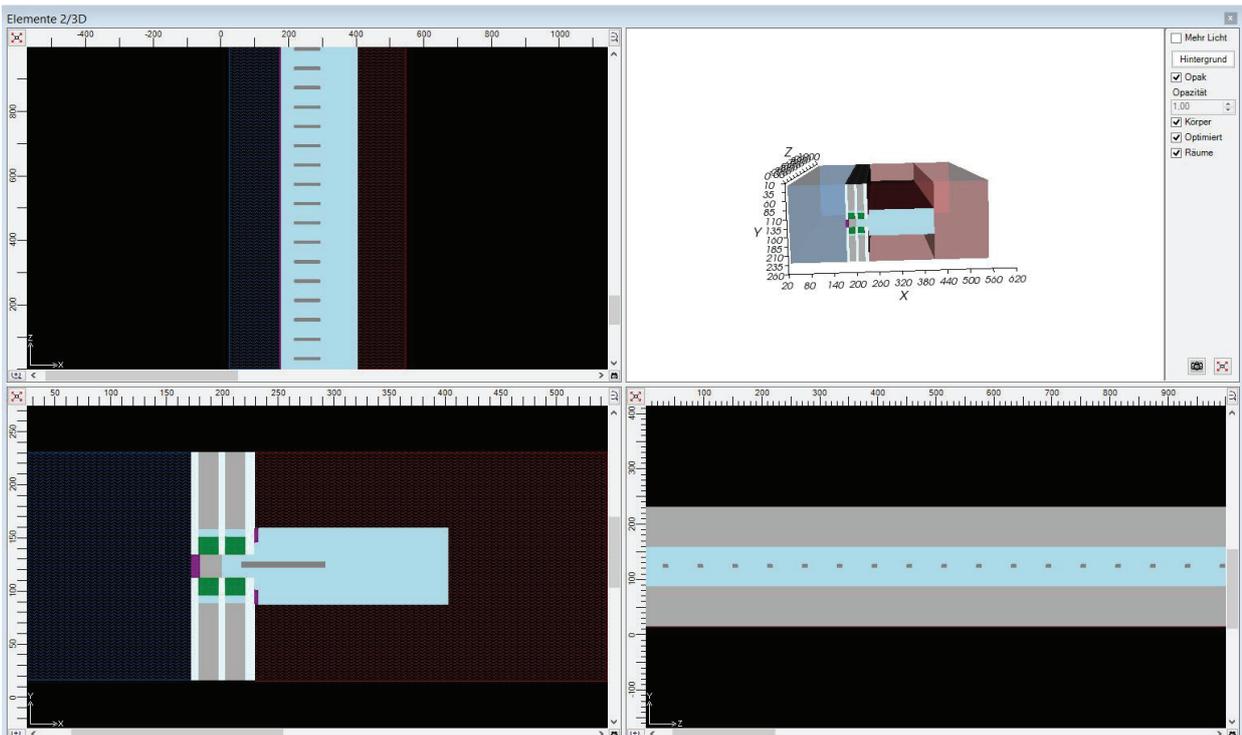


Abb. 35 - Darstellung des Input in Antherm

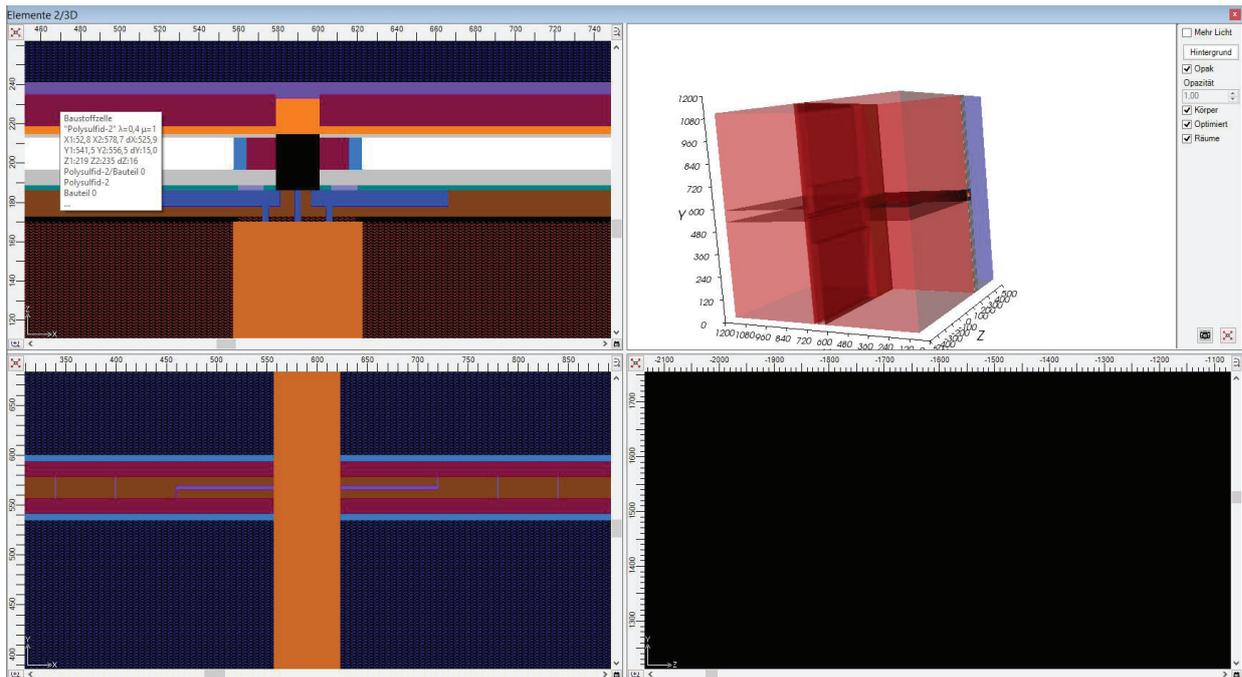


Abb. 36 - Darstellung der Materialüberlappungen

Simulationsprogramm importiert, müssen nun die Materialien mit den Kenndaten eingegeben oder aus der internen Materialdatenbank per Doppelklick oder mittels Drag & Drop zugewiesen werden. Ein bedeutender Bestandteil von Antherm ist die Überlappungsmöglichkeit von Elementen in der Konstruktion, welche es vor allem ermöglicht, nachträgliche Änderungen einzubringen und sie per Anordnung richtig zu positionieren. Die Eingabe des „oberen“ Elements, überschreibt die Eigenschaften des darunter liegenden Bauteils, im Ausmaß der geometrischer Fläche des darüber liegenden Elements. Der weitere positive Aspekt ergibt sich bei Überdeckungen von Bauteilen, welche die gleichen Eigenschaften besitzen. Die Ergebnisse der zweidimensionalen Eingaben werden

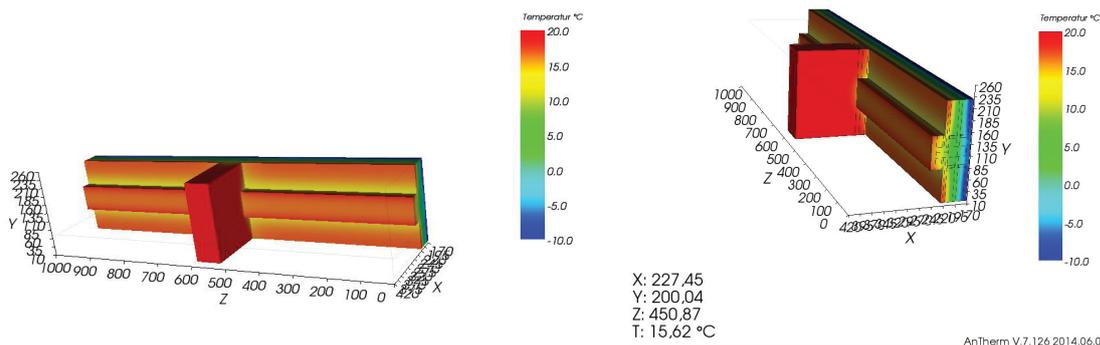


Abb. 37 - 3Dimensionale Darstellung der 2D-Ergebnisse

in die dritte Ebene mit einem Faktor von 1000mm (1m) gestreckt und als dreidimensionale Ansicht angezeigt. Das Resultat der Berechnungen kann nun grafisch frei im Raum gedreht und bewegt werden, was eine benutzerfreundliche Ansicht des Ergebnisses ermöglicht. Diverse Einstellungen können für den Bedarf der Veranschaulichungen getätigt werden. Eine Besonderheit stellt die Darstellung der Wärmestromlinien dar, die kurzerhand aufzeigen, wo die thermischen Schwachstellen und das Potenzial der größten Wärmebrücke liegt. Von größtem Vorteil ist aber die punktgenaue Abfrage eines gewünschten Konstruktionselements innerhalb der Konstruktion. So erfolgt eine

Ausweisung der Temperaturen mittels genauer Definition der X/Y/Z - Koordinaten, was eine genaue Durchleuchtung und Analyse der untersuchten Objekte ermöglicht. Antherm erstellt außerdem einen Bericht, um einen Überblick der Analyse zu erhalten, in dem die wichtigsten Parameter oder auch benutzerdefinierte Messpunkte der Analysen festgehalten sind.

Die Eingabe der dreidimensionalen Objekte erfolgt mit genauer Definition der Z-Koordinate, welche auch in weiterer Instanz selbst eingegeben wird. Dabei muss bedacht werden, dass für eine Baustoffzelle ein Anfangswert und ein Endwert für die Z-Ebene eingetragen werden muss. In den meisten Dateien waren dies 100-170 Zellen, was auch die entsprechende Zeit für eine genaue Betrachtung forderte. Die Zuweisung der Materialien erfolgte hingegen schnell mittels dem genannten Auswahlprinzip oder einem einfachen Drag & Drop - Befehl über die ausgewählten Elemente. Die Belohnung des Aufwands sind genau definierte und schön modellierte Konstruktionsdetails, die zuverlässige Ergebnisse für die thermischen Untersuchungen ermöglichen, wie dies in den folgenden Abbildung

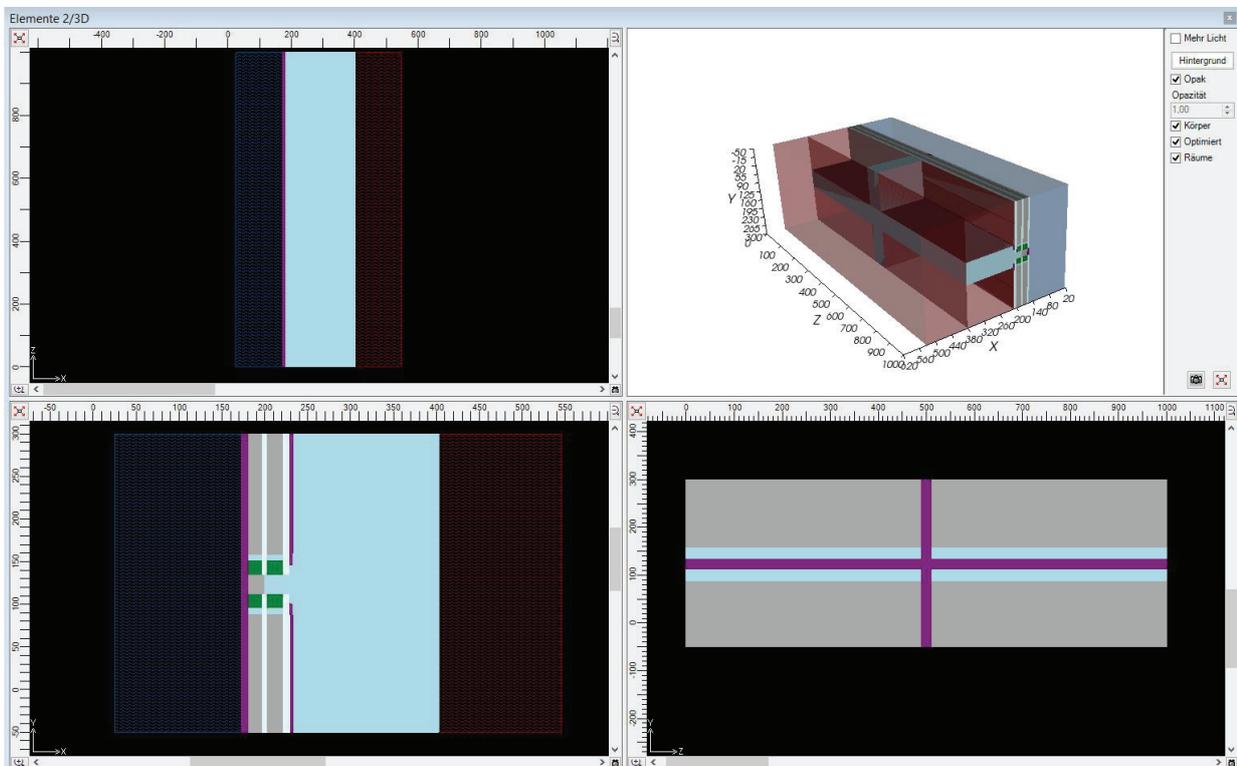


Abb. 38 - Darstellung Screenshot der beiden Programmdateien

38 der Ecklösungen gezeigt wird. Die Resultate der Eingaben werden wieder als frei wählbare und rotierende Darstellung angezeigt. Das Programm verfügt über vordefinierte Einstellungen, für eine breite Auswahl an Anzeigemöglichkeiten der Ergebnisse. In den Parametern der 3D-Ausgabe wird über die Darstellung der Eingabemodelle, Temperaturfelder, Isothermen, Kanten und Ecken und dem Wärmestrom, Auskunft über das Resultat gegeben. Weiters besteht auch die Möglichkeiten, Sprenggrafiken, genaue Schnitterstellung in den dreidimensionalen Endanzeigen darstellen zu lassen. Auf der nächsten Seite ist ein Auszug der Arbeit betreffend einer Riegel Darstellung (Abbildungen 39-40) mit dessen Optimierung ersichtlich, der die wesentlichsten Einstellungsmethoden zeigt, um ein Gefühl der Aussagekraft zu generieren.

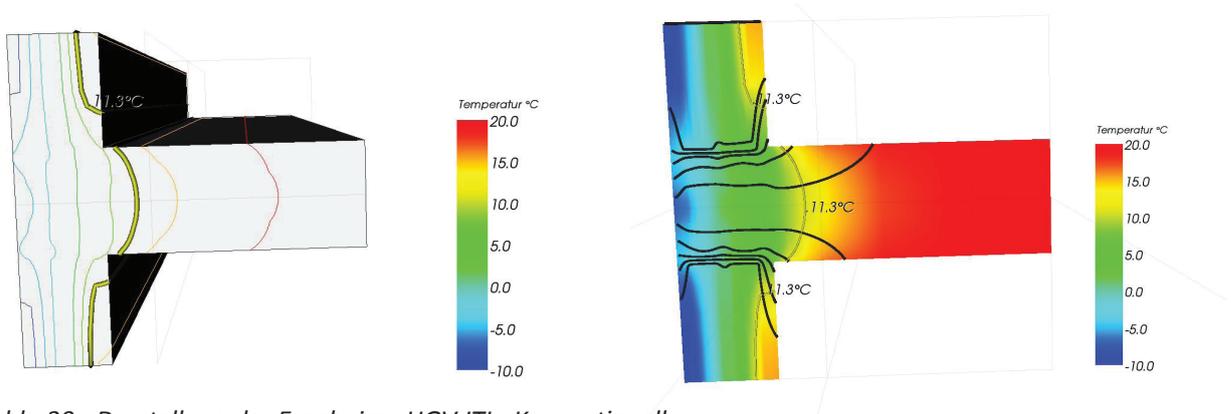


Abb. 39 - Darstellung der Ergebnisse HGV-ITI - Konventionell

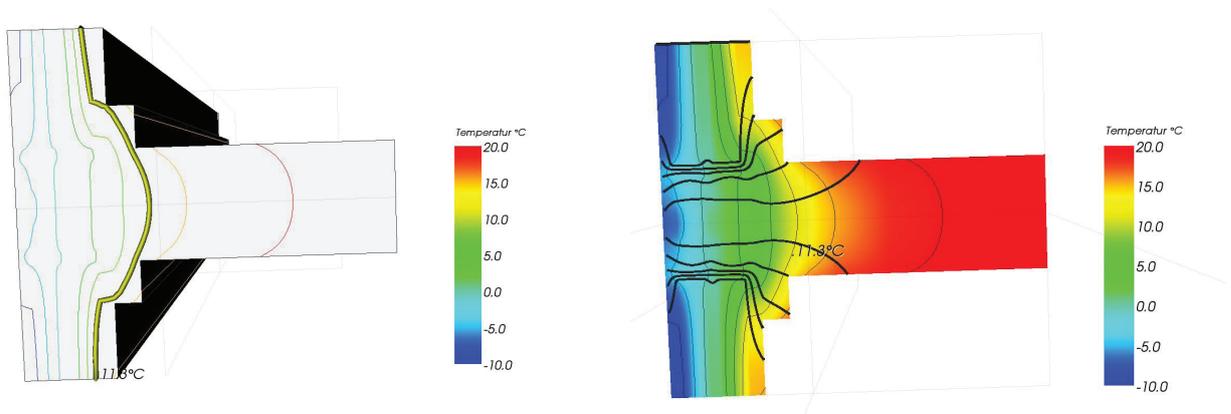


Abb. 40 - Darstellung der Ergebnisse HGV-ITI - Konventionell Optimiert

## 5. Analyse der Durchführbarkeit der HGV-Konstruktion

### 5.1 Datensätze

Die Input-Daten bezüglich der Konstruktion wurden von der Firma Haas Fertigbau weitergeleitet, welche in erster Linie von der Firma Petschenig Glastec GmbH erstellt und an Haas übermittelt wurden. In weiterer Folge fand während der Erarbeitung ein Austausch mit der Firma Petschenig Glastec GmbH statt. In erster Linie geschah dies über die Anwendung der Materialien und die bisherigen Ergebnisse der Holz-Glas-Verbundkonstruktion aus dieser Arbeit. Die Datensätze bezüglich der Konstruktionsmerkmale des Institutes Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau wurden von den vorausgegangenen Diplomarbeiten entnommen oder auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

Die Ausführung der L-förmigen Koppelleiste ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil für die thermischen Fragestellungen und Lösungsansätze bezüglich ihrer Anforderungen. In den unten stehenden Abbildungen werden die Unterschiede bezüglich der Gestaltung der Koppelleisten aufgezeigt, die auch in den folgenden Seiten in einem direkten Vergleich der thermischen Eigenschaften abgeglichen werden. Diese Form der Anwendung gewinnt an Stellenwert, da dies aus statischer Sicht eine Verstärkung bedeutet, da hierdurch eine bessere Lastabtragung durch eine günstigere Verteilung durch das Schubfeld und der Druckdiagonale ermöglicht wird. Genauer zu dieser Thematik ist im Bericht von Herrn O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Winter „Tragende Holz-Glas-Klebeverbindungen“ nachzulesen, wie auch bildlich auf Seite 5 dargestellt wird. Schematisch aufgerollt wird dieser Blickpunkt ebenso in dieser Abhandlung auf Seite 16 im Kapitel 2.4.

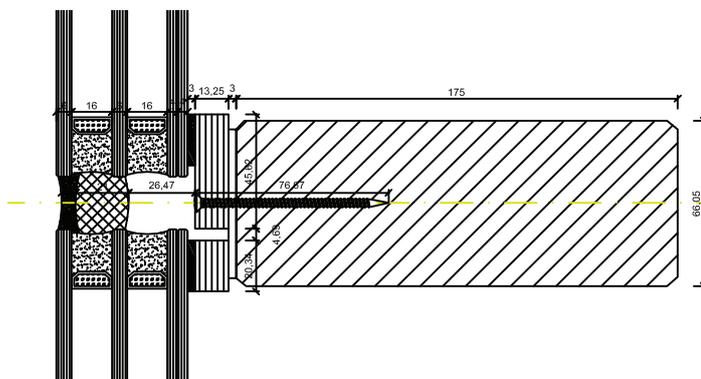


Abb. 41 Ausführung der Konstruktion Petschenig Glastec

-  FLOATGLAS  $e=0.03$
-  SILIKAGEL / TROCKENMITTEL
-  2-KOMPONENTENSILIKON
-  OTTO-SEAL S7
-  BIRKENFURNIER-SPERRHOLZ
-  TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK
-  THERMALBOND
-  OTTO COLL S660

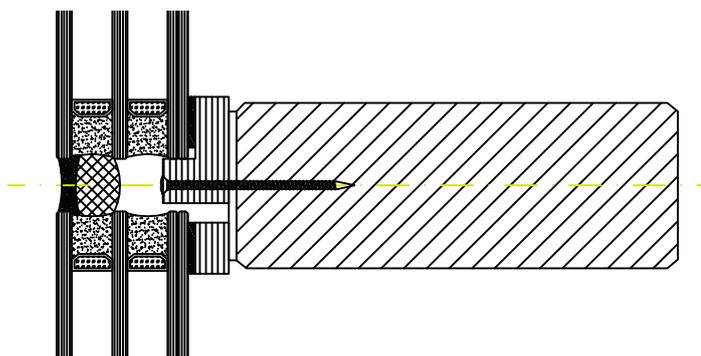


Abb.42 Ausführung der Konstruktion des ITI

## 5.2 Randbedingungen für die thermischen Simulationen

Selbst in den Untersuchungen der bestehenden Konstruktion ergaben sich neue Erkenntnisse und Ansätze für weitere Maßnahmen und Ideen, um die Holz-Glas-Verbundkonstruktion in thermischen Belangen einen weiteren Schliff zu verleihen. Die Analyse der folgenden Konstruktionen erfolgte für den näheren Vergleich mit den bisherigen Befundungen in zweidimensionaler Basis und zur Erkenntnis neuer Datensätzen, sowie zur Bestätigung von Optimierungsvermutungen in dreidimensionaler Betrachtung.

### 5.2.1 Eingaben der Randbedingungen

Die nachfolgenden Tabellen bieten die Grundlage für alle Eingaben der Parameter in den zwei- und dreidimensionalen Betrachtungen. Die Wahl der Außentemperatur erfolgte auf Grund der Vereinheitlichung der mittleren jährlichen Tiefstwerte des Temperatur-Tagesmittels  $\theta_{Tmit,min}$ , welche in der Tabelle 3 der ÖN B 8110-2 nachzuschlagen sind. Die Aufstellungen der anzunehmenden Temperaturen in dieser Tabelle dienen für die Aufstellung von Konstruktionen mit einer geringen Speicherfähigkeit, wie dies bei Fenstern und Türen der Fall ist. Konkret wird dies auch für die Holz-Glas-Verbundkonstruktionen angewandt.

Bestandteil	Temperatur °C	Feuchte %
Innentemperatur	20	55
Außentemperatur	-10	80

Tab. 02 Randbedingungen - Temperatur für Programmeingabe

Bestandteil	Wärmeübergangswiderstand m <sup>2</sup> K / W	
Oberfläche Innen	0,13	horizontal
Oberfläche Außen	0,04	horizontal

Tab. 03 Randbedingungen - Wärmeübergangswiderstände für Programmeingabe

#### Anmerkung:

Die Werte aus den Tabelle XX beruhen auf den Grundlagen und den Bestimmungen der ÖN B 8110-2, wonach bei 20°C Innentemperatur und 0°C Außentemperatur eine Luftfeuchtigkeit des Innenraums von 65% angenommen werden kann. Da alle Simulationen bei einer Außentemperatur von -10°C durchgeführt wurden, muss der Wert entsprechend geändert werden, nämlich  $\pm 1\%$  je  $\pm 1^\circ\text{C}$  Differenz der Außentemperatur, woraus sich die tabellierten 55% Luftfeuchtigkeit ergeben.

### 5.3 Betrachtung der Simulationsergebnisse

#### 5.3.1 Ausführungsvariante der HGV-Konstruktion mit Koppelleiste (Petschenig-Chroma.)

Die Ausführung der Firma Petschenig Glastec GmbH wurde mit dem GAH „ChromaTech Ultra“ bewerkstelligt, womit gute thermische Werte hierfür erreicht werden können, wie dies in der unteren Tabelle 04 aufgeschlüsselt wird. Hier ist weder von Kondensat, noch von einer Gefahr des Schimmels auszugehen.

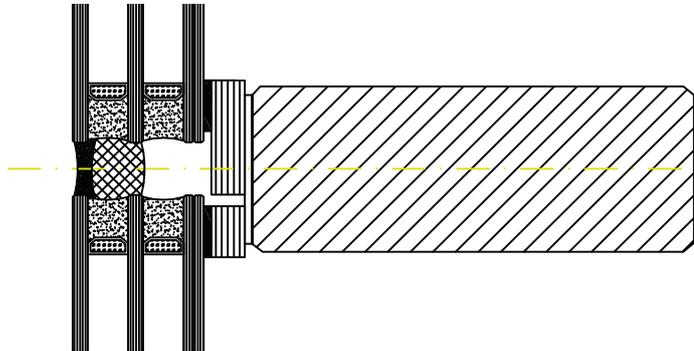


Abb. 43 Ausführung der Konstruktion Petschenig Glastec

Temperaturfaktor =	0,75	0,72		
U - Wert der Verglasung	0,58	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>g</sub>
U - Wert des Rahmens	0,58	0,58	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>f</sub>
Flächenbezogener U-Wert	0,58	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w</sub>
Längenbez. Wärmedurchgangskoeff.	0,048	0,045	[W/mK]	ψ
Niedrigste Innere Oberflächentemp.	12,44	11,45	[°C]	ts,min
Zu erreichende Mindest-Temperatur		11,3	[°C]	ts,erf.
	WinIso	Antherm		

Tab. 04 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für Petsch.ChromaTech Ultra

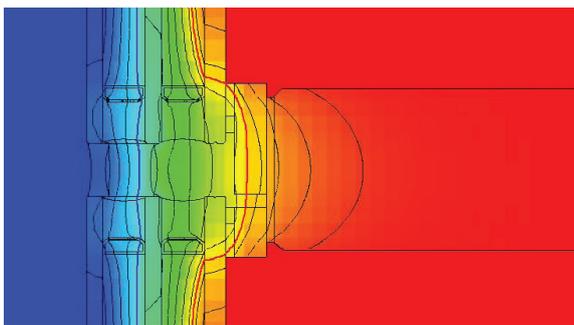


Abb. 44 WinIso - Temperatur mit Chromatech U.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

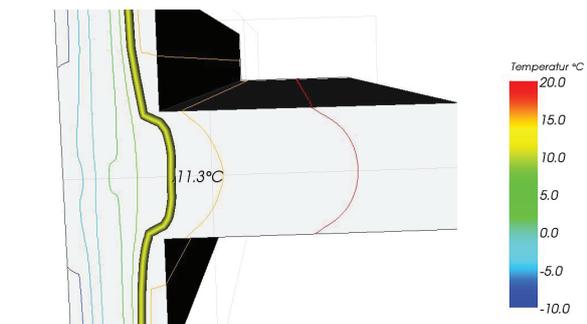


Abb. 45 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.  
11,3°C Gelb

Die oberen Abbildungen (44-45) der beiden thermischen Simulationsprogramme und die Aufschlüsselung der Ergebnisse in der Tabelle 04, verweisen auf eine gute Durchführbarkeit durch den Warm-Edge-Hybrid Chromatech Ultra mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,17 W/mK nach Angaben des Herstellers. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Temperatur an der Innenkante an keiner Stelle unter 11,3°C fällt, wodurch auch keine Schimmelpilzgefahr mehr besteht. Auffallend ist die Isothermenführung der 11,3°C-Kurve, welche sich bei den beiden Programmen unterscheidet und in Antherm deutlich inhomogener ausfällt.

5.3.2 Ausführungsvariante der HGV-Konstruktion mit Koppelleiste (Petschenig-Konv.)

Anhand der Erkenntnis, dass durch den Einbau des Chromatech Ultra die Werte bezüglich der Konstruktion stark verbessert werden können und somit keine Optimierungen in diesem Bereich notwendig sind, steht eine kritische Auseinandersetzung mit konventionellen Glasabstandshaltern im Raum. Der Einsatz von Edelstahl als Glasabstandhalter bedeutet eine Schwächung der bisher an den Markt gebrachten Konstruktion. In den folgenden Seiten wird jedoch der Nachweis erbracht, wie Edelstahl als Material zur Anwendung kommen kann.

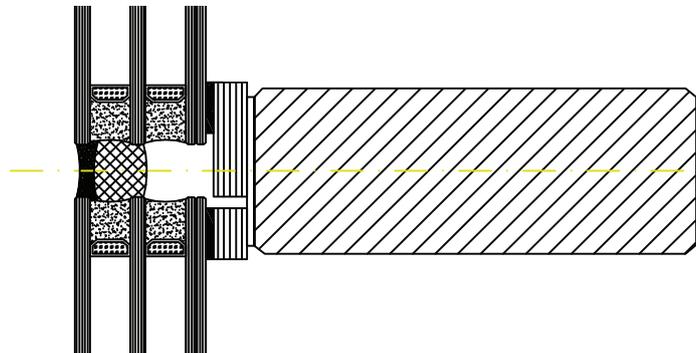


Abb. 46 Ausführung der Konstruktion Petschenig Glastec

Temperaturfaktor =	0,60	0,58		
U - Wert der Verglasung	0,58	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>g</sub>
U - Wert des Rahmens	0,60	0,60	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>f</sub>
Flächenbezogener U-Wert	0,58	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w</sub>
Längenbez. Wärmedurchgangskoeff.	0,137	0,135	[W/mK]	ψ
Niedrigste Innere Oberflächentemp.	7,89	7,39	[°C]	ts,min
Zu erreichende Mindest-Temperatur		11,3	[°C]	ts,erf.
	WinIso	Antherm		

Tab. 05 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für Petsch.konv. Abstandshalter

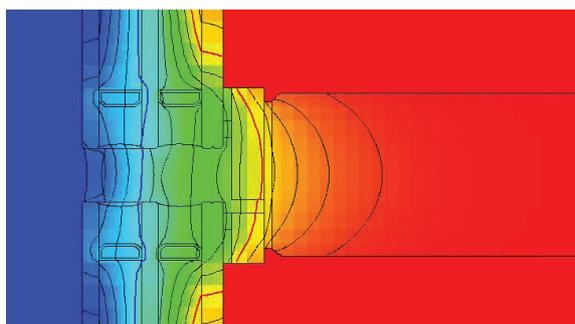


Abb. 47 WinIso - Temperatur ohne Chromatech U.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

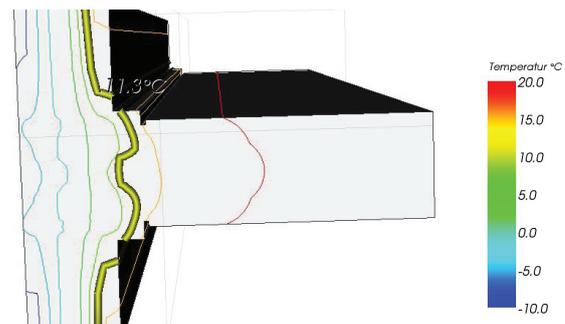


Abb. 48 Antherm - Temperatur ohne Chromatech U.  
11,3°C Gelb

So ist nachweislich angeführt, dass ein Einsatz ohne eines Warm-Edge-Hybrids hier zu keinem normgemäßem Ergebnis führt. Eine herkömmliche Ausführung, wie zum Beispiel aus Edelstahl mit einer Wärmeleitfähigkeit von 15-17 W/mK, in Kombination mit dem Trocknungsmittel Silicagel, mit dessen Wärmeleitfähigkeit von 0,13 W/mK, erreicht keine 0,17 W/mK (Chromatech-Ultra). Somit besteht eine größere Wärmeleitung durch den Einsatz von konventionellen Abstandhaltern, was sich bei einer Temperaturdifferenz von  $\Delta T = 4,0-4,5$  °K im Vergleich zu den Abbildungen (44-48) widerspiegelt. Im Kapitel 6.3 ab Seite 53 wird näher auf die Optimierung für diesen Bereich eingegangen.

5.3.3 Ausführungsvariante der HGV-Konstruktion mit L-Koppelleiste (ITI-Konv.)

Die miteinander schmal verzahnten, winkelförmigen Koppelleisten werden auch hier wiederum an der Tragkonstruktion verschraubt und mit dem Glas auf einer 2-Komponentenbasis verklebt.

Laut den Aussagen der Technischen Universität Wien reicht die Deckung der L-förmigen Koppelleiste bis hin zur ersten Glasscheibe aus, um den statischen Anforderungen gerecht zu werden. Da sich die Konstruktion bis auf die BKF-Leiste nicht wesentlich unterscheidet, ist hier ohne der Anwendung eines besonderen Abstandshalters kein positives Ergebnis zu erwarten.

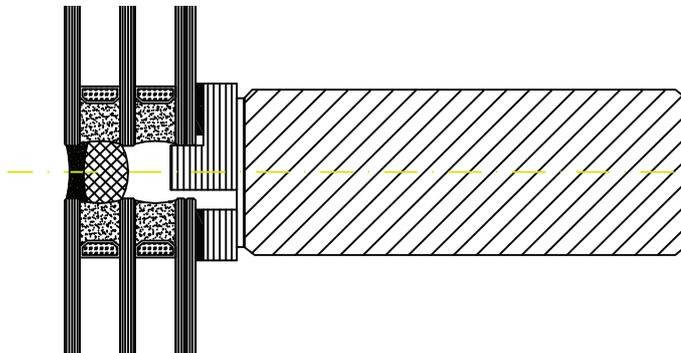


Abb. 49 Ausführung der Konstruktion des ITI

Temperaturfaktor =	0,59	0,58		
U - Wert der Verglasung	0,58	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>g</sub>
U - Wert des Rahmens	0,62	0,64	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>f</sub>
Flächenbezogener U-Wert	0,59	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w</sub>
Längenbez. Wärmedurchgangskoeff.	0,164	0,163	[W/mK]	ψ
Niedrigste Innere Oberflächentemp.	7,65	7,48	[°C]	ts,min
Zu erreichende Mindest-Temperatur	11,30		[°C]	ts,erf.
	WinIso	Antherm		

Tab. 06 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für ITI konv. Abstandshalter

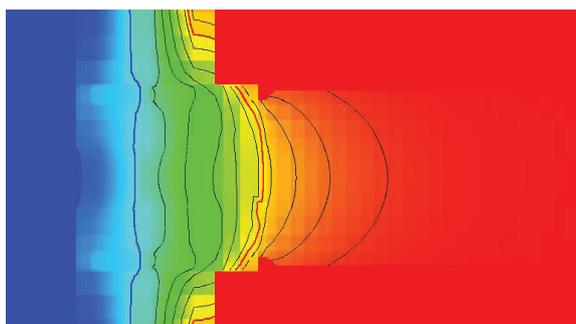


Abb. 50 WinIso - Temperatur ohne Chromatech U. 11,3°C Rot - 0°C Blau

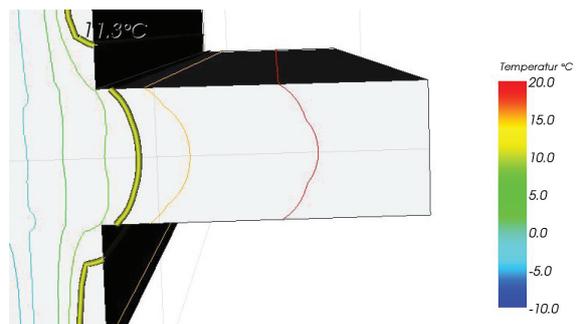


Abb. 51 Antherm - Temperatur ohne Chromatech U. 11,3°C Gelb

Alle Ergebnisse zeigen eine unterbrochene Isothermenlinie der 11,3°C Kurve, womit eine normgemäße Erfüllung der Vermeidung von Kondensat und Schimmelpilz ausgeschlossen werden kann. Die Datensätze unterscheiden sich, mit Ausnahme der kleinsten inneren Oberflächentemperaturen, nur geringfügig voneinander. Antherm weist hier nicht nur kältere Temperaturen an der Oberfläche auf, sondern auch im Inneren des Riegel- und Pfostenelementes, was die Isothermen bestätigen. Die Resultate der U-Werte und des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten weisen keine deutliche Konvergenz aus, um von verschiedenen Ergebnissen zu berichten.

### 5.3.4 Ausführungsvariante der HGV-Konstruktion mit L-Koppelleiste (ITI-Chroma.)

Wie auch bei der Konstruktionsweise des Fassadenherstellers Petschenig Glastec GmbH, ist der Einsatz eines thermisch optimierten Glasabstandshalters für eine angemessene Nachweisführung seitens der Norm ÖN B 8110-2 notwendig.

Da die konventionelle Ausführung hier den Anforderungen nicht gerecht wird, ist auch auf eine Optimierung mittels eines Warm-Edge-Hybrids hinzuweisen. Durch den Tausch des Glasabstandshalters mit der teureren Variante ist es möglich, die Konstruktionsbestandteile und den Aufbau unverändert zu belassen.

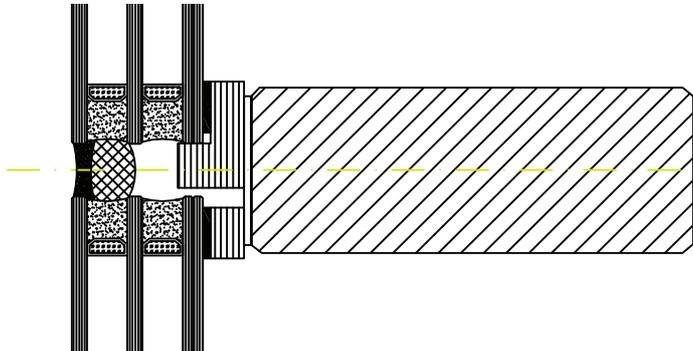


Abb. 52 Ausführung der Konstruktion des ITI

Temperaturfaktor =	0,73	0,74		
U - Wert der Verglasung	0,58	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>g</sub>
U - Wert des Rahmens	0,57	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>f</sub>
Flächenbezogener U-Wert	0,00	0,59	[W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w</sub>
Längenbez. Wärmedurchgangskoeff.	0,046	0,045	[W/mK]	ψ
Niedrigste Innere Oberflächentemp.	11,85	12,16	[°C]	ts,min
Zu erreichende Mindest-Temperatur		11,30	[°C]	ts,erf.
	WinIso	Antherm		

Tab. 07 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für ITI ChromaTech Ultra

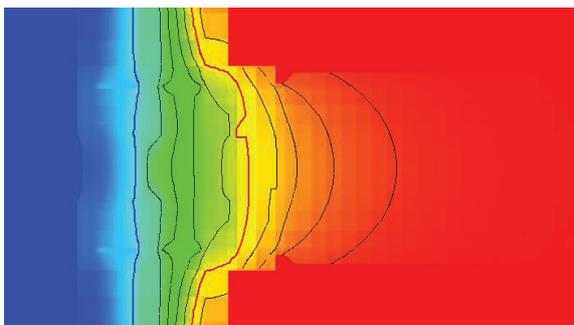


Abb. 53 WinIso - Temperatur mit Chromatech U.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

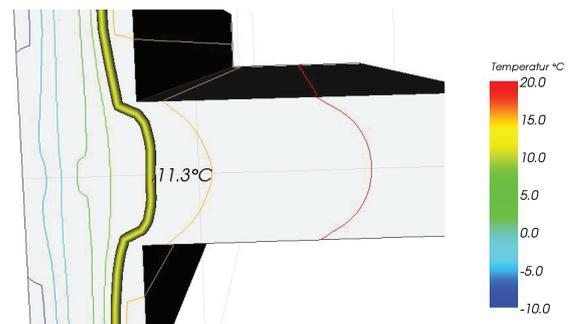


Abb. 54 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.  
11,3°C Gelb

Der Einsatz des Warm-Edge-Hybrids an der winkelförmigen Koppelleiste führt zu thermisch besseren Ergebnissen in der Auswertung. In beiden Programmen wurde die maßgebende Isotherme innerhalb der Konstruktion simuliert, was die Erfüllung der Normbedingungen nachweist. Die einzig dargestellte Abweichung der Kurve betrifft einen Einschnitt im Inneren der L-förmigen Koppelleiste. Dies ist auf die Kombination der thermischen Isolierung des Abstandshalters und der Ausbildung der Koppelleiste zurückzuführen. Bezugnehmend auf die Datensätze ist auch hier keine wesentliche Divergenz an den simulierten Daten der Programme auszuweisen.

5.3.5 Erkenntnisse über den Einfluss der Verschraubung aus thermischer Sicht

Die reine Gestaltung allein durch zweidimensionale Schnittstellen gibt jedoch noch keine eindeutige Auskunft über das gesamte Verhalten der Konstruktion, da nur einzelne Bereiche veranschaulicht werden. Die Untersuchung der Verschraubung brachte vor allem für diese Konstruktion besondere Erkenntnisse, die als Vorteil nachgewiesen werden konnten. Durch diese Analyse wird der erste Schritt in die dreidimensionale Ebene gewagt. Die Verschraubungen durch die verzahnten Koppelleisten des Birkenfurnieres bilden eine inhomogene Struktur entlang der Pfosten und Riegel dieser Konstruktion, welche zu einer differenzierten Wärmeableitung entlang des Birkenfurnieres führt. In den nachfolgenden Absätzen werden die wichtigsten Daten und Einsichten, bezüglich der Verschraubung der Holz-Glas-Verbundkonstruktion erläutert.

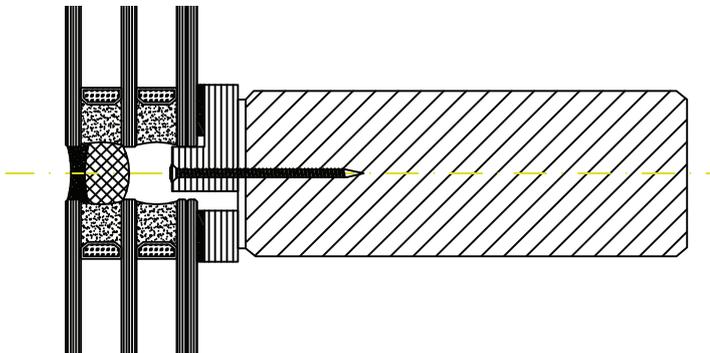


Abb. 55 Ausführung - Konstruktion des ITI mit Schraube

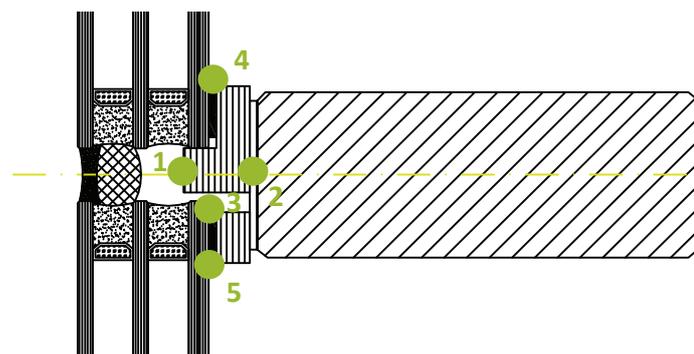


Abb. 56 Ausführung - Konstruktion des ITI ohne Schraube mit der Darstellung der Messpunkte

Aus der anfänglichen Betrachtung ergibt sich durch die Schraubung mit dessen Wärmeleitfähigkeit von rund 60 W/mk, je nach der Betrachtung der Stahlqualität, eine offensichtliche Schwachstelle in der Konstruktion. Die Annahme, dass der Stahl als Wärmebrücke dient, wird hier nicht abgestritten, sondern in diesem Fall als Vorteil genutzt. Es sei anzudenken, dass durch eine solche Wärmeleitung nicht nur die Kälte von Außen in das Innere der Konstruktion dringen kann, sondern wie es hier der Fall ist, wird auch die Wärme in die Konstruktion eingebracht. Die Schraubverbindung ist in den warmen Bestandteilen der Konstruktion eingebettet und überträgt diese in den Hohlraum der Struktur. Die Messpunkte für die vergleichenden Daten sind zugleich in der Abbildung 57 ersichtlich gemacht.

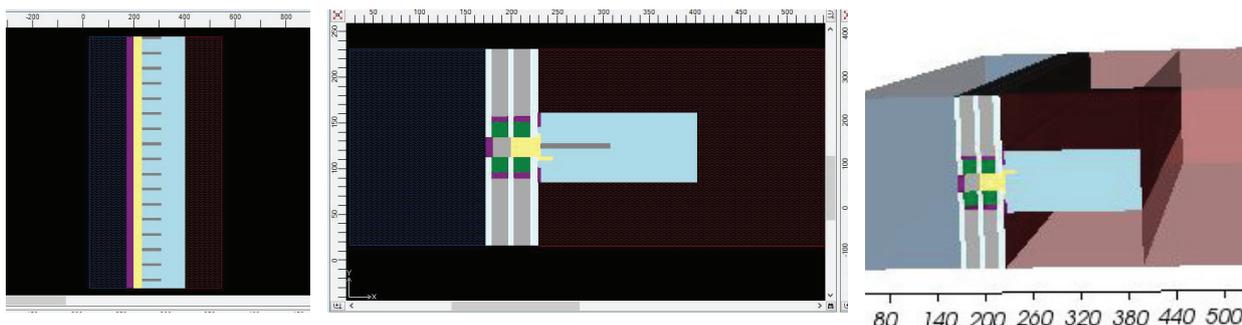


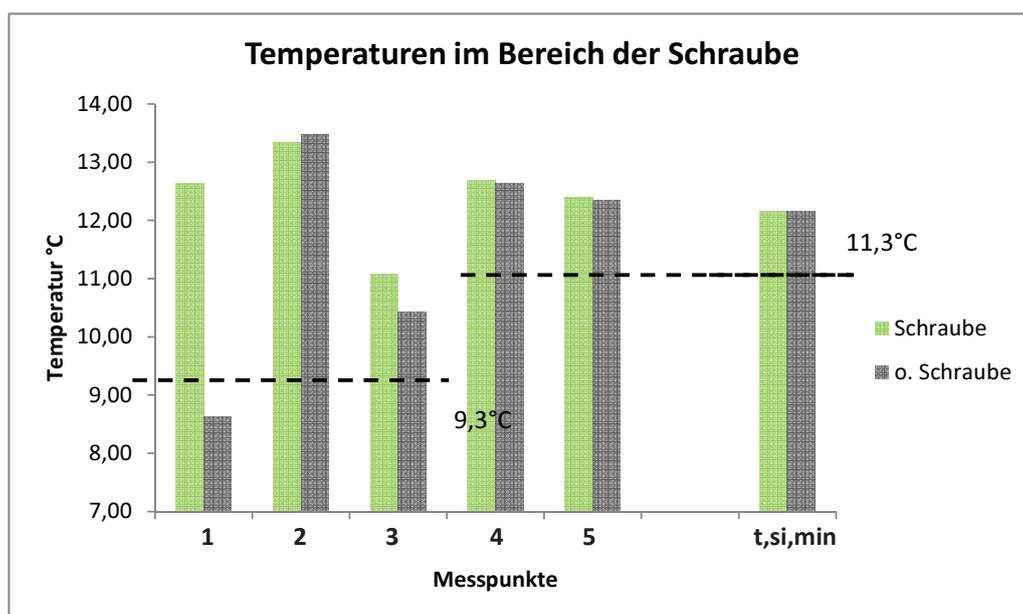
Abb. 57 Auszug aus Antherm - Schraubungsverbindung 3D

Messpunkt	Messstelle	$\Delta T$ [K]	Schraube	o. Schraube	
1	Birkenfurnier (Hohlr.)	4,01	12,64	8,63	[°C]
2	Birkenfurnier (Abd.)	-0,14	13,34	13,48	[°C]
3	Thermalbond	0,65	11,08	10,43	[°C]
4	Falz - rechts	0,04	12,68	12,64	[°C]
5	Falz - links	0,04	12,39	12,35	[°C]

t <sub>si,min</sub>	12,16	12,16
fR <sub>si</sub>	0,74	0,74

Tab. 08 Darstellung der Ergebnisse der Messpunkte für den Vergleich der Verschraubung

Die Verschraubung bietet anhand der Simulationsergebnisse ganz klar keine Schwächung der Konstruktion, sondern bietet durch die höhere Wärmeleitfähigkeit sogar einen positiven Aspekt. Dies wird besonders an der Stelle des Birkenfurnieres im Hohlraum der Konstruktion ersichtlich, wo sich der Schraubenkopf befindet, oder je nach Schnittstelle (Abb. 55 oder Abb. 56) befinden würde. Der Wert der Differenz ( $\Delta T$ ) beträgt hier stolze + 4°K, mit einer messbaren Temperatur von 12,64 °C. Abweichend vom Schraubenkopf ist eine Erhöhung der Temperatur von  $\Delta T = 0,65^\circ\text{C}$  im Hohlraum um die Verschraubung simuliert worden, was eine weitere positive Perspektive für die Temperierung des Hohlraumes zwischen der Scheibenabdichtung und des Birkenfurniers bietet. Bei der Betrachtung der inneren Falz-Temperaturen (Messpunkt 4 und 5), wie auch der ausgewiesenen, kleinsten Oberflächentemperatur (Messpunkt 7), ist für die thermischen Interessen kein wesentlicher Unterschied festzuhalten. Einzig der Messpunkt 2, welcher sich zwischen dem Birkenfurnier und dem tragenden Nadelholz befindet, zeigt eine negative Temperaturentwicklung von  $\Delta T = -0,14^\circ\text{K}$  durch die Schraube. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Baustahlschraube die Kälte in die Konstruktion einleitet, was jedoch in der Relation des Wärmetransportes und der nicht sinkenden inneren Oberflächentemperatur kein schlechtes Licht auf dieses Bauteil wirft.



Diag. 09 Diagramm zum Vergleich der HGV-Konstruktion mit & ohne Verschraubung

### 5.3.6 Abgleich der Ergebnisse der dreidimensionalen Analysen der HGV-Elemente (ITI)

Eine dreidimensionale Betrachtung der ITI-Konstruktion bringt keine wesentlich neuen Erkenntnisse bezüglich der kleinsten inneren Oberflächentemperatur und des Temperaturfaktors. Die Schnittpunkte, welche durch die Modellierung im Bereich der Verschraubung und zwischen den Schrauben im Abstand von 60mm gelegt werden, unterscheiden sich nicht von den zweidimensionalen Bauteilbetrachtungen. Einzig die Tatsache, dass der thermische Verlauf durch die Verzahnung nicht konstant verläuft, sondern sich im Nahbereich der Verschraubung stärker verändert, ist eine informelle Erkenntnis. Unter der Berücksichtigung der punktförmig stärkeren Wärmeleitfähigkeit durch die Baustahlschraube, ist dies die logischste Erklärung im Bezug auf diese Erscheinung.

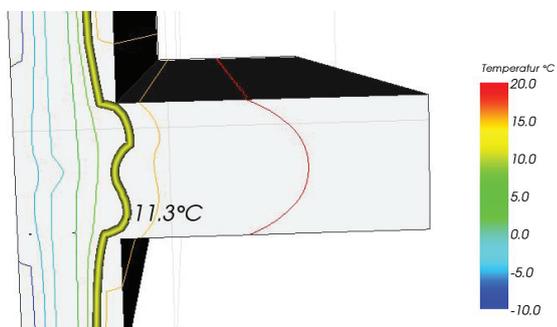


Abb. 58 Antherm - Temperatur mit Chromatech U. mit Schraube in der Auswertung

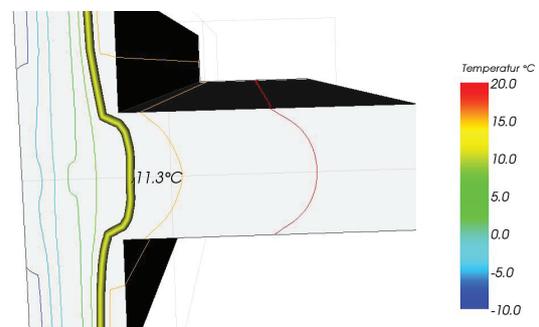


Abb. 59 Antherm - Temperatur mit Chromatech U. ohne Schraube in der Auswertung

### Abgleich der Ergebnisse der dreidimensionalen Analysen der HGV-Elemente (Petschenig)

Die Ergebnisse der dreidimensionalen Analyse, wie auch die der zweidimensionalen, decken sich mit einem Unterschied von  $\Delta T=0,01-0,04$ , was bei einem Temperaturfaktor von 0,74 nicht über den Fall der Konstruktion entscheiden kann. Wie die Abbildungen(60-61) zeigen, bleibt der Schwachpunkt der Konstruktion im Falzbereich der Verklebung mit dem Glas, wo der Glasabstandhalter die entscheidende Rolle in dem Bauteil spielt. Im Falle der Ausführung des Edelstahls versagt sozusagen die Konstruktion und kann den Anforderungen der ÖN B 8110-2 nicht mehr gerecht werden. Dies zeigt sich durch die Darstellung der Isotherme, welche im Falzbereich der HGV-Konstruktion von Glasscheibe und Klebung unterbrochen ist.

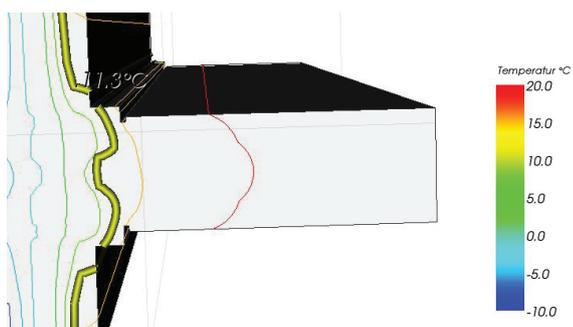


Abb. 60 Antherm - Temperatur mit Chromatech U. ohne Schraube in der Auswertung

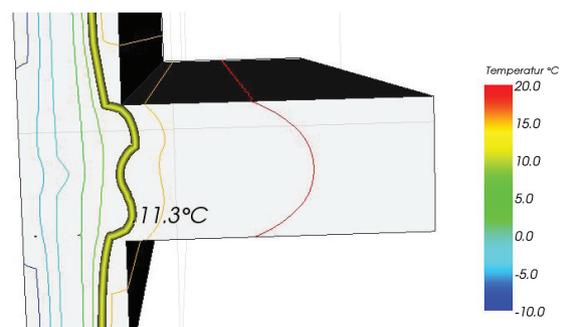


Abb. 61 Antherm - Temperatur mit Chromatech U. mit Schraube in der Auswertung

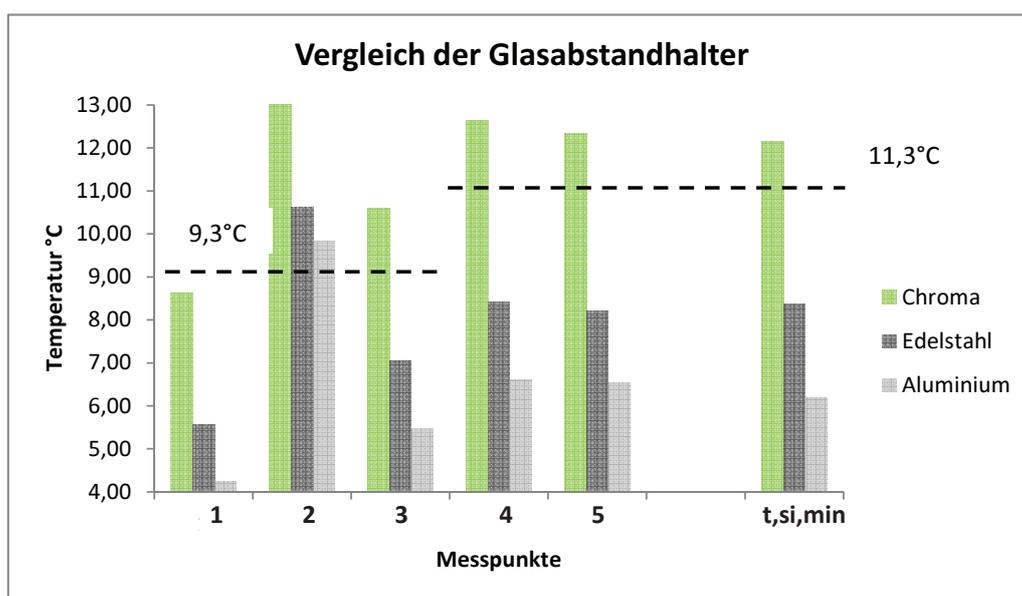
### 5.3.7 Gegenüberstellung der wesentlichen Kenndaten der verschiedene Glasabstandhalter (ITI-Konstruktion, wie auf Seite 36)

Die nachstehende Tabelle 10 und das Diagramm 11 geben Aufschluss über die simulierten Temperaturen an den wesentlichsten Messpunkten, bei der Anwendung verschiedenster Glasabstandhalter. Diese Vergleichsuntersuchung beziehen sich auf die verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten der zugehörigen Materialien, wie Aluminium mit 200 W/mk, Edelstahl mit 15 W/mk oder dem Chromatech Ultra mit 0,17 W/mk, nach den Berechnungsgrundlagen des Herstellers Rolltech A/S. Anhand dem Diagramm 10 wird ersichtlich, dass nur durch die Anwendung des Chromatech Ultra, die Bedingungen der Normung für die Vermeidung von Schimmel und Kondensat für diesen Konstruktionsentwurf möglich ist. Eine Ausführung des Abstandhalters aus Aluminium kann in keiner Weise den Ansprüchen gerecht werden, welche die Konstruktion erfüllen muss. Auch Edelstahl verspricht nur eine geringfügige Verbesserung, um die notwendigen Temperaturen für die Forderung des Temperaturfaktors von 0,71 (11,3°C) zu erreichen. Aus dieser Bedingung und den bisher simulierten Ergebnissen ist offensichtlich, dass bei einer Beibehaltung der Geometrie und dem Aufbau der Konstruktion nur eine Optimierung des Glasabstandhalters möglich ist. Für eine Optimierungsmöglichkeit mit konventionellen Abstandhalter, gibt das Kapitel 6.3 mehr Aufschluss.

Messpunkt	Messstelle	Chroma	Edelstahl	Aluminium	
1	Birkenfurnier (Hohlr.)	8,63	5,55	4,23	[°C]
2	Birkenfurnier (Abd.)	13,18	10,63	9,83	[°C]
3	Thermalbond	10,59	7,04	5,48	[°C]
4	Falz - rechts	12,64	8,41	6,61	[°C]
5	Falz - links	12,35	8,22	6,54	[°C]

t <sub>si,min</sub>	12,16	8,36	6,18
fR <sub>si</sub>	0,74	0,61	0,54

Tab. 10 Daten der Messpunkte für den Vergleich der Abstandhalter für die HGV-Konstruktion



Tab. 11 Diagramm der Temperaturen zum Vergleich der Abstandhalter

5.3.8 Infragestellung der Anwendung des Chromatech Ultra

Der speziell thermisch trennende Glasabstandhalter wird bereits in der Konstruktion der einfach verzahnten Birkenfurnierleiste angewendet und erfüllt die Anforderungen hinsichtlich der niedrigsten Spitzenwerte für die Außentemperaturen. In einer Studie von FENZI wurden Eigenschaften von Glasabstandhalter definiert und die verschiedenen Gruppen von flexiblen, hybriden Abstandhaltern und jenen aus Edelstahl verglichen. Unter den Hybriden war auch der Chromatech Ultra angeführt, wie auch der Swisspeacer. Anhand der Warm-Edge Hybrid kann die Anfälligkeit von Kondensat und die thermischen Beschaffenheiten wesentlich verbessert werden, was auf den Einsatz von Materialien mit geringer Leitfähigkeit zurückzuführen ist. Die Tatsache, dass der Anschaffungspreis solch speziellen Abstandhalter über denen, von konventionellen Edelstahlabstandhalter liegt, ist unumstritten. Interessant ist das Ergebnis der Analyse von FENZI, da diese im Vergleich mit Edelstahlabstandhalter eine geringere mechanische Stabilität aufweisen und die Verträglichkeit mit den Klebungen der Dichtstoffe an den Kanten als schlecht angesehen wird. Weiters wird auch festgehalten, dass ein Warm Edge Hybrid, schlechter bei Versuchen der linearen Wärmeausdehnung und der Gasdichtheit ausfällt. Aus diesen erwähnten Punkten ist zusätzlich zum höheren

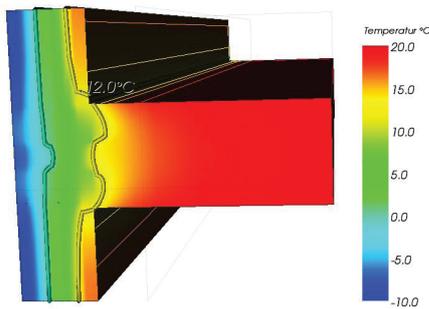


Abb. 62 Auszug aus WIniso - Temperatur Optimierte Konstr. 12°C Gelb - 0°C Türkis

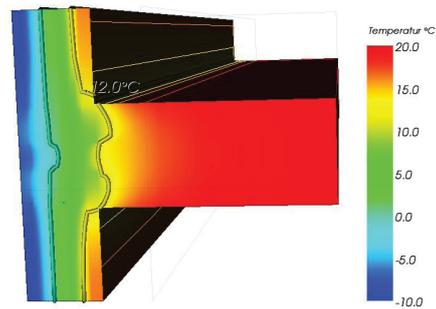


Abb. 63 Auszug aus WIniso - Temperatur Optimierte Konstr. 12°C Gelb - 0°C Türkis

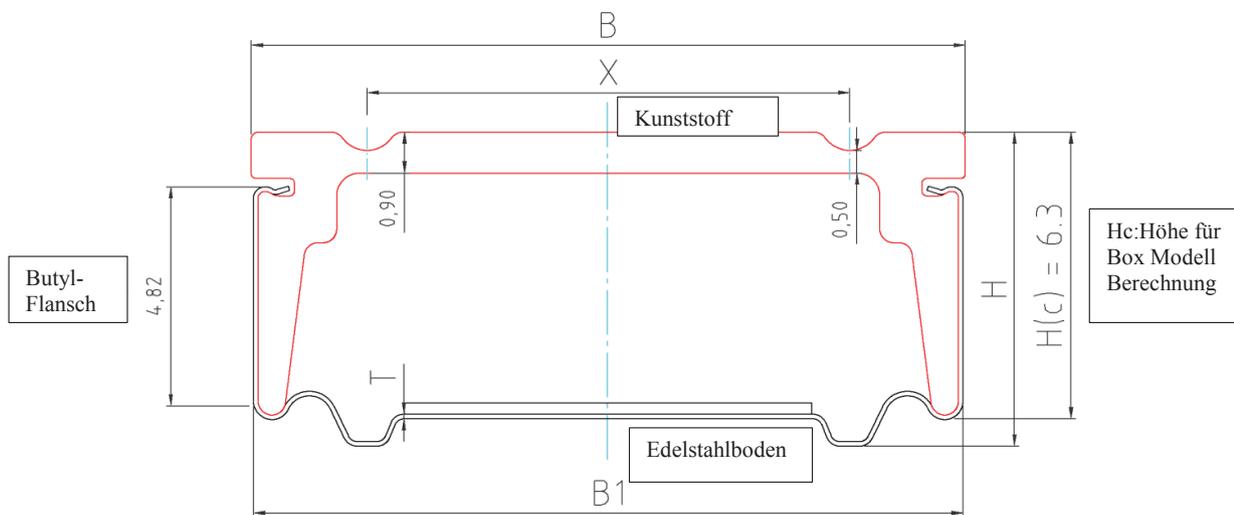


Abb. 64 Auszug aus Datenblatt für Chromatech Ultra, Angaben Datenblatt CHromatech Ultra (2014)

Anschaffungspreis, eine Optimierungsmöglichkeit mit konventionellen Edelstahl-Abstandhaltern für weitere Betrachtungen nicht uninteressant. In dieser Arbeit werden die thermischen Resultate der Glasabstandhalter betrachtet, wo der Warm Edge Hybrid gute Werte erzielt. In den Darstellungen 62-63 sind die Ergebnisse der thermischen Analysen eingefügt, welche auf der Grundlage des Chromatech Ultra modelliert werden. Die Angaben des Warm Edge Hybrid werden von der dänischen Herstellerfirma Rolltech A/S übernommen und im thermischen Simulationsprogramm angewendet. Die Darstellung 64 auf der vorgehenden Seite gibt Aufschluss über die Bestandteile und den Aufbau des thermisch optimierten Abstandhalters. In der unteren Abbildung 65 ist das Datenblatt des Herstellers ersichtlich, dass neben wichtigen Daten, auch in Punkt 2.1 die Wärmeleitfähigkeit des Warm Edge Hybrid angegeben ist. In den Resultaten der Simulationen ergab sich im Vergleich kein Unterschied in der genauen Modellierung des Abstandhalters und der Definition einer Box mit der Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=0,17\text{W/mK}$ .

1.3	2.2	<b>Länge und Geradlinigkeit</b> Normallänge ist 6,000 mm +/- 10 mm. Geradlinigkeit Abweichung 15 mm/m.	Stahlmaßstab Visuell
1.4	2.7	<b>Ungewünschte Löcher</b> Der Abstandhalter ist dicht, als der Rückseite ein zusammenhängendes Stück des Materials ist. Kunststoff und Stahl sind zusammen mit einem Polyurethan-Hotmelt verklebt.	Prozessvalidierung
1.5	2.6	<b>Lochung. Siehe Kommentare unten</b> ** Mit Luftstrom gemessen.	Flowmeßgerät
2.0 Material der Abstandhalter			
2.1		<b>Material</b> Stahlmaterial benutzt ist gemäß DIN EN 10 088 Typ 1.472 (AISI 201). Die thermische Wärmeleitung $\lambda_s = 15 \text{ W/mK}$ bei 20 °C. Speziell entwickelter Kunststoff PC $\lambda_p = 0.17 \text{ W/mK}$ in fester Form. Dieser Wert wird für Berechnungen verwendet werden.	<i>Dokumentiert bei Lieferanten</i>
2.2	2.5	<b>Oberfläche</b> Die Oberfläche ist rein und wird mit keinen Chemikalien behandelt. Das Aussehen ist matt. RAL Farben 9004, 7035, 7040, 8016 und 8003.	Visueller Test & Haftungstest
2.3		<b>Toleranz des Materials</b> Die Dicke der Materialstärke ist 0,10 mm.	Mikrometer
2.4		<b>Schmierung</b> Während der Formung des Abstandhalters ist Schmierung verwendet. Die Schmierung wird verdampfen und wird die Oberfläche fast ohne Flüchtigkeiten hinterlassen.	Haftungstest
2.5	2.8	<b>Flüchtigkeiten</b> Flüchtigkeiten sind gemäß EN 1279-6 Annex G. getestet. Verhältnismäßig zum Gewicht des Abstandhalters ist der Inhalt der Flüchtigkeiten höchstens 0.05%.	Waageverlusttest $M_v \leq 0,05\% \text{ rel.}$

Abb. 65 Auszug aus Datenblatt für Chromatech Ultra, Angaben Datenblatt CHromatech Ultra (2014)

### 5.3.9 Zusammenfassende Erkenntnisse über die Optimierungsmöglichkeiten

Durch die getätigten Analysen der Holz-Glas-Verbundkonstruktion lassen sich folgende Ansätze für die Themenbereiche für Optimierungen finden:

#### *Ausführungsvariante des ITI mit einer L-förmigen Koppelleiste*

- Die erste Möglichkeit der Optimierung liegt in der Anwendung eines Warm-Edge-Hybrids, um den Wärmestrom in genau dieser Bauteilebene zu verlängern
- Weiters ist eine Anwendung der Optimierung durch eine geometrische Überdeckung des Birkenfurnieres möglich. Im folgenden Kapitel wird beschrieben, wie und in welchem Ausmaß eine solche Überdeckung stattfinden muss.

#### *Ausführungsvariante des ITI mit einer L-förmigen Koppelleiste*

- Für diese Bauart ist lediglich eine Optimierung in der Anwendbarkeit konventioneller Glasabstandhalter laut den Ergebnissen andenkbar, da durch den Einsatz des speziellen Glasabstandhalters ausreichend gute Werte erzielt werden können. Es bleibt die wirtschaftliche Überlegung, eine Anwendung mit konventionellen Abstandhaltern, wie beispielsweise aus Edelstahl, für diese Konstruktionsform zu finden.

#### *Anreiz der Erkenntnisse in der Umsetzung für die HGV-Konstruktion „Ljubljana“.*

- Die Ergebnisse für die zuletzt betrachteten Untersuchungen und der folgenden Optimierungsansätze, lassen sich auch an diesem Projekt im Zusammenhang der Holz-Glas-Verbundkonstruktion anwenden. Eine nähere Betrachtung der Konstruktion schließt jedoch die Möglichkeit der Überdeckung aus rein optischen Gründen aus, wie später dargestellt wird.

#### *Anmerkung:*

*Die Analyse und die hierfür ausgewerteten Ergebnisse sind erst nach der Auseinandersetzung der Konstruktionsformen der TU Wien und der Firma Petschenig Glastec GmbH ab Seite 110 dokumentiert.*



## 6. Optimierungen unter dem Einsatz konventioneller Glasabstandhalter

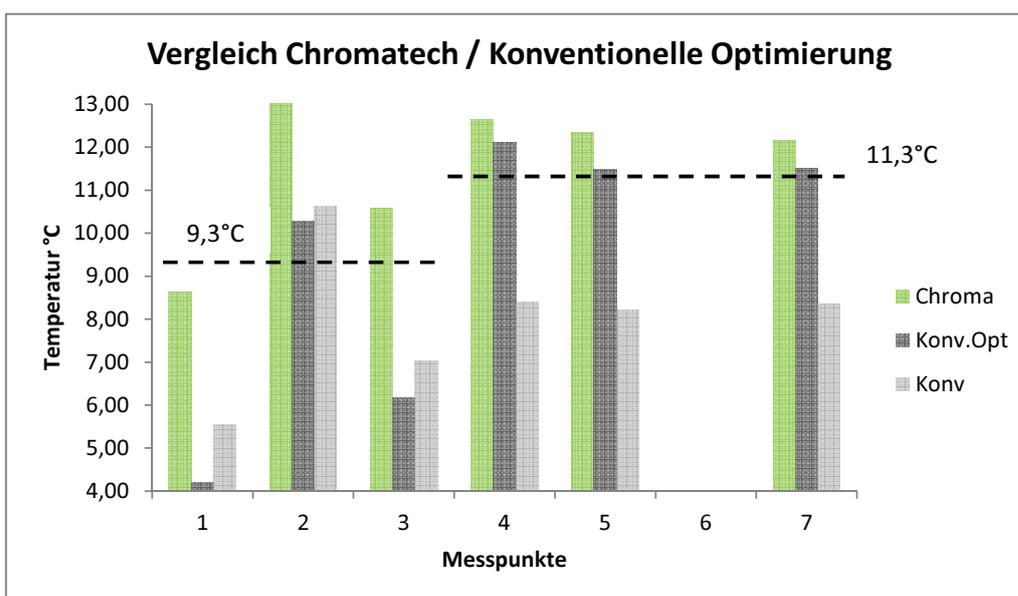
### 6.1 Vorgehensweise und Methodik

Die zuvor getätigten Untersuchungen dienten der ersten Auseinandersetzung der beiden thermischen Simulationsprogramme und der Eingabe der Konstruktionen, wie auch deren zugehörigen Materialien. Die Optimierungsansätze wurden aus den gewonnenen Ergebnissen herangezogen und die Konstruktion auf die neuen Verbesserungsvorschläge in den Programmen umgewandelt.

### 6.2 Vorschau auf die Optimierbarkeit

Das Diagramm 12 bietet eine Vorschau auf Möglichkeit der Optimierung mit der Anwendung konventioneller Abstandhalter aus Edelstahl. In der Grafik sind die Messwerte der Konstruktion mit dem Chromatech Ultra mit den Werten der optimierten, konventionellen Ausführung aus Edelstahl direkt zu vergleichen. Zu Informationszwecken ist auch die Anwendung der rein konventionellen Edelstahl-Abstandhalter abgebildet, um auch diese Messergebnisse im Vergleich gegenüberstellen zu können. Die Datensätze von 1-3 geben Auskunft über die Werte der BKF-Leiste im Hohlraum und in der Verbindung zum Abdichtungsband, wie auch über den Anschlusspunkt des Thermalbonds. Die Messpunkte 4 und 5 weisen auf die innere Oberfläche am kurzen, wie auch am langen Element der Koppelleiste hin. Die letzten Werte an der Stelle 7 zeichnen die Resultate, bezogen auf die kleinste innere Oberflächentemperatur der Konstruktion auf.

Auf den folgenden Seiten wird beschrieben, wie die Ansätze umgesetzt wurden, um positive Werte zu simulieren, ohne auf einen Warm-Edge-Hybrid zurückgreifen zu müssen. Die Möglichkeit soll eine weitere und etwas preiswertere Option in der Anwendung der Holz-Glas-Verbundkonstruktionen darstellen, die ebenfalls den Normungen entsprechen soll.



Diag. 12 Vergleich mit Chromatech Ultra oder Optimierung konv. Abstandhalter (V2A)

### 6.3 Veranschaulichung der Schwachstelle bei konventionellen Abstandhaltern

Anhand der unteren Abbildung 67 ist für beide Ausführungsvarianten der Vergleich der Wärmestromlinien ersichtlich, womit verdeutlicht wird, wo der größte Energiefluss in der Konstruktion stattfindet. Die Einstellung der Dichte und der Linienstärke veranschaulicht die Schwachstelle, welche durch die Anwendung konventioneller Glasabstandhalter entsteht. Die erhöhte Wärmeleitfähigkeit des Edelstahl (15 W/mK) weist auch einen stärkeren Einfluss auf die 2K-Silikonverdichtung aus, mit welcher der Glasabstandhalter abgedichtet wird. Zudem ist bei der Ausführung des ITI darauf zu achten, dass die winkelförmige Koppelleiste hier den Kältefluss im Anschlussbereich des Pfostens erleichtert, wobei die kleinste Oberflächentemperatur am Innenfalz von Glas und Verklebung verbleibt.

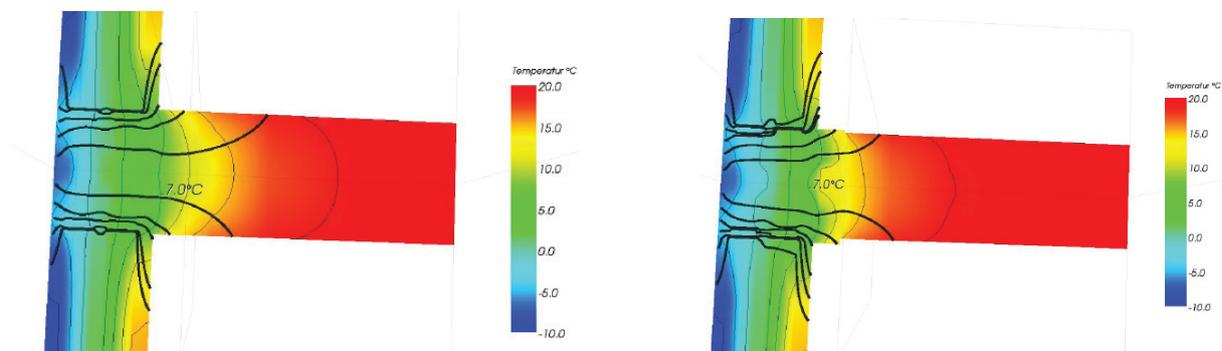


Abb. 67 Darstellung der Wärmestromlinien, links ITI, rechts Petschenig

In den weiteren Optimierungsansätzen wurde darauf geachtet, dass der Energiefluss in dieser Form unterbunden wird, welcher vereinfacht in den unteren Konstruktionszeichnungen weiters verdeutlicht wird. Die geradlinige, geometrische Anordnung der Glasabstandhalter mit dem Birkenfurnier verhindert die Anwendung konventioneller Glasabstandhalter, wodurch hier die Optimierungsansätze angelegt wurden. Die Konstruktionen des ITI und der Firma Petschenig wurden soweit adaptiert, dass die in den unteren Abbildungen 68 rot dargestellte Linie nicht durch die gesamte Konstruktion entlang der Glasabstandhalter und des Birkenfurnieres gelegt werden kann. Auf der folgenden Seite werden die beiden Schritte der ersten Überlegung zur geometrischen Optimierung für konventionelle Glasabstandhalter näher erläutert:

- Den Glasabstandhalter näher an den Fassadenraster rücken
- Eine Überdeckung des Birkenfurnieres ermöglichen

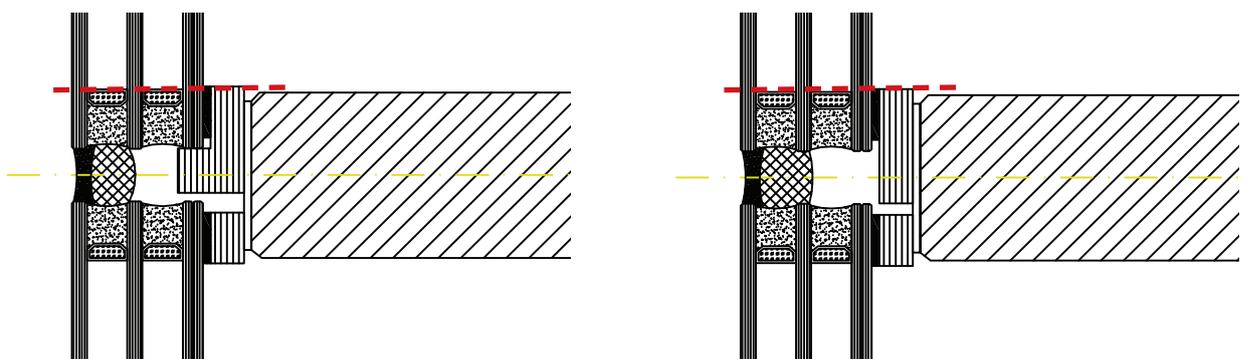


Abb. 68 Problemstelle bei konventionellen Glasabstandhalter (ITI & Petschenig)

### 6.3.1 Ansatz der Lösung durch Versetzen des Glasabstandhalters

Erste logische Konsequenz im Ansatz war die Durchbrechung der Geometrie durch die Versetzung des Glasabstandhalters. Die Schichtdicke der Verdichtung an dieser Stelle des zweikomponentigen IG 25 HM plus beträgt 15mm. Anfänglich wurde der Ansatz eingebracht, diese Dicke um die Hälfte, welche 7mm beträgt, zu reduzieren und somit eine bessere thermische Trennung zu erreichen, bevor man beginnt, das Birkenfurniersperrholz in die Raumseite zu erweitern.

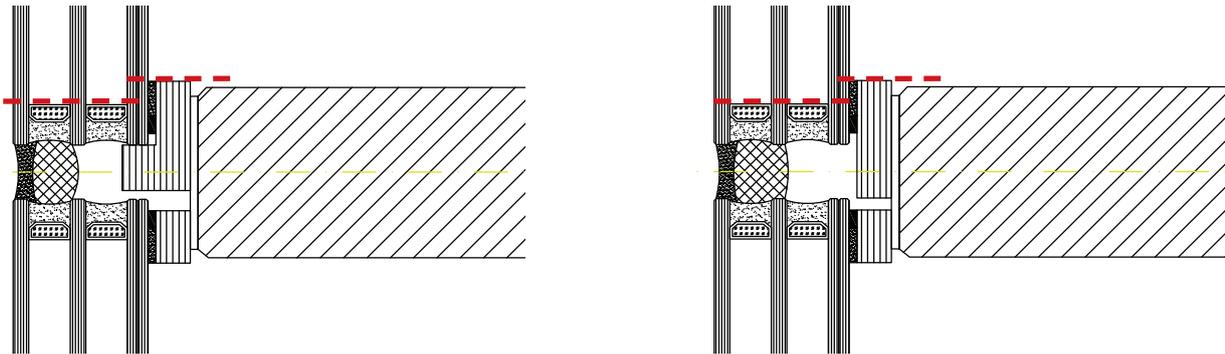


Abb. 70 Ansätze mit Versetzung der Glasabstandhalter (ITi & Petschenig)

Diese Versetzung des Glasabstandhalters um 7mm bringt wie zu erwarten nicht die Gesamtlösung des Problems, jedoch können die Temperaturen an der Verklebung, wie auch an der Verglasung um  $\Delta T = 1,75\text{-}2,45^\circ\text{K}$  erhöht werden. Der Temperaturfaktor, der ebenfalls bessere Werte erreichen konnte, betrug nun für die Konstruktion des ITi 0,64 und für die Ausführung der Firma Petschenig 0,65. Es wurde somit nachgewiesen, dass dies aus thermischer Sicht eine anfängliche Verbesserung für die Ausführung mit konventionellen Glasabstandhaltern bringt.

Jedoch wurde selbst durch diese Verbesserung ersichtlich, dass eine Überdeckung durch das Birkenfurnierholzes notwendig ist, um eine kondensatfreie und schimmelpilzfreie Ausführung laut normgemäßer Betrachtung zu ermöglichen. Die Absprache mit der Firma Petschenig ergab allerdings, dass eine Reduzierung dieser Dichtung und somit die Verschiebung des Abstandhalters, aus statischen Gründen nicht möglich sei. Somit sind die 15mm der Rückendeckung erforderlich.

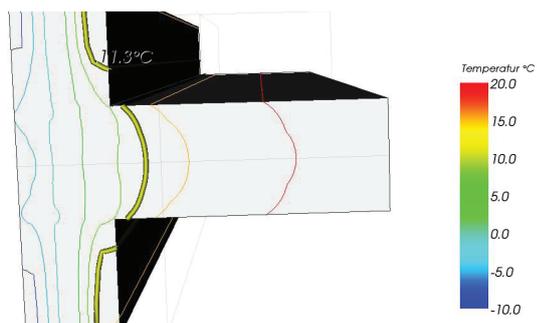


Abb. 71 Optimierung Abstandhalter ITi  
11,3°C Rot - 0°C Blau

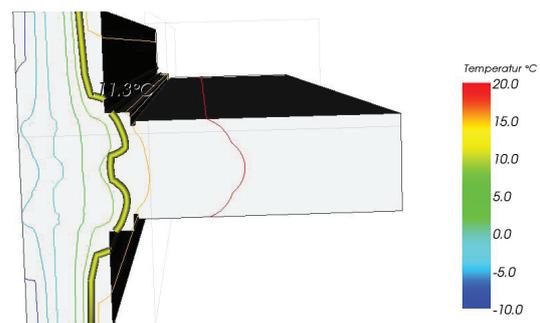


Abb. 72 Optimierung Abstandhalter Petschenig  
11,3°C Gelb

6.3.2 Ansatz der Lösung durch Überdeckung des Birkenfurniers

In weiterer Folge wurde angedacht, die zuvor auf Seite 45 beschriebene, lineare Geometrie der Glasabstandhalter und des Birkenfurnieres mit einer Überdeckung des Birkenfurnieres zu bewerkstelligen. Diese Untersuchungen treffen vor allem dort zu, wo eine Reduzierung der Deckung des Dichtungsmaterialies nicht möglich ist. Diese Änderung der Konstruktion wird ebenfalls die Geometrie an dieser Stelle zu Gunsten des thermischen Verhaltens ändern.

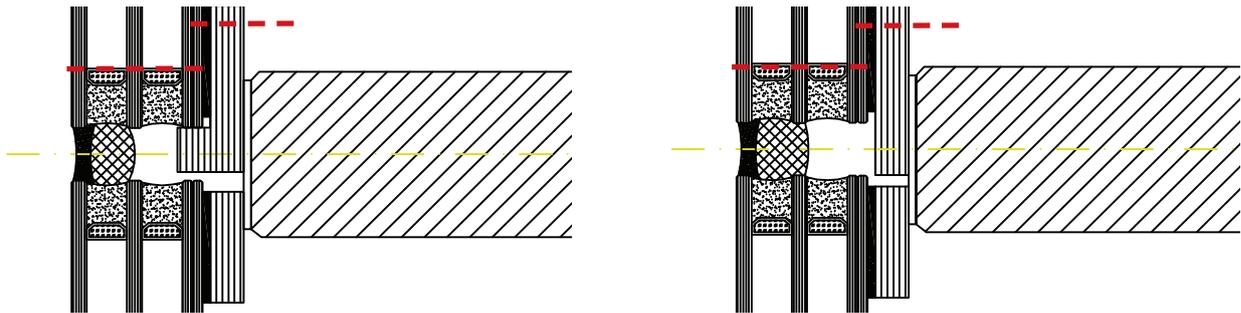
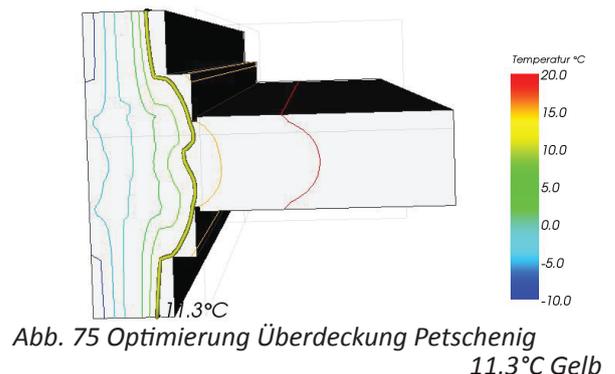
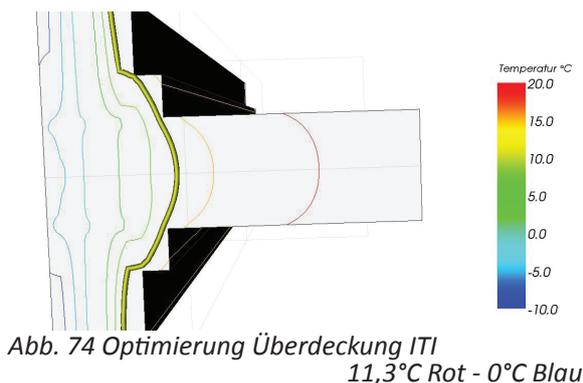


Abb. 73 Ansätze mit der Überdeckung des Birkenfurniersperrholzes (ITI & Petschenig)

Eine Überdeckung des Birkenfurnieres an den gewählten Konstruktionen von 24 mm, bringt die gewünschte Verbesserung, um einen Temperaturfaktor von 0,71 zu erreichen und somit die normgemäßen Bedingungen von Kondensatvermeidung und Senkung der Schimmelpilzgefahr zu erfüllen. Wie in den unteren Abbildungen dargestellt wird, ergibt sich eine Verlängerung der Isothermen. Diese sind dünn eingezeichnet und ein anderes Muster der Wärmestromlinien überlagert sie, wie es auf den vorigen Seiten 45 und 46 ersichtlich ist. Durch die Anwendung dieser Überdeckung ist es aus rein konstruktiver Sicht möglich, die Bedingungen mit einer kleinsten inneren Oberflächentemperatur von 11,35 °C im Bereich der Innenfalz von der Verklebung und der inneren Glasscheibe zu erfüllen.

Die Überdeckung ist für beide Varianten der Birkenfurnierleisten umsetzbar und erfordert keine Konstruktionsänderungen im Inneren des Rahmens. Anzumerken ist jedoch ein Unterschied der thermischen Ergebnisse, da die Temperatur der winkelförmigen Koppelleiste weiter in in den kühlen Hohlraum eindringt und somit kältere Temperaturen an der Leiste erwartet werden.



### 6.3.3 Überdeckung des Glasabstandhalters der Konstruktion ITI - verzahnte L-Koppelleiste

Die thermischen Simulationen, die durch WinIso und Antherm erstellt wurden, lieferten nicht die gleichen, aber nahe aneinander liegende Ergebnisse. Wie im Kapitel 4.3 beschrieben, wurde für eine genaue Temperaturermittlung in WinIso eine kleine Fläche („Zelle“), nahe des Glasfalzes erstellt.

In den unteren Darstellungen 76-79 ist der grafische Vergleich der beiden Simulationsprogramme abgebildet. Das grafische Resultat von WinIso 2D zeigt einen Einbruch der 11,3°C-Isotherme für den Nachweis der winkelförmig verzahnten Koppelleiste unter der Verwendung des Chromatech Ultra. Der Einfall der Linie tritt, von der Geometrie aus betrachtet, im Inneren der L-förmigen Koppelleiste auf, die in den Hohlraum dringt. WinIso deutet somit auf eine geringe thermische Verbesserung, die Antherm laut den geltenden Berechnungen nicht darstellt. Die Kurve der Isotherme verläuft homogen in die Konstruktion, was auf eine gleichmäßige Temperaturentwicklung deutet. Antherm stellt den Scheitelpunkt der Isotherme 64,4mm von der Außenkante entfernt fest, während WinIso diesen bei 61,5mm festhält. Somit besagt der Vergleich, dass Antherm eine kältere Rahmenkonstruktion kalkuliert, als dies bei den Berechnungen von WinIso der Fall ist.

Bei den Überdeckungen gleichen sich die grafischen Darstellungen nahezu, mit dem Unterschied, dass sich auch hier der Scheitelpunkt der Isothermenkurve von 11,3°C unterscheidet. WinIso setzt den Scheitelpunkt der Isothermenlinie auf 71,2mm, während Antherm wieder eine kältere Rahmenmitte durch einen Scheitelpunkt von 79,3mm aufweist.

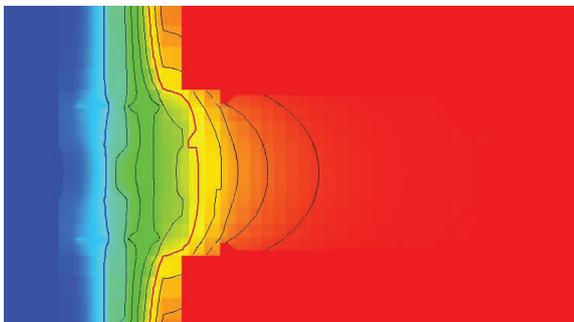


Abb. 76 WinIso - Temperatur ohne Chromatech U.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

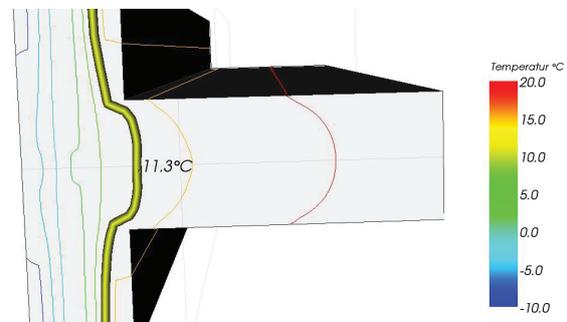


Abb. 77 Antherm - Temperatur ohne Chromatech U.  
11,3°C Gelb

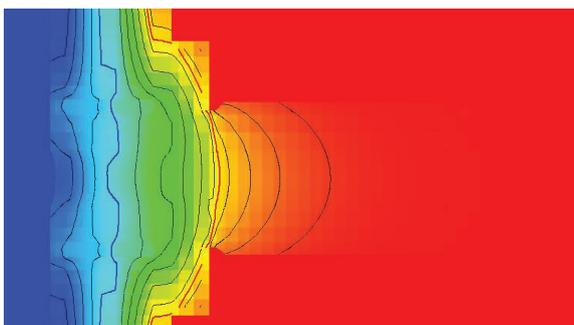


Abb. 78 WinIso - Optimierung mit Überdeckung  
11,3°C Rot - 0°C Blau

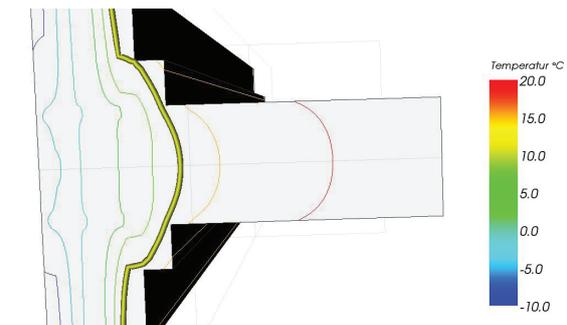


Abb. 79 Antherm - Temperatur mit Überdeckung  
11,3°C Gelb

6.3.4 Kleinste innere Oberflächentemperatur ( $t_{min,i}$ ) und Temperaturfaktor ( $f_{Rsi}$ )

Mit zunehmender Überdeckung wird gewährleistet, dass der laut Norm ÖN B 8110-2 ausgewiesene Temperaturfaktor näherungsweise erreicht wird, um die hier geltenden Bedingungen zu erfüllen. Tabelle 13 zeigt deutlich die Beziehung der dargestellten Elemente, wie der kleinsten inneren Oberflächentemperatur  $t_{min,i}$ , des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  und der aufnehmbaren Feuchtigkeit an der Oberfläche im Innenraum. Die schrittweise Annäherung wurde gewählt, um ein Verständnis des Verhaltens der Ergebnisse auf Basis der Simulation zu entwickeln.

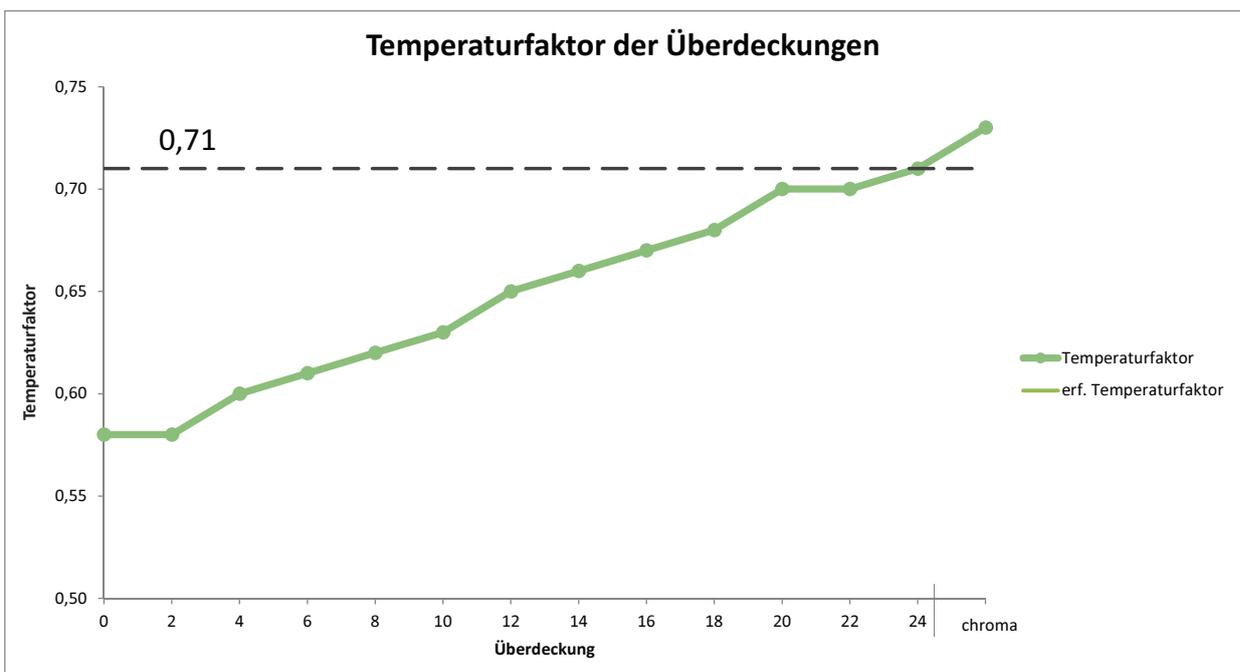
Überdeckung [mm]	0	2	4	6	8	10	12
$f_{Rsi}$	= 0,58	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,65
$t_{min,i}$	= 7,48	7,48	7,94	8,28	8,64	9,01	9,38
rel. Feuchte i	= 44,28	44,27	45,68	46,76	47,93	49,14	50,38

Überdeckung [mm]	14	16	18	20	22	24	chroma
$f_{Rsi}$	= 0,66	0,67	0,68	0,70	0,70	0,71	0,73
$t_{min,i}$	= 9,73	10,07	10,39	10,97	10,80	11,40	11,86
rel. Feuchte i	51,58	52,76	53,90	56,05	55,40	57,64	60,00

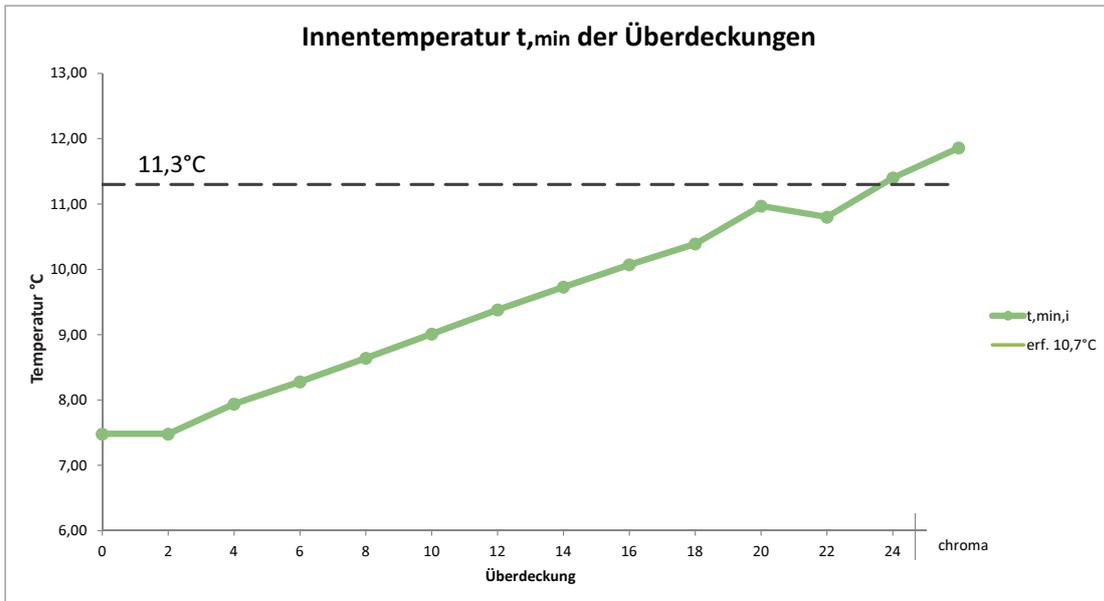
Tab. 13 Ergebnisse der thermischen Simulationen zur Überdeckung (ITI)

Werte und Diagramm zeigen einen Einsatz der thermischen Wirkung erst mit einer Überdeckung von mind. 2 mm. Die stärkste Auswirkung der Überdeckung entsteht beim Sprung von 2 auf 4mm und wiederum zwischen 10 und 12 mm. Von Interesse ist das Abflachen der Kurve, das ab einer Überdeckung von 20 mm einsetzt. Hier verläuft die thermische Wirkung durch weitere Überdeckungen flacher. Aussagekräftig bleibt erhalten, dass mit einer Überdeckung von 24mm die erforderlichen Kriterien zu erfüllen sind.



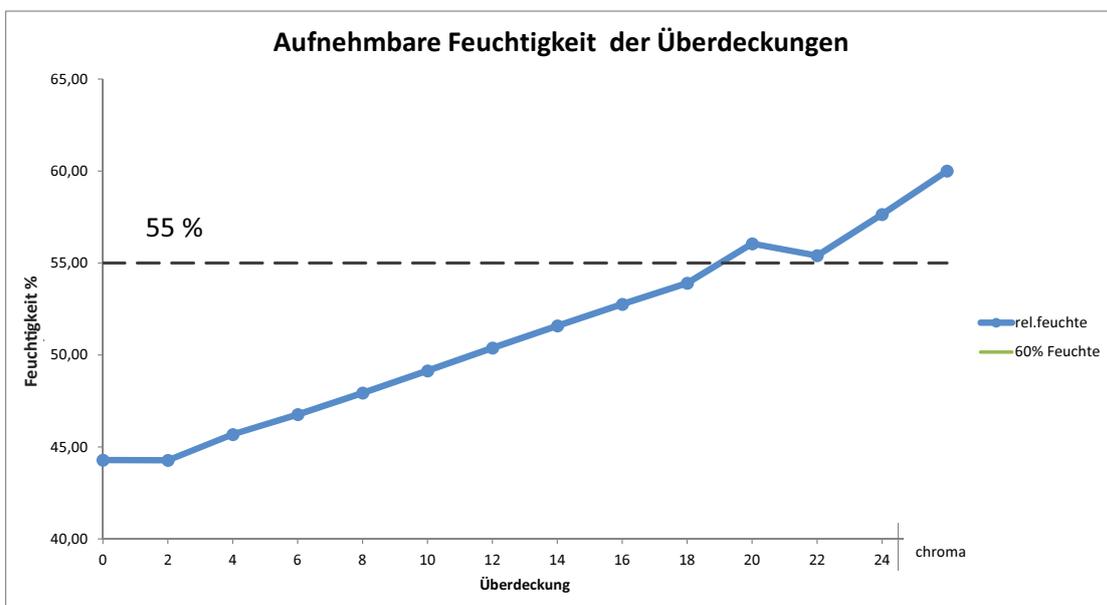
Diag. 14 Vergleich der Überdeckungen anhand des Temperaturfaktors

Die Betrachtung der Temperatur bringt im Vergleich größeren Aufschluss, da hier im Vergleich mit dem Temperaturfaktor nicht von einer Rundung in der Formel auszugehen ist, sondern die simulierte Temperatur direkt ausgewiesen wird. Vergleichend mit dem Temperaturfaktor stimmt ein anfänglich langsam wirkendes thermisches Verhalten der Temperatur überein, das sich hier konstant bis zur Überdeckung von 18-20 mm gleichmäßig linear verhält. Nach einem Abschwächen der Kurve an dieser Stelle beginnt diese wieder mit zunehmender Überdeckung des Birkenfurnieres zu steigen.



Diag. 15 Vergleich der Überdeckungen anhand der kleinsten Innentemperatur

Gleichbedeutend mit der Entwicklung der inneren Oberflächentemperatur ist auch die Entwicklung der maximal aufzunehmenden Feuchtigkeit, die an diesem Punkt aufgenommen werden kann. Während die kalte Oberfläche mit 0mm Überdeckung bei 44,3% Feuchtigkeit an ihre Grenzen kommt, ist es mit der Überdeckung von 24mm möglich, die erforderlichen 55% für eine Kondensatbildung überschreiten zu können. ( Bei  $\theta_e = 0^\circ\text{C}$ , dann 65% und bei  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$ , dann 55% max Feuchtigkeit)



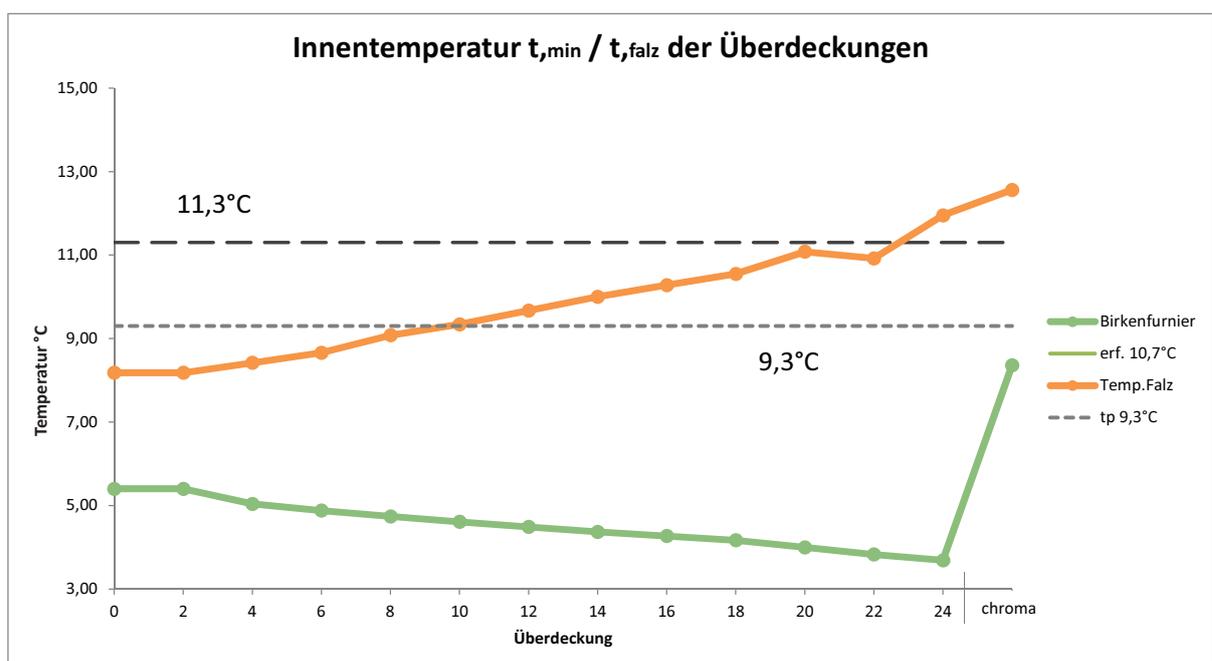
Diag. 16 Vergleich der Überdeckungen anhand der aufnehmbaren Feuchtigkeit

6.3.5 Temperatureinflüsse im Bereich des Falzes, im Vergleich zu Hohlraum-Birkenfurnier

Selbst wenn die Wirkung der kleinsten inneren Oberflächentemperatur mit einer Überdeckung von 24mm erreicht werden kann, darf der Einfluss der Auswirkung auf den Hohlraum im Rahmen der Konstruktion nicht vergessen werden. Im unteren Diagramm ist der Einfluss der Überdeckungen auf den Hohlraum zwischen der Wärmedämmung und dem Birkenfurnier der Konstruktion, im Vergleich zu der inneren Oberflächentemperatur ersichtlich. Eine zunehmende Überdeckung erschwert nicht nur den Wärmetransport des warmen Innenraums über die Konstruktion, sondern erschwert zugleich auch, dass diese Wärme durch das Birkenfurniersperrholz an den Hohlraum gelangt. Vergleichsweise bietet eine Überdeckung von 4mm in den Innenraum noch eine Temperaturdifferenz der beiden Vergleichstemperaturen von  $\Delta T = 3,31 \text{ °K}$ , während bei einer Überdeckung von 18mm eine Differenz von  $\Delta T = 6,49 \text{ °K}$  zu verzeichnen ist. Der Einwand, dass eine höhere Temperatur auf Grund des Abstandshalters mit einer Ausführung in Edelstahl mit einer Leitfähigkeit von  $15 \text{ W/mK}$  erreicht werden müsste, ist hier nicht zutreffend, da eine zunehmende Überdeckung des Birkenfurnieres mit einer deutlich geringeren Wärmeleitfähigkeit von  $0,155 \text{ W/m}$  diese deutlich verringert. Es muss damit gerechnet werden, dass es zwangsweise zu einer Kondensation im Hohlraum an der Stelle des Birkenfurnieres kommen wird. Im Pfosten wird dieses senkrecht nach unten hinweg abrinnen und im Riegelbereich muss ein Gefälle mittels PVC-Hart-Schale eingerichtet werden, damit dieses an den Knotenpunkten der Fassade im Pfosten abrinnen kann. Näheres in der Optimierung der Eckpunkte.

Überdeckung [mm]	0	2	4	6	8	10	12
Temperaturdifferenz des Hohlraumes und des Falzes der Konstruktion [°K]	2,56	2,57	3,31	3,79	4,27	4,75	5,22
	14	16	18	20	22	24	chroma
	5,67	6,09	6,49	7,20	7,18	7,66	3,89

Tab. 17 Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen Falz und Hohlraum (ITI)



Tab. 18 Vergleich der Überdeckungen anhand der kleinsten inneren Oberflächentemperatur

### 6.3.6 Überdeckung des Glasabstandhalters an der Konstruktion Petschenig Glastec GmbH

Auch bei der Betrachtung der einfach verzahnten Koppelleiste verweisen die beiden Programme bis auf einer Ausnahme, auf nahezu die gleichen Resultate. Für genauere Ergebnisse in der Ausweisung der Falztemperaturen wird für WinIso ebenso die Betrachtung kleinerer Zellen in diesem Bereich herangezogen.

Die Abbildungen 80-83 der Programmgegenüberstellung zeigen die grafischen Ergebnisse anhand der Ausweisung der Isothermen-Kurven für 11,3°C. Für die Analyse der Holz-Glas-Verbundkonstruktion mit der Anwendung des Chromatech Ultra, werden für die einfach verzahnte Koppelleiste unterschiedliche Kurvendarstellungen errechnet. Selbst ohne Simulation des Nagels wird die homogene Darstellung stärker durchbrochen, als dies bei der winkelförmigen Koppelleiste der Fall ist. So verweist WinIso auf einen Scheitelpunkt bei 61,7 mm, gemessen von der Außenkante. Antherm setzt den eigentlichen Scheitelpunkt auf 52,0 mm und verweist auf den kältesten Punkt in der Konstruktion bei 60,4 mm.

Die Überdeckung des Birkenfurniersperrholzes erfüllt auch bei der einfach verzahnten Koppelleiste ihren vermuteten Zweck. Beide Simulationen ergeben eine positive und normgemäße Ausführungsmöglichkeit mit einer Überdeckung von  $\Delta L = 24\text{mm}$ . Wie in den bisherigen Gegenüberstellungen der Isothermen ist auch eine höhere Temperierung anhand von WinIso ausgewiesen. Ein Scheitelpunkt der 11,3°C Isotherme und die kälteste Stelle für diese Kurve im Rahmen befindet sich 71,2 mm innerhalb der Konstruktion, von der Außenkante der Glasscheibe gemessen. Antherm

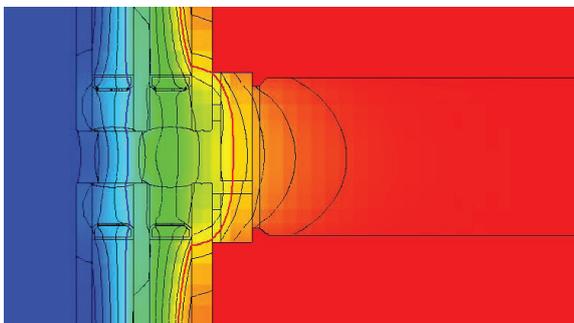


Abb. 80 Winiso - Temperatur mit Chromatech U.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

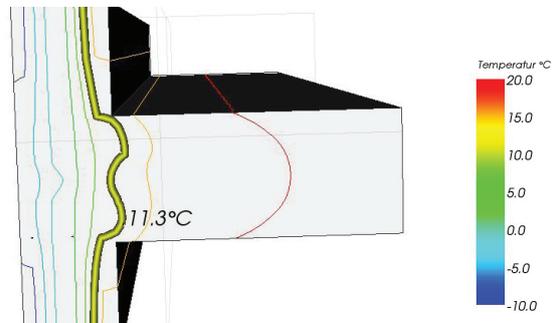


Abb. 81 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.  
11,3°C Gelb

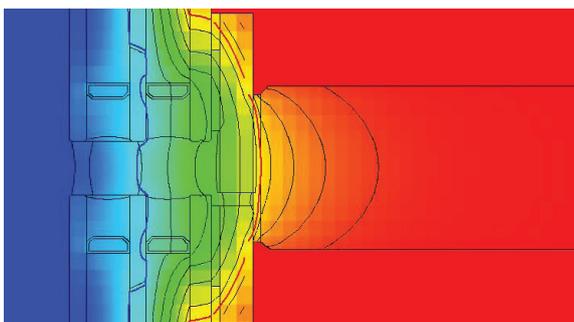


Abb. 82 Winiso - Temperatur mit Überdeckung  
11,3°C Rot - 0°C Blau

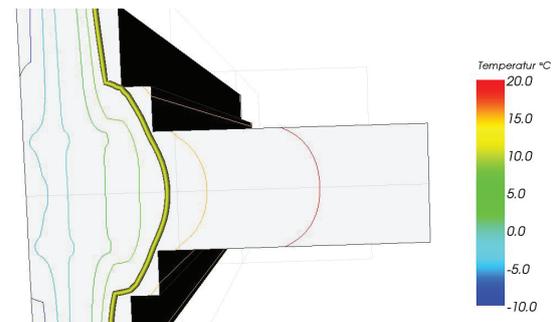


Abb. 83 Antherm - Temperatur mit Überdeckung  
11,3°C Gelb

6.3.7 Kleinste innere Oberflächentemperatur ( $t_{min,i}$ ) und Temperaturfaktor ( $f_{Rsi}$ )

Mit zunehmender Überdeckung wird gewährleistet, dass der laut Norm ÖN B 8110-2 ausgewiesene Temperaturfaktor näherungsweise erreicht wird, um die hier geltenden Bedingungen zu erfüllen. Tabelle 19 zeigt deutlich die Beziehung der dargestellten Elemente, wie der kleinsten inneren Oberflächentemperatur  $t_{min,i}$ , des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  und der aufnehmbaren Feuchtigkeit, an der Oberfläche im Innenraum. Die schrittweise Annäherung wurde gewählt, um ein Verständnis des Verhaltens der Ergebnisse auf Basis der Simulation zu entwickeln.

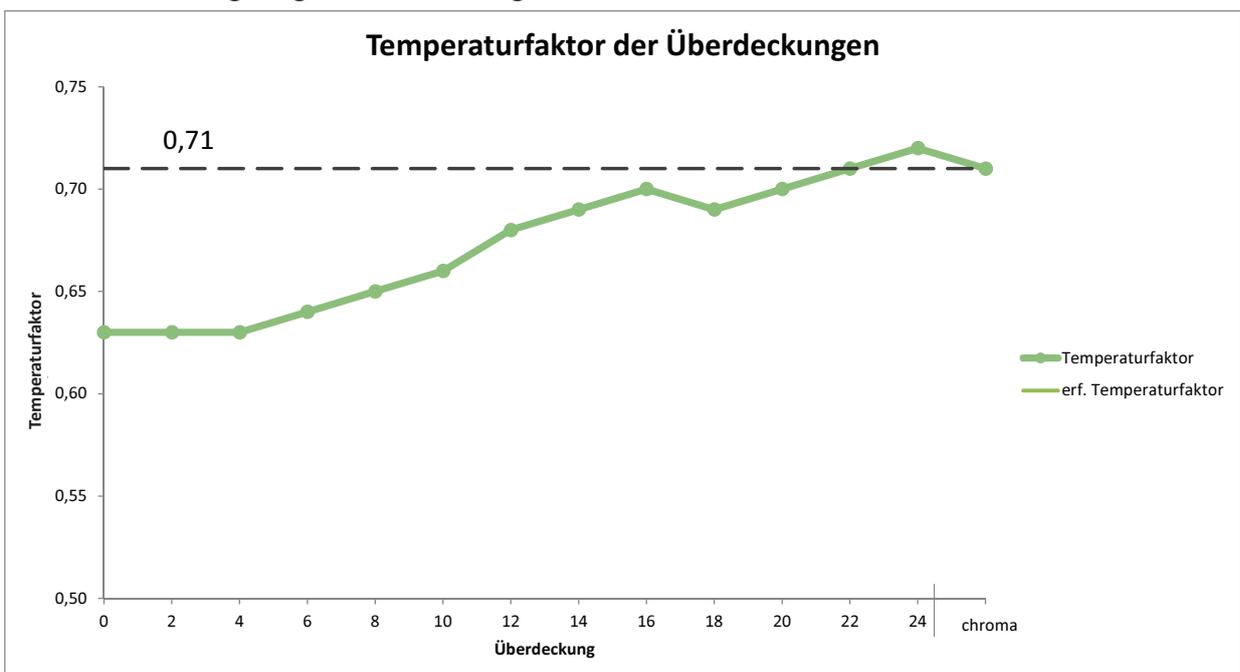
Überdeckung [mm]	0	2	4	6	8	10	12
$f_{Rsi}$	= 0,63	0,63	0,63	0,64	0,65	0,66	0,68
$t_{min,i}$	= 8,95	8,49	8,76	9,24	9,60	9,94	10,26
rel. Feuchte i	= 48,94	47,42	48,29	49,91	51,13	52,30	53,44

Überdeckung [mm]	14	16	18	20	22	24	chroma
$f_{Rsi}$	= 0,69	0,70	0,69	0,70	0,71	0,72	0,71
$t_{min,i}$	= 10,57	10,86	10,67	10,96	11,24	11,50	11,34
rel. Feuchte i	54,54	55,60	54,91	56,00	57,04	58,85	57,43

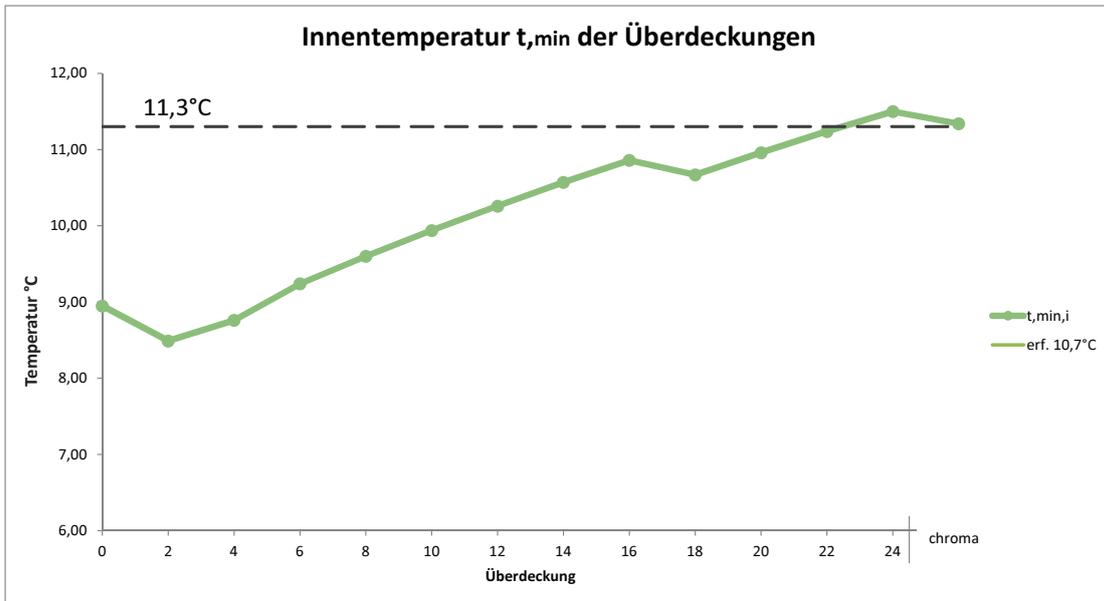
Tab. 19 Ergebnisse der thermischen Simulationen zur Überdeckung (Petschenig)

Das Diagramm 20 zeigt eine Anfangsträgheit der Konstruktion in der Reaktion auf die Überdeckung. Erst ab einer Längenerweiterung von  $\Delta L=5\text{mm}$  tritt hier eine Verbesserung in der Konstruktion ein, welche ab einer Überdeckungslänge von  $\Delta L=11\text{mm}$  noch stärker ausfällt. In den Simulationen wurde der Wert der Überdeckung bei 18mm mehrmals überprüft und das Ergebnis eines Einbruches in der Wirkung wurde immer wieder bestätigt. Dennoch ist eine frühzeitigere positive Auswertung bei einer Überdeckungslänge von 22mm möglich.



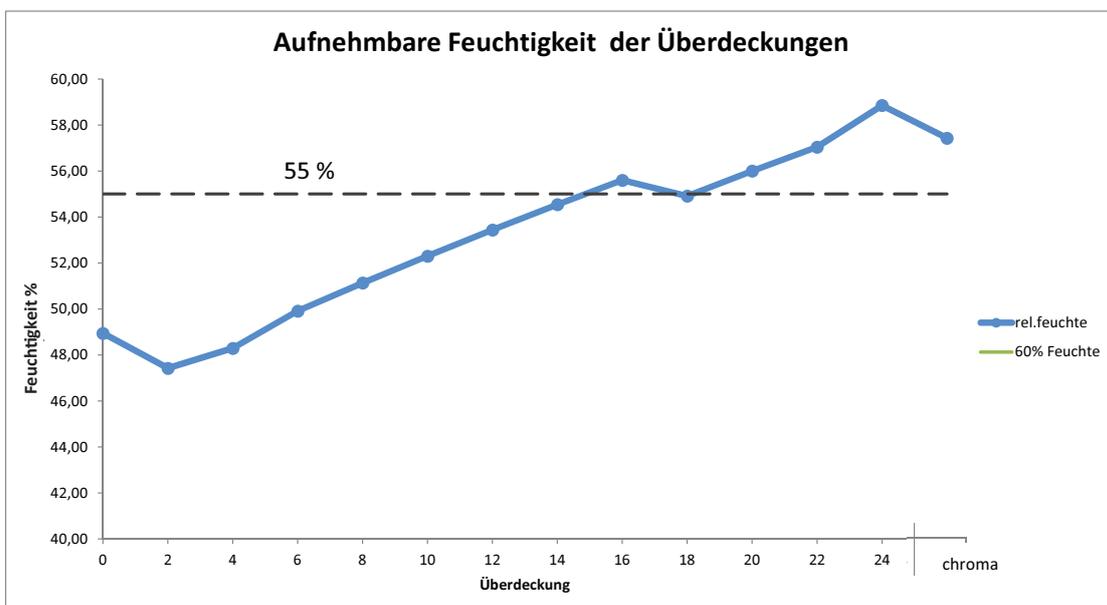
Diag. 20 Vergleich der Überdeckungen anhand des Temperaturfaktors

Die zuvor beschriebene Trägheit des Temperaturfaktors ist auf eine kleinere Temperatur der 2mm-Überdeckung zurückzuführen, der mit der ersten Überdeckung eintritt. Der anfänglich kurze Temperatureinbruch kommt durch die Umsetzung der Überdeckung zustande, die sich erst auf die stärkere Wärmeüberleitung über den Glasabstandhalter einstellen muss. Die negative Temperaturdifferenz zwischen 16mm bis hin zur 20mm Überdeckung ist jedoch noch unbegründet.



Diag. 21 Vergleich der Überdeckungen anhand der inneren Oberflächentemperatur

Gleichbedeutend mit der Entwicklung der inneren Oberflächentemperatur ist auch die Entwicklung der maximal aufzunehmenden Feuchtigkeit, die an diesem Punkt aufgenommen werden kann. Während die kalte Oberfläche mit 0mm Überdeckung bei 44,3% Feuchtigkeit an ihre Grenzen kommt, ist es mit der Überdeckung möglich, die erforderlichen 55% für eine Kondensatbildung überschreiten zu können. ( Bei  $\theta_e = 0^\circ\text{C}$ , dann 65% und bei  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$ , dann 55% max Feuchtigkeit)



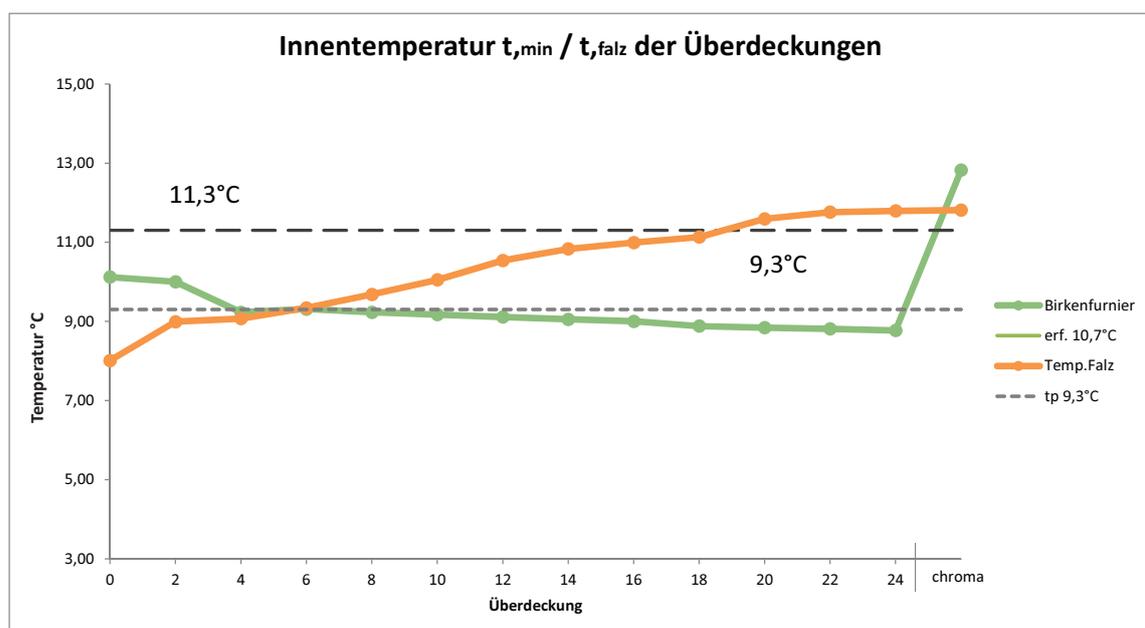
Diag. 22 Vergleich der Überdeckungen anhand der aufnehmbaren Feuchtigkeit

6.3.8 Temperatureinflüsse im Bereich des Falzes, im Vergleich zum Hohlraum-Birkenfurnier

Wie in der Ausführung der Überdeckung der winkelförmigen Koppelleiste, ist auch hier mit zunehmender Überdeckung der Isolationsgrad höher, wodurch bei zunehmender innerer Oberflächentemperatur auch hier eine Abnahme der Birkenfurniertemperatur im Hohlraum zu verzeichnen ist. Der Unterschied zur Ausführung des ITI, ist eine generell höher messbare Temperierung an der Oberfläche des Birkenfurniers an dieser Stelle. Auffallend ist das Erreichen der Taupunkttemperatur von  $T = 9,3\text{ °C}$  des Holzes, was einen direkten Kondensatanfall am Holz selbst ausschließen würde. In dieser Betrachtung würde der Kondensatanfall erst an der Dämmung oder am 2-K Silikon der Glasdichtungen im Hohlraum anfallen und das Holz bliebe verschont. Erst ab einer Längsstreckung in den Innenraum des Birkenfurniersperrholzes mit  $\Delta L = 4\text{ mm}$  ist erstmals mit raschem Abfall der Kurve eine Kondensatmöglichkeit nachzuweisen. Bis zum Erreichen der inneren Oberflächentemperatur fällt die Temperaturkurve unterhalb die Taupunkttemperatur, was eine Kondensatbildung an der Oberfläche des Birkenfurniers nicht mehr vermeiden lässt. Erst durch die Anwendung des Chromatech Ultra mit der besseren Isolierbarkeit in der Verglasung werden wieder höhere Werte im Hohlraum an dieser Stelle erreicht, weil die Temperatur in diesem Luftraum durch einen thermisch schlechteren Abstandshalter nicht mehr heruntergekühlt wird.

Überdeckung [mm]	0	2	4	6	8	10	12
Temperaturdifferenz des Hohlraumes und des Falzes der Konstruktion [°K]	-1,17	-1,51	-0,47	-0,07	0,37	0,77	1,15
	14	16	18	20	22	24	chroma
	1,52	1,86	1,79	2,12	2,43	2,73	-1,48

Tab. 23 Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen Falz und Hohlraum (Petschenig)



Diag. 24 Vergleich der Überdeckungen anhand der kleinsten inneren Oberflächentemperatur

## 7 Vergleich der Überdeckungen anhand beider Konstruktionen

Die thermischen Simulationen, welche durch WinIso und Antherm erstellt wurden, lieferten nicht die gleichen, aber nahe aneinander liegende Resultate. Wie im Kapitel 4.3 beschrieben, wurde für eine genaue Temperaturermittlung in WinIso eine kleine Fläche („Zelle“), nahe des Glasfalzes erstellt. Die Erkenntnisse aus den thermisch simulierten Verhalten der Konstruktionen weist auch im Falle der Überdeckung eine Streckung der Isotherme in das Innere des ITI-Bauteils. Dieser Verzug der Isotherme ist wie bei den vorigen Ermittlungen auf die L-förmige Koppelleiste zurückzuführen, welche auch hier Einflüsse auf die Optimierung zeigt. Weiters lässt die Isotherme eine Leitung der kälteren Luft durch die L-förmige Koppelleiste erkennen, die sich durch die stärkere Krümmung an der Innenfalz an dieser Stelle erkennen lässt. Dieser Schluss ist in Abb. 85 an der oberen Falz zu

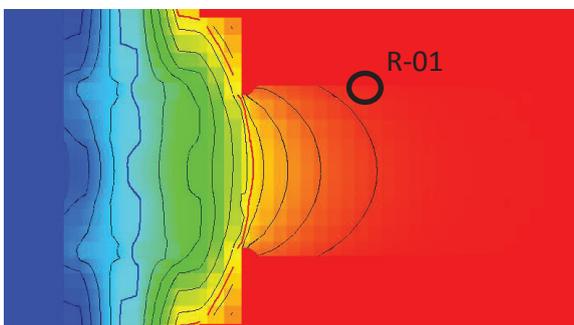


Abb. 84 WinIso - Temperatur mit Überdeckung  
ITI 11,3°C Rot - 0°C Blau

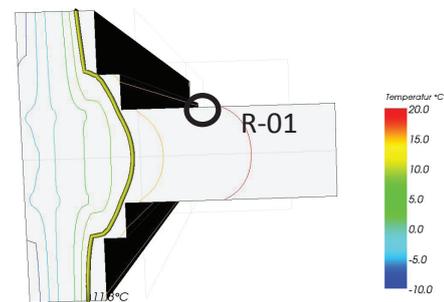


Abb. 85 Antherm - Temperatur mit Überdeckung  
ITI 11,3°C Gelb

sehen. Vergleichend hierzu bietet die Darstellung der einfach verzahnten Koppelleiste in Abb 85, den Schluss, dass hier eine stärkere Leitung über das kurze Element des Birkenfurniersperrholzes stattfindet. In den Ermittlungen von Antherm ist ein Unterschied im Hohlraum der Konstruktion zu erkennen, welcher durch die verschiedene Fugenausbildung zwischen den Einsatzmodulen der beiden Birkenfurniere erklärt werden kann. Jene Luft, die sich zwischen der einfach verzahnten BKF-Leiste bildet, deutet eine weitere bessere Wärmeleitung in den Hohlraum an, wobei eine Kondensatgefahr direkt am Birkenfurniersperrholz besser abgewandt werden kann. WinIso hingegen weist auf keine Veränderung auf Grund der Ausbildung des Hohlraumes hin, sondern simuliert die Isotherme in die Konstruktion, wie auch an der Konstruktion des ITI. Die Isotherme der 0°C-Kurve ist in Antherm (türkis), wie auch in der Simulation von WinIso (blau) ident in der Ausführung. Ein letzter Unterschied lässt sich nur in der 20°C-Kurve finden, die in Antherm weiter in die Raumseite des Riegels gelegt wird, was auf eine kältere Temperierung deutet. Bestätigt wird dies mit einem  $\Delta T = 0,45 \text{ °K}$  am Messpunkt R-01.

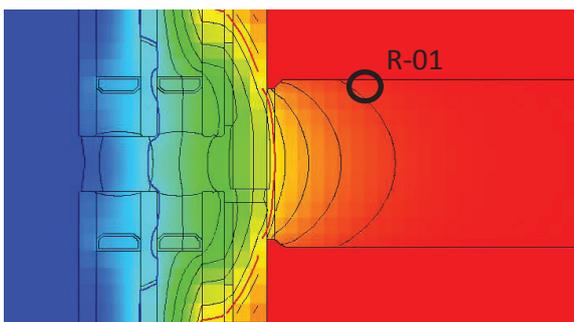


Abb. 86 WinIso - Temperatur mit Überdeckung  
Petschenig 11,3°C Rot - 0°C Blau

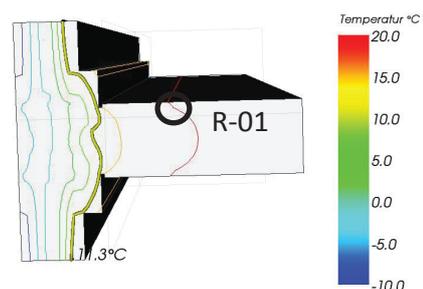
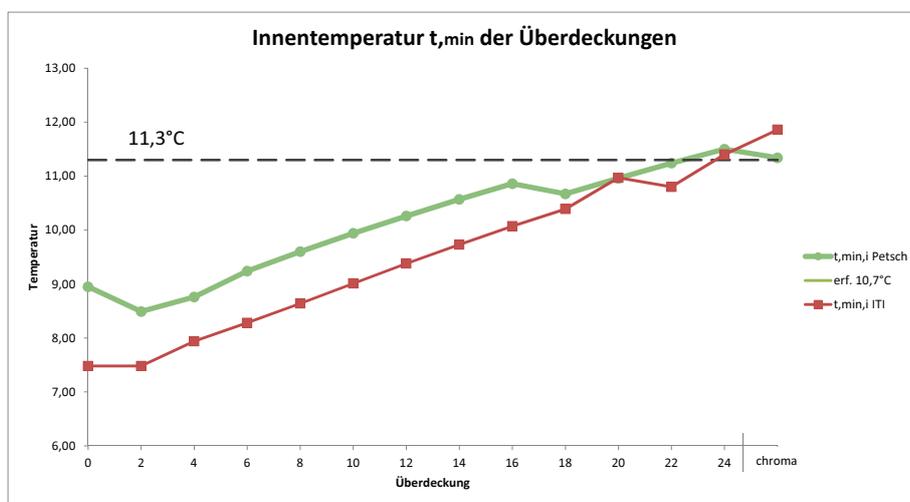


Abb. 87 Antherm - Temperatur mit Überdeckung  
Petschenig 11,3°C Gelb

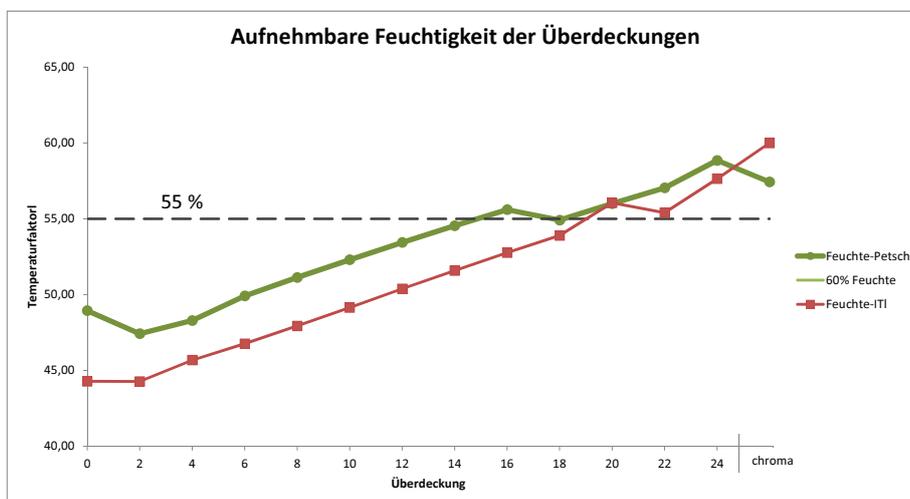
### 7.1 Vergleich der Überdeckungen anhand der thermischen Resultate

Der Abgleich der Datensätze ergibt für die kleinsten Oberflächentemperaturen für die einfach verzahnte Koppelleiste bessere Werte, was auf die Gestaltung der Koppelleiste und den damit größeren Luftraum zurückzuführen ist. Mit der Zunahme der Überdeckung an beiden Konstruktionen, vermindert sich der Temperaturunterschied und die inneren Oberflächentemperaturen der beiden Bauweisen nähern sich im Vergleich deutlich an. Bei einer Überdeckung von 20mm, sowie ab 24mm sind keine wesentlichen Unterscheidungen und Temperaturdifferenzen festzusetzen, da die Länge des Birkenfurnieres zum Hohlraum keine entscheidende Bedeutung mehr darstellt. Einzig durch den besseren Glasabstandhalter mit der besseren Abschottung des Hohlraumes ist für die Konstruktion des ITI eine höhere Temperatur im Falzbereich des Glases und der Verklebung zu erreichen. Angelehnt



Diag. 25 Vergleich  $t_{min,i}$  der L-förmig verzahnten Koppelleiste und einfach verzahnten Leiste

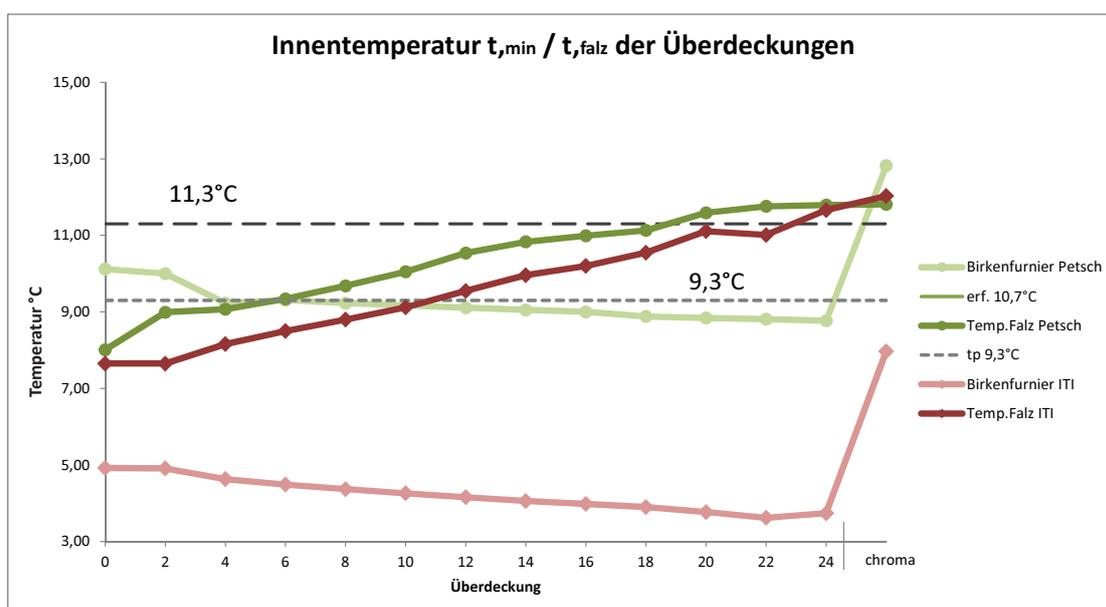
an den inneren Oberflächentemperaturen, wird die Grenzfeuchtigkeit ausgewiesen, die maximal von den Konstruktionen des ITI und der Firma Petschenig erreicht werden kann. Abgesehen von der Schimmelpilzgefahr ist eine Vermeidung von dauerhaftem Kondensat bei einer Außentemperatur von  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  schon ab einer Überdeckung von 16mm bei der Konstruktionsweise Petschenigs und ab einer Länge der Deckung von 19mm in der Bauweise des Institutes ITI zu gewährleisten.



Diag. 26 Feuchte der L-förmig verzahnte Koppelleiste und der einfach verzahnten Koppelleiste

Technisch erfüllen die Bauweisen ab diesem Punkt die Forderungen der Kondensatvermeidung, wobei eine Auseinandersetzung im Vergleich der Hohlräume heranzuziehen ist. Die Daten der inneren Oberflächentemperaturen, wie auch jene der Hohlraumtemperaturen im Bereich des Birkenfurniersperrholzes, werden für die Konstruktion Petschenigs und des Institutes in dem unteren Diagramm 27 zusammen abgebildet.

Die Auswirkung der L-förmigen Koppelleiste ist hier in der Gegenüberstellung zu der einfach verzahnten Koppelleiste der Firma Petschenig zu beachten. Die innere Oberflächentemperatur entlang der Falz verzeichnet am Beispiel der einfach verzahnten Koppelleiste ein rascheres anfängliches Ansprechvermögen auf die Überdeckung, als die Variante der winkelförmigen Koppelleiste. Der Grund für die anfängliche Trägheit auf die Überdeckung ist mit der Winkelleiste zu beschreiben, wodurch der Energiefluss durch das Holz mit der Wärmeleitfähigkeit eine weitere Strecke zurücklegen muss. Die Temperaturdifferenz der Konstruktion des ITI (rot) und der Firma Petschenig (grün) im Falzbereich beträgt anfangs  $\Delta T = -1,06 \text{ °K}$ , die sich bei der Längenüberdeckung des Birkenfurnieres bei 4mm mit  $\Delta T = -0,47$  halbiert und annähernd linear verläuft. Erst ab der Länge der Birkenfurnierüberdeckung von 16mm nähern sich die beiden Linien stärker an, bis sie sich, mit der Ausnahme des 22mm-Punktes, an dem sie sich wieder kurzzeitig distanzieren, ab 24mm Überdeckungslänge treffen. Die Temperatur an der Oberfläche des Birkenfurnieres, welche für den Vergleich der Kondensatanfälligkeit des Holzes herangezogen wird, weist schlechtere Ergebnisse für die L-förmige Koppelleiste auf. Im direkten Vergleich ist eine stetige Divergenz der Temperaturen von  $\Delta T = -4,9 \text{ °K}$  nachzuweisen. Dies ist auf die gleiche Begründung, wie bei der Trägheit der unterschiedlichen Falztemperaturen, auf die längere Wegstrecke durch das Birkenfurniersperrholz zurückzuführen. Die Oberfläche des Birkenfurnieres liegt bei der Ausführung mit der Winkelleiste um 13mm weiter im Hohlraum und somit weiter in den kälteren Bereichen des Rahmens. Weder die Konstruktion Petschenigs, noch diejenige des ITI-Institutes, weist für die notwendige Überdeckung von 24mm keine Überschreitung des Taupunktes von  $T=9,3 \text{ °C}$ . Somit ist bei beiden Varianten nachweislich bei der Optimierung durch konventionelle Glasabstandhalter ein Gefälle in der Riegelkonstruktion vorzusehen. Weiters wird eine Montage

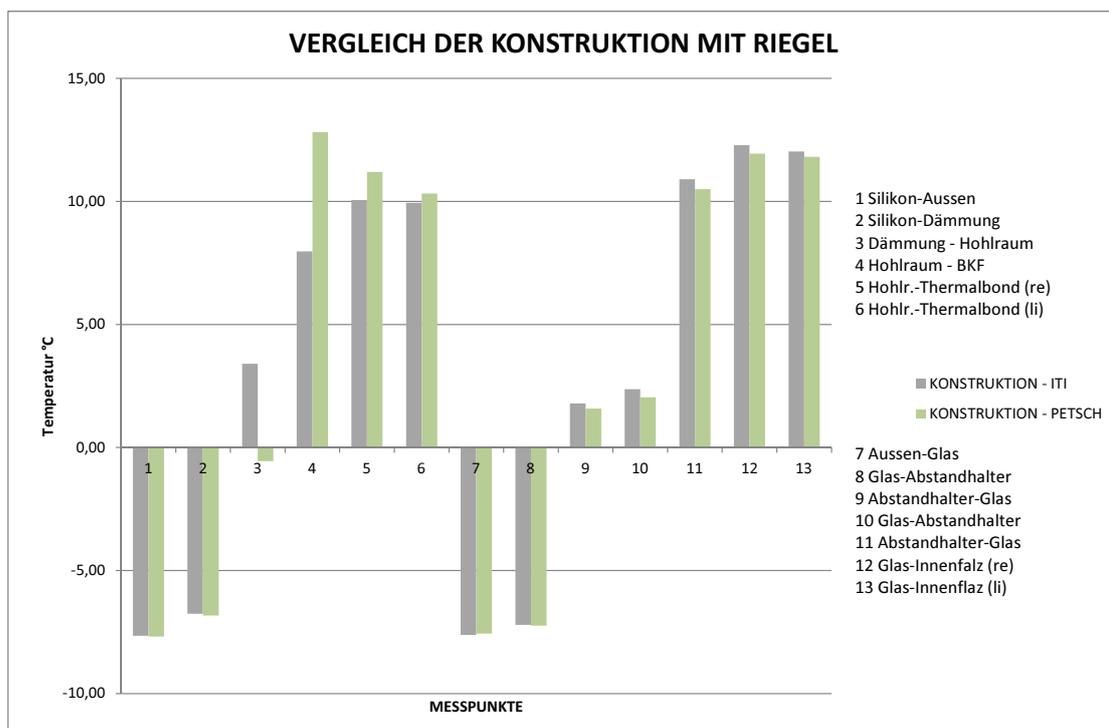


Diag. 27 Vergleich der Oberflächentemperaturen und Hohlraumtemperaturen der Koppelleisten

eines Neoprenbandes empfohlen, das als saugender Baustoff ein bedingt auftretendes Kondensat aufnimmt und an die Luft im Hohlraum weitertransportiert. Hierdurch wird gewährleistet, dass das Holz nicht im direkten Kontakt mit dem Kondensat steht, was vor allem für den horizontalen Riegel von Belang wäre. Nähere Erläuterungen für diesen Punkt sind im Kapitel 11 nachzulesen.

## 7.2 Vergleichende Temperaturen

Das letzte Diagramm 28 im Vergleich der beiden Konstruktionsweisen zeigt die Stärken der L-förmig verzahnten, wie auch der einfach verzahnten Koppelleiste. Die Stärken der Winkelform liegen in der besseren Isolierung der inneren Oberflächentemperaturen, was die Messpunkte 4-6 bestätigen. Hingegen ist bei der einfach verzahnten Ausführung der Koppelleiste eine bessere Wärmeeinleitung in den Hohlraum gegeben, wodurch hier die Temperaturen am Holz gesteigert werden können. Die Messwerte der äußeren Schichten, des Silikons und der Dämmung im Rahmen und jene der äußeren Verglasung sind in den Varianten nahezu identisch.



Tab.28 Vergleich der Messtemperaturen beider Varianten der Koppelleisten

## 8 Einflüsse und Auswirkung der Überdeckung des Birkenfurniers

Die laut Norm ÖN B 8110-2 geltenden Bedingungen seitens des Temperaturfaktors können unter der Anwendung herkömmlicher Glasabstandhalter nur durch die thermische Optimierung des Birkenfurniersperrholzes erreicht werden. Die Überdeckung von 24mm wirkt sich auf mehrere Bereiche aus, die hier angesprochen, gegenübergestellt und auf deren Entscheidungseinfluss berücksichtigt werden. In erster Linie bedeutet die Überdeckung einen gewissen Mehraufwand an Material und den damit verbundenen Kosten für die Baustoffe. Weiters sind eventuelle Konstruktionsaufwände nicht auszuschließen, selbst wenn es sich nur um eine Erweiterung des Birkenfurnieres handelt. Aus ästhetischen Gründen und dem sozialen Wunsch nach Ausblick, wird weiters der Einfluss der Minderung der Ansichtsfläche abgehandelt, wie auch den damit verbundenen Einfluss des Lichteinfall für Sommer und Winter.

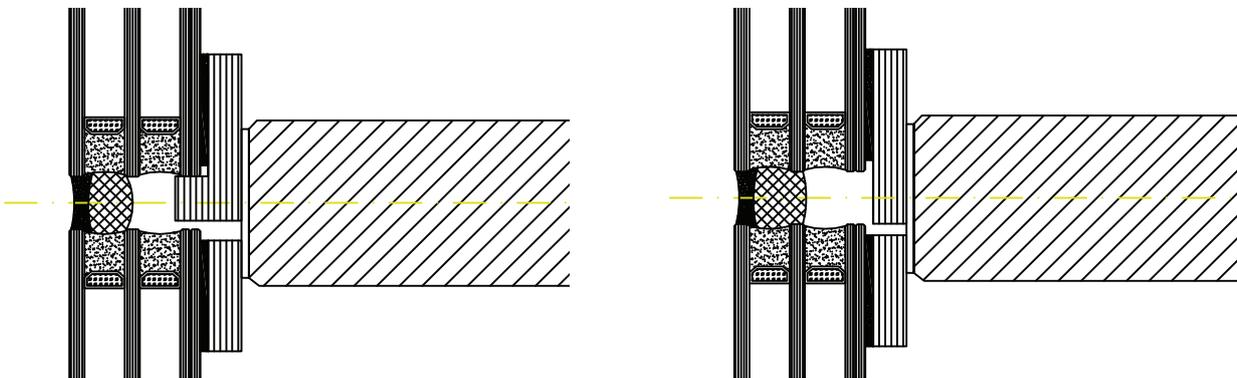


Abb. 88 Ansätze der Überdeckung des Birkenfurniersperrholzes beider Koppelleisten

### 8.1 Entstehender Mehrbedarf an Material

Die untere Tabelle 29 zeigt den erforderlichen Mehraufwand, den die Überdeckung in ihrem Mindestmaß für die Erfüllung der thermischen Bedingungen der Untersuchung bei  $\theta_e = -15^\circ\text{C}$  und  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  zu erfüllen hat. Die Angaben der Tabelle richten sich nach den umlaufenden Werten einer Moduleinheit und sind mit den gewünschten Preiswerten pro Maßeinheit aufzustellen. Nur grob geschätzt würde sich ein Mehraufwand in 85 - 110 € pro Moduleinheit mit vergleichbaren Maßangaben von 1400x3000 mm auf diese Varianten niederschlagen.

Materialaufstellung - HGV - Mehraufwand					
24 mm Überdeckung (Umlaufend)			Angaben für 1 Moduleinheit		
Bestandteil	lfm	[m]	Bestandteil	A	[m <sup>2</sup> ]
BKF-Leiste	8,43	[m]	BKF-Leiste	0,20	[m <sup>2</sup> ]
Thermal-Bond	8,93	[m]	Thermal-Bond	0,21	[m <sup>2</sup> ]
Silikon-Verkl.	0,21	[m]	Silikon-Verkl.	0,00	[m <sup>2</sup> ]

Tab. 29 Darstellung des zu erwartenden Mehraufwandes der Optimierungen

## 8.2 Änderungen an der Konstruktion

Auf Grund des Mehraufwandes des Birkenfunriersperrholzes ist auch eine Änderung der Verschraubungen an die Tragstruktur nicht zu vernachlässigen. Die 24mm der BKF-Leiste werden lediglich in den Innenraum, bei gleichbleibender Konstruktionsausführung verlängert. Somit bleiben der wesentliche Aufbau und die bisherigen Konstruktionsansätze für die weiteren Analysen erhalten und vergleichbar. In der unteren Abbildung ist die Erweiterung eingetragen, welche für die Anwendung von Edelstahlabstandhaltern notwendig ist. Mit dieser Verbreiterung ist auch mit einer Gewichtsaufnahme zu rechnen, welche sich jedoch so gering bemisst, so dass im weiteren Verlauf keine Auswirkung auf die Art der Schraubenwahl oder die Anzahl der Schraubverbindungen erscheinen. Mit der bereits ermittelten Flächenermittlung der Leiste, multipliziert mit der Dicke von 13mm (0,013m), ergibt sich ein Volumen von  $0,0026\text{m}^3$ . Laut den Angaben der Bemessungstabelle von Thomas Krapfenbauer (2006/07), ist für geleimtes Holz ein Wert von  $6,0\text{ kN/m}^3$  anzunehmen. Wird dies auf das Volumen der BKF-Leiste angewendet ( $0,0026 \times 6,0$ ), so ist mit einem Gewicht von  $0,015\text{kN}$  auszugehen, was sich geläufiger auf  $1,5\text{ kg}$  bemisst. Bei diesem zusätzlichen Gewicht ist nicht von einer deutlichen Gewichtszunahme der Konstruktion zu rechnen, warum weiters mit den ermittelten Verschraubungen und der Anzahl der Schrauben analysiert wird.

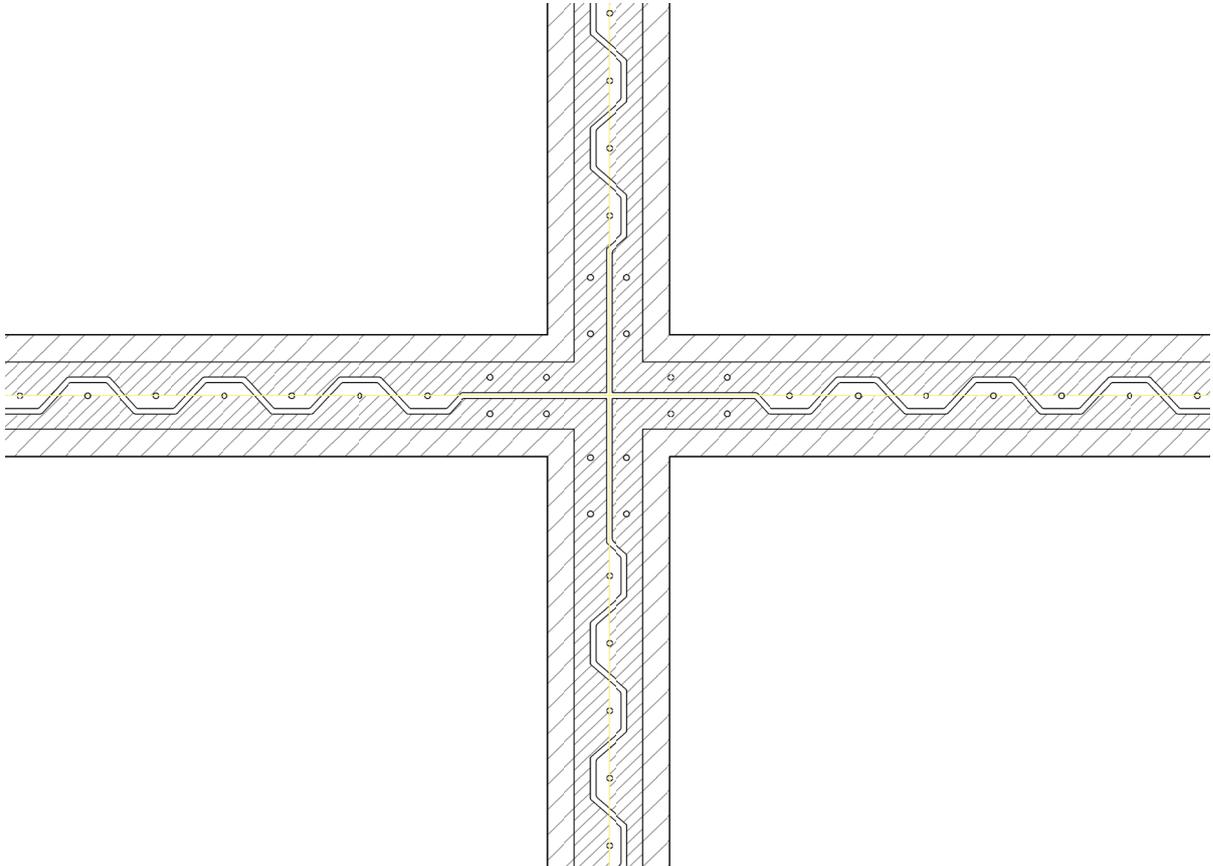


Abb. 89 Eckgestaltung mit der ermittelten Optimierung +24mm BKF-Leiste

### 8.3 Änderungen an den Flächenverteilungen - Ausblick

Der entscheidende Punkt im Hinblick auf das Bedürfnis der Aussicht ist die mit der Überdeckung verbundene Verkleinerung der Glasfläche. Der umlaufende Falz wird um jede Begrenzung um 24mm in den Glasraum verzogen. Die untere Tabelle und Abbildung stellen die Auswirkungen, welche durch diese Verminderung entstehen würde, auf. Die Differenz der Aussichtsfläche für eine Moduleinheit mit den Abmessungen 1400x3000 mm (1,4x3,0m) beträgt  $\Delta A=0,2m^2$  für jedes Einzelmodul. Für eine exemplarische Anordnung von 3 horizontalen und 2 vertikalen Modulelementen, ergibt dies eine gesamte Reduktion von  $\Delta A=1,2m^2$ . Dieses Ergebnis kann auch für eine Anordnung von 6 horizontal liegenden Modulen angewandt werden. Ausgehend von der geforderten Mindestbelichtungsfläche von 10% können mit dieser Anordnung ohne Überdeckung 232,80m<sup>2</sup> Grundrissfläche belichtet werden. Im Vergleich hierzu würde das Ergebnis bei der Überdeckung des Birkenfurnieres von 24mm eine mögliche Fläche von 220,80m<sup>2</sup> ergeben. Der Verlust, der hier auftritt, beschränkt sich auf 12,80m<sup>2</sup>, was sich auf eine Belichtungsfläche pro Moduleinheit von 2,14m<sup>2</sup> bemisst. Für den Einsatz kleinerer Raumordnungen und Raumfunktionen ist jeder Anteil an Quadratmetern entscheidend und somit auch das hiermit ausgewiesene Ergebnis. Da die großflächigen Glasfassaden in größeren Raumkombinationen oder in größeren Raumordnungen eingesetzt werden, herrscht meist eine Opulenz an Lichtangebot. Aus diesen Gründen sei der optische, ästhetische Eindruck stärker zu gewichten als der technische Ansatz, der von dieser Kalkulation ausgeht.

Flächenaufstellung - HGV - Glasfläche							
Ohne Überdeckung			24mm Überdeckung				
Ansichtsfläche	=	3,88	[m]	Ansichtsfläche	=	3,68	[m]

Tab. 30 Flächenaufstellung der Ansichtsfläche des Glases vor und nach der Überdeckung

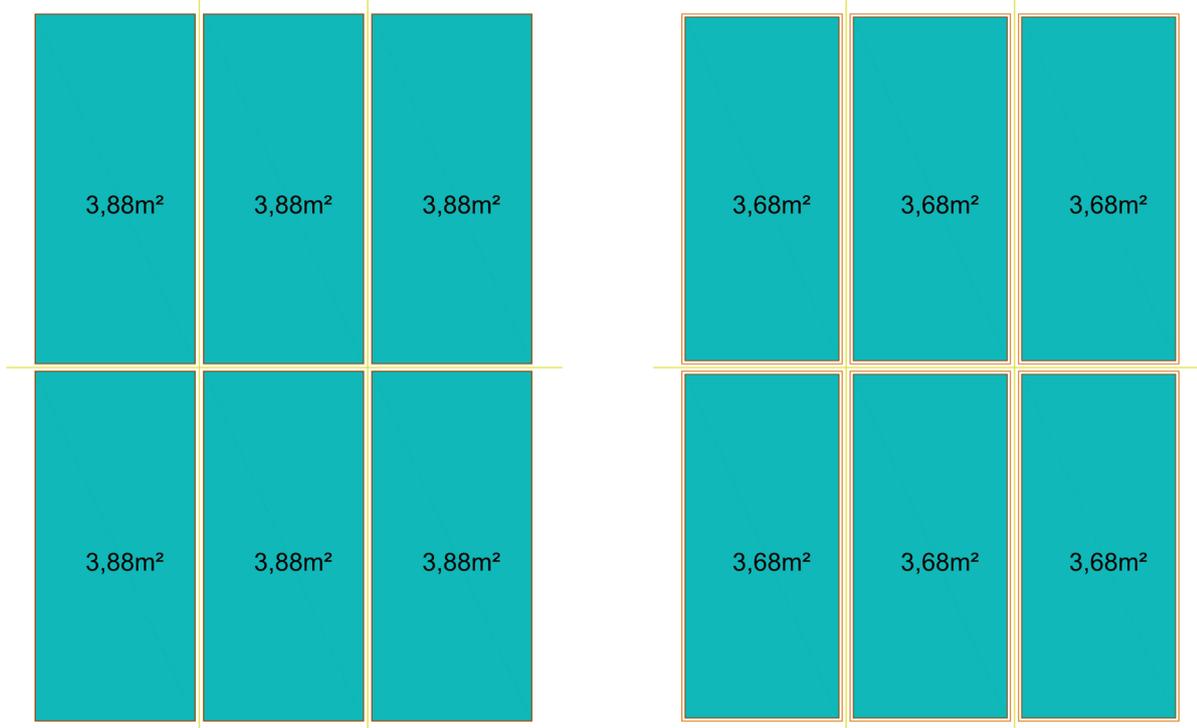


Abb. 90 Gegenüberstellung der Flächenaufstellungen der Fassadenansichten

## 8.4 Lichteinfall

Die Gegenüberstellungen für die verschiedenen Situationen der Lichteinfälle deuten auf keinen Schwachpunkt der Optimierung. Die einzige Reduktion ergibt sich auf der Unterseite des Riegels mit dessen Überdeckung von 24mm / 2,4cm. Bei einer Verminderung von 24mm kann jedoch keine Rede von einer maßgebenden Verschlechterung sein. Der Einfallswinkel der oberen Überdeckung wirkt sich auf Grund des Riegels nicht auf den Innenraum aus. Sowohl im Winter mit einem Winkel von 18°, einem durchschnittlichem Winkel von 45° und einem sommerlichen Winkel von 60° ist bei einer Überdeckung keine Änderung zu verzeichnen. Bei Entfall des Riegels wäre ein Gewinn der Lichteinstrahlung möglich, was sich positiv für die kälteren Jahreszeiten auszeichnen würde.

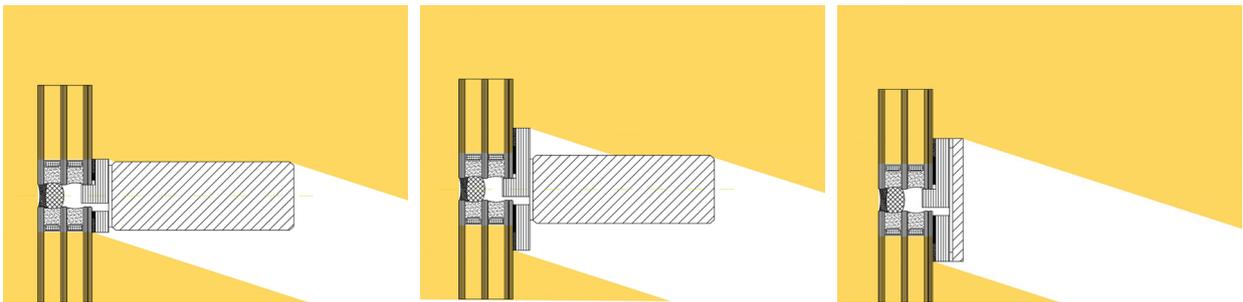


Abb. 91 Darstellung der Überdeckung bei Lichteinfall Winter (18°)

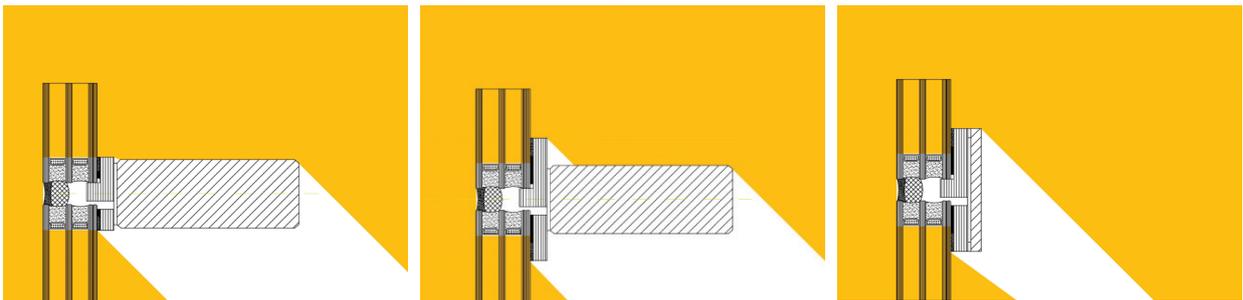


Abb. 92 Darstellung der Überdeckung bei Lichteinfall Durchschnitt (45°)

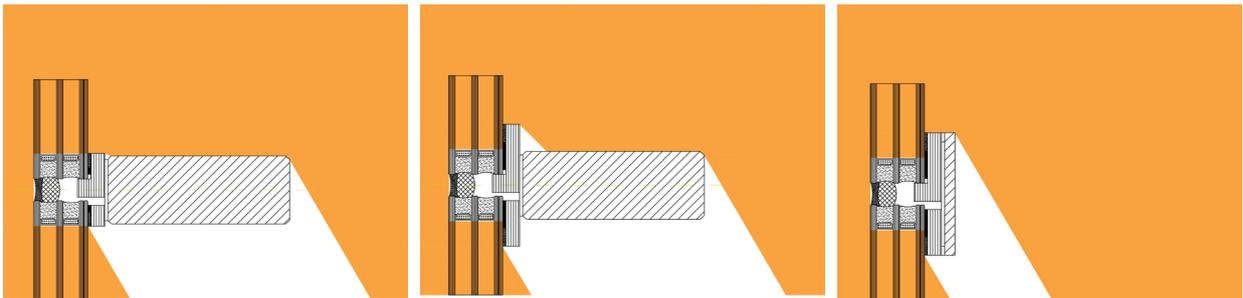


Abb. 93 Darstellung der Überdeckung bei Lichteinfall Sommer (60°)

Im Falle einer sommerlichen Überhitzung sind weitere Untersuchungen zu treffen. Mit einem innenliegenden Sonnenschutz wäre ein Lichteinfall im Sommer zu vermeiden, jedoch ein Aufheizen der Konstruktion immer noch ein Thema. Die Möglichkeit des Verzichts auf den Riegel bietet ein weiteres Untersuchungsfeld für die Holz-Glas-Verbundkonstruktionen.

## 9 Weitere Optimierungsmöglichkeit durch Entfall des Riegels

### 9.1 Thermischer Luftstrom entlang der Fassade

Diese Art des Optimierungsversuches beruht auf dem Ansatz, dass eine bessere Luftkonvektion entlang der Fassade im Innenraum erreicht werden kann, wenn der Riegel der Konstruktion entfällt. Auf Grund dieser Überlegung soll es ermöglicht werden, dass die aufsteigend warme Luft somit besser an den Rahmen der Fassade streicht und die Bauteile wärmere Innentemperaturen erreichen können. Die Überlegung bietet auch in weiterer Folge den theoretischen Ansatz, dass durch weniger Widerstand eines Riegels die warme Innenluft an der oberen Falz entlang streichen kann und somit die Gefahr des Tauwassers senken kann. Laut Aussagen des Tragwerkslehre Institutes ITI wären die Verschraubungen an der Pfostenkonstruktion ausreichend, wobei aber eine Konsole zur Kraftübertragung der Eigenlasten des Fassadenelementes angebracht werden müsste. Die Untersuchungen bezüglich der Konsolen sind in Kapitel 10.5 zu finden. In diesen Gegenüberstellungen werden rein die Aspekte in Betracht gezogen, welche durch die thermischen Simulationen durch den Wegfall des Riegels erreicht werden konnten. Die folgenden Abbildungen (94) auf dieser Seite zeigen die Gegenüberstellungen der Konstruktion als Pfosten-Riegelkonstruktion in der vergrößerten Darstellung und den Detailbereich. Gegenübergestellt wird die gewohnte Ausführungsmethode, aber auch jene Variante, indem auf den Riegelbestandteil verzichtet wird, mit den erwarteten besseren

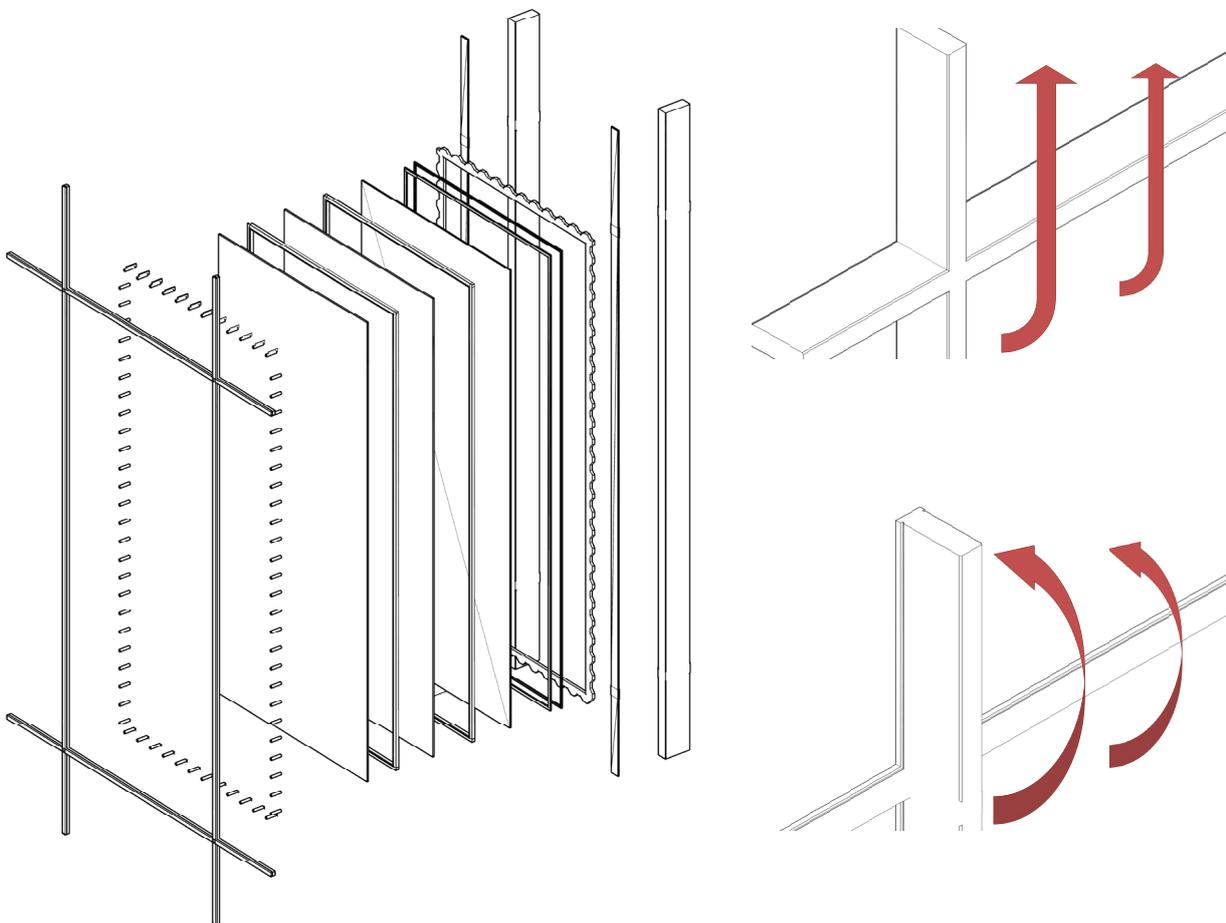


Abb. 94 Darstellung eines Einsatzmodules mit und ohne Riegel der Konstruktion

wärmetechnischen Eigenschaften. Die dreidimensionalen Untersuchungen richteten sich auf ein modulares Element der Holz-Glas-Verbundkonstruktion. Der Abgleich der Änderung wurde in der unteren Darstellung (95) bei gleicher Perspektivenausrichtung gewählt. Zu erkennen ist eine kleine grafische Verbesserung bei Verzicht auf den Riegel, der sich in der Temperierung darstellt. Dies ist in der gelben Umrahmung des Riegels zu sehen. Die Auswirkung in der thermischen Hinsicht ist in einem kleinen Spannungsfeld festzuhalten, der sich schwankend bei einem Unterschied zwischen  $\Delta T=0,04^{\circ}\text{K}$  und  $\Delta T=0,3^{\circ}\text{K}$  befindet. Im Falle der kleinen Temperaturunterschiede erweisen sich diese insofern als interessant, da sie doch die inneren Oberflächentemperaturen weiter steigern können

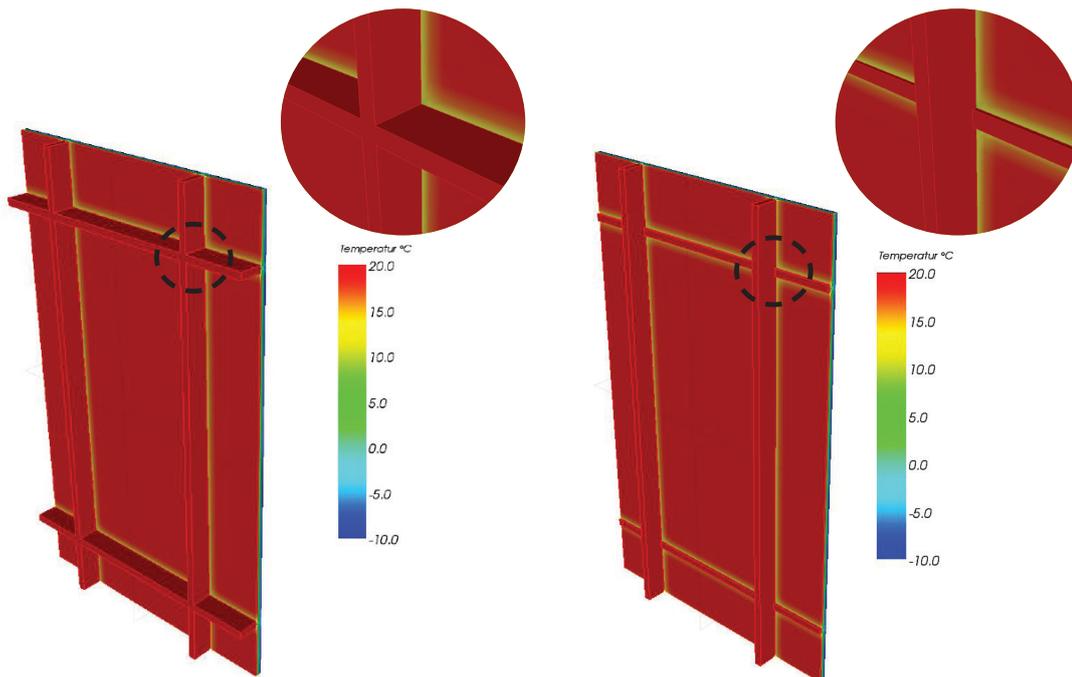


Abb. 95 Thermische Temperaturfelder mit und ohne des Riegels an der Konstruktion

und in wenigen Fällen einen besseren Temperaturfaktor als Ergebnis vorweisen können, wie dies bei der Anwendung des Chromatech Ultra der Fall ist. In der oberen Tabelle 31 werden die simulierten Daten mit der herkömmlichen Ausführung als Pfosten-Riegelkonstruktion, mit den letzteren Überdeckungen und des Chromatech Ultra dokumentiert, während bei den unteren Ergebnissen der Riegel entfiel. Für die Entwicklung der L-förmigen Koppelleiste könnte für die Überdeckungen kein wesentlicher Vorteil verzeichnet werden, für den Chromatech Ultra jedoch stellte sich dies als Optimierung heraus.

Überdeckung [mm]	14	16	18	20	22	24	chroma
fRsi =	0,66	0,67	0,68	0,70	0,70	0,71	0,73
t, min_i =	9,73	10,07	10,39	10,97	10,80	11,40	11,86
rel. Feuchte i	51,58	52,76	53,90	56,05	55,40	57,64	60,00

Überdeckung [mm]	14	16	18	20	22	24	chroma
fRsi =	0,66	0,67	0,68	0,70	0,69	0,71	0,74
t, min_i =	9,81	10,12	10,41	10,93	10,73	11,30	12,14
rel. Feuchte i	51,35	52,93	53,97	56,13	55,13	59,25	61,24

Tab.31 Vergleichende Daten mit Riegel (oben) und bei Verzicht auf Riegel (unten)

## 9.2 Thermische Simulationen

Zum besseren Verständnis der Auswirkungen für den Riegelentfall wurden die Schnitte durch den Riegel und den Pfosten der Fassadenkonstruktion geführt. Angenommen wurde eine gleiche geometrische Länge des Riegels und des Pfostens. Hierdurch kann in der unteren Abbildung der Vergleich des Riegelentfalls dargestellt werden. Für die Gegenüberstellung wurde die winkelförmige Konsole herangezogen, da diese eine eindeutige Verbesserung bei Riegelverzicht zeigt. Der Riegel wird für diese Betrachtung nicht vollständig entfernt, vielmehr wird an dem Dichtungsband am Ende der BKF-Leiste eine 10mm dünne Holzleiste auf Grund der visuellen Optik und dem Sichtbezug zum Holz für diese Konstruktion aufgeklebt.

Anhand der Schnittführungen beider thermischen Simulationsprogrammen, konnte eine Erhöhung der Temperaturen in der Konstruktion nachgewiesen werden. Dies ist auch für die Führung der Isothermenkurve festzustellen, die weiter in der Konstruktion liegt, als dies mit dem Riegel der Fall ist. Die Veränderung der Isothermenkurve ist auf den besseren Einfluss der inneren Raumtemperatur, durch den Verzicht auf den Riegel festzulegen. Die Isothermen zeigen in den Simulationsergebnissen ohne dem Riegel eine flachere Ausbeute, da hier keine Riegelkonstruktion die Temperaturwerte in das Innere des Elementes hineinversetzt. Dies lässt sich einfach am Messpunkt Ra01 feststellen, der im Riegel  $T=13,74^{\circ}\text{C}$  ergibt, während bei der aufgeklebten Nadelholzleiste eine Temperatur von  $T=19,86^{\circ}\text{C}$  nachzuweisen ist. Diese Temperaturdifferenz setzt sich somit weitergehend ins Innere fort, wenn auch mit abmindernden Wirkung mit zunehmender Tiefe.

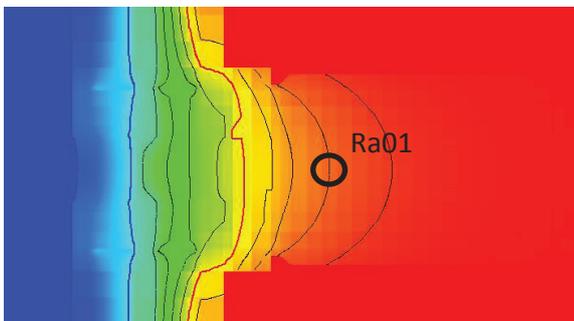


Abb. 95 WIniso - HGV - mit Riegel - L-Koppelleiste.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

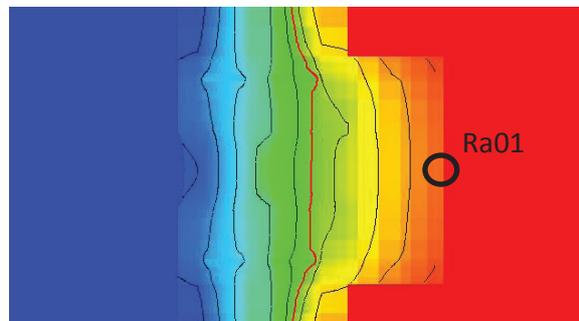


Abb. 96 WIniso - HGV - ohne Riegel - L-Koppelleiste.  
11,3°C Rot - 0°C Blau

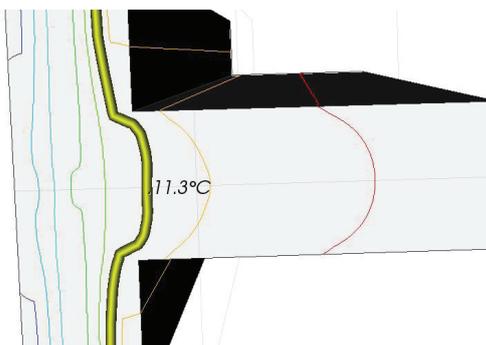


Abb. 97 Antherm - HGV-mit Riegel - L-Koppelleiste.  
Petschenig 11,3°C Gelb

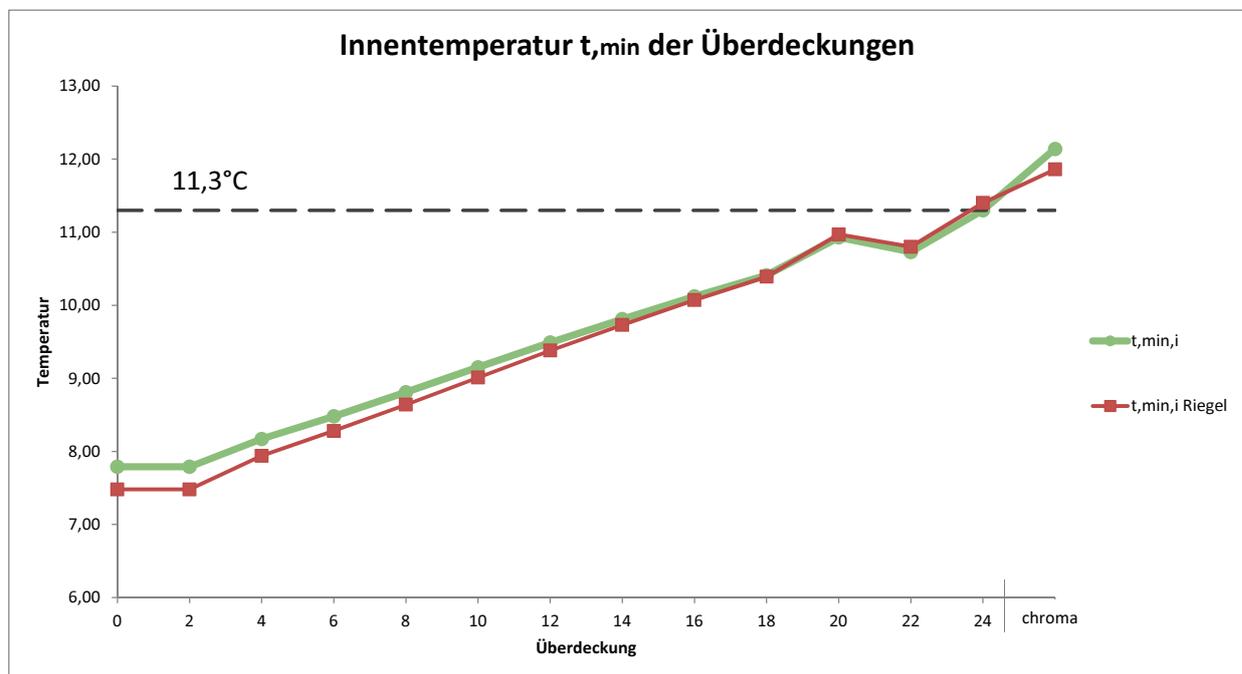


Abb. 98 WIniso - HGV-mit Riegel - L-Koppelleiste.  
Petschenig 11,3°C Gelb

### 9.3 Entfallen des Riegels an der Konstruktion ITI

#### 9.3.1 Einfluss der kleinsten inneren Oberflächentemperatur $t_{\min,si}$ bei Riegelverzicht

Die Theorie der Verbesserung durch Riegelentfall kann anhand der Messwerte der kleinsten inneren Oberflächentemperatur bestätigt werden. Die größte positive Divergenz von  $\Delta T = 0,31^\circ\text{K}$  ist bei einer Überdeckung von  $\Delta L = 0\text{mm}$  zu erkennen, die sich dann jedoch mit einer zunehmenden Längsstreckung des Birkenfurniersperrholzes immer mehr den entsprechenden Werten einer Konstruktion mit Riegel annähert. Ab einer Längendifferenz von  $\Delta L = +14\text{mm}$  zeigt sich keine grafische Verbesserung anhand des unten gezeigten Diagramms 32. Ab der Überdeckung von 23mm ist erst wieder eine grafische Verbesserung durch die Ausführungsvariante ohne Riegel festzuhalten, die laut den Messpunkten der Simulation eine Differenz von  $\Delta T = 0,1^\circ\text{K}$  ergibt, die sich mit zunehmender

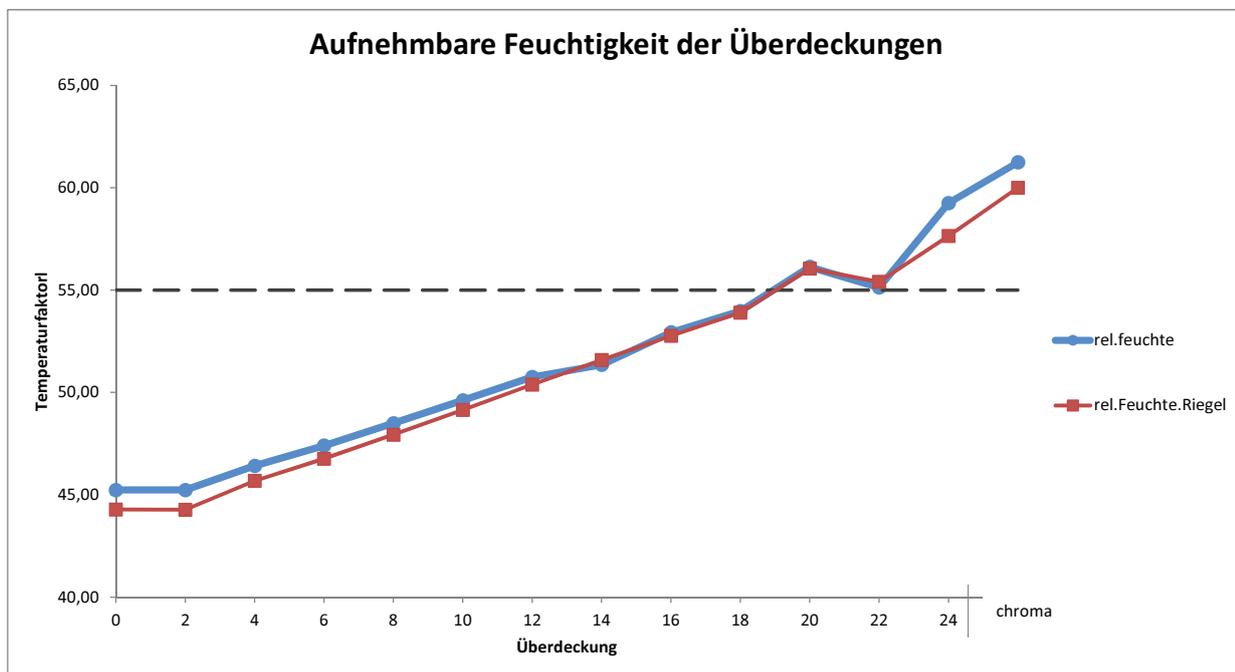


Diag. 32 Vergleich der Oberflächentemperatur - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)

Längenerweiterung linear fortsetzt. Das Diagramm und die Bewertung der Messpunkte deuten auf eine anfängliche Verbesserung der Konstruktion, da durch den Verzicht auf den Riegel die warme Raumtemperatur einen besseren Einfluss auf die Konstruktion hat und diese den Rahmen besser umschließen kann. Dies wird durch den Messpunkt am Rahmen Ra01 ersichtlich, der in der Ausführung mit Riegel bei einer Deckung von  $\Delta L = +0\text{mm}$ ,  $T = 14,27^\circ\text{C}$  beträgt, während bei der Variante ohne Riegels Temperaturen von  $T = 14,70^\circ\text{C}$  erreicht werden. Der Effekt bezieht sich somit auf die bessere Überleitung der Innenraumwärme, der Rahmenkonstruktion auf die Falztemperatur. Die Annäherung der Linien ergibt sich dadurch, dass mit einer zunehmenden Überdeckung des Birkenfurniersperrholzes hier ebenfalls ein besserer Einfluss der Raumtemperatur auf die Oberfläche entsteht, da hier das Birkenfurnier mehr Fläche zum Innenraum aufweist. Somit geht in weiterer Folge mit zunehmender Überdeckung die verbesserte Wirkung des Riegelverzichtes verloren. Die Konvergenz am Beispiel des Chromatech Ultra fällt wieder höher aus, da keine Überdeckung auf Grund des Warm-Edge-Hybrids erforderlich ist.

9.3.2 Zusammenhang der Aufnehmbaren Feuchte

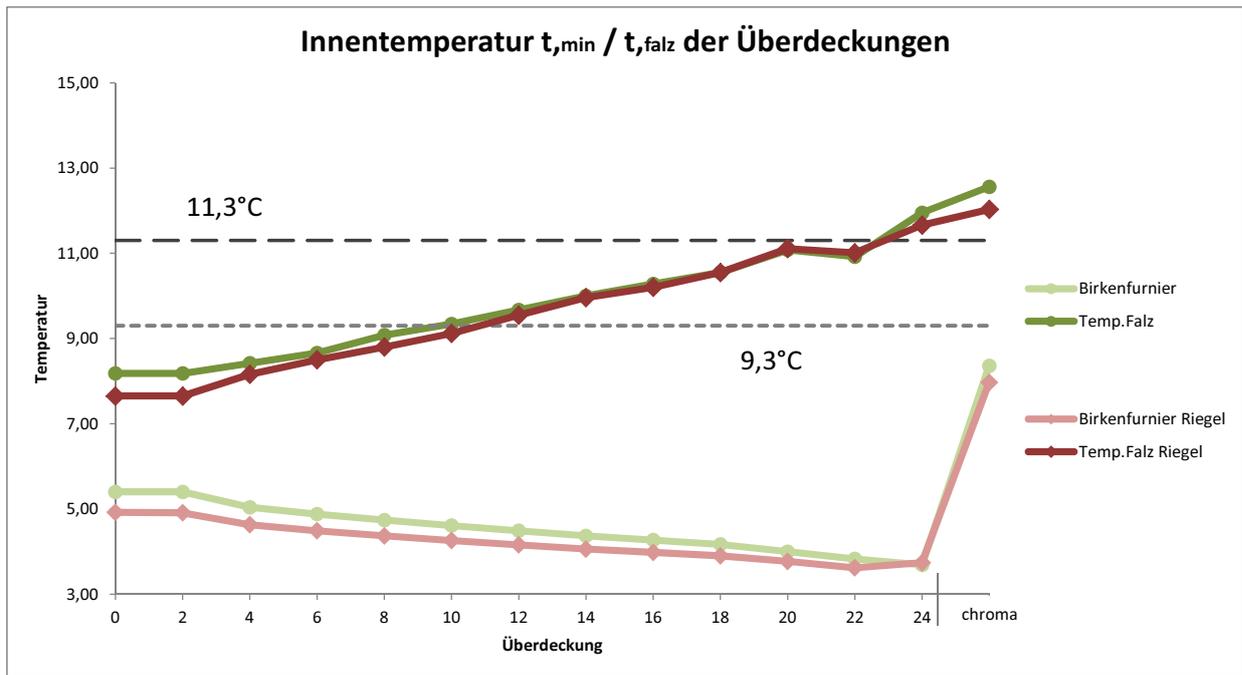
Die Verringerung der Divergenz der beiden Varianten nähert sich im Vergleich zur vorigen Betrachtung des Diagrammes XX schon bei einer Längenstreckung des Birkenfurnieres von  $\Delta L = +13\text{mm}$ , statt den zuvor dargestellten  $\Delta L = +16\text{mm}$ . Die Grenzfeuchtigkeit an der Stelle der Innenfalz wird schon ab einer Überdeckung von  $\Delta L = +19\text{mm}$  erreicht, selbst wenn mit einer Streckung von 22mm der Einbruch der Werte erfolgt. Der Unterschied zwischen den Konstruktionsvarianten ist bei 0mm mit einem  $\Delta P = 0,95\%$  zu verzeichnen, der sich wie beschrieben annähert und erst wieder ab der Überdeckung von mehr als 22mm auftritt und sich bei 24mm mit  $\Delta P = 1,61\%$  bemisst.



Diag. 32 Vergleich der aufnehmbaren Feuchtigkeit - Riegelentfall (blau) / mit Riegel (rot)

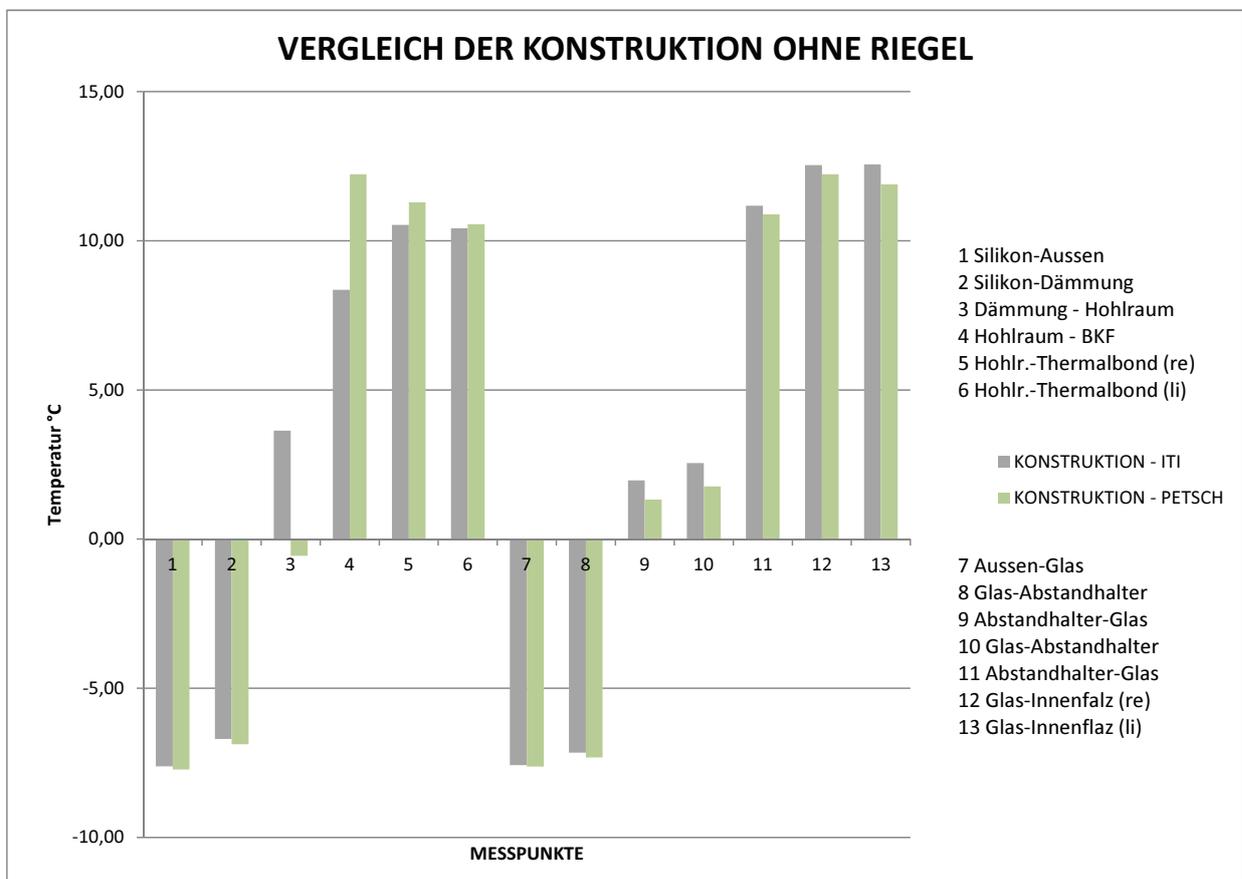
9.3.3 Zusammenhang der Falztemperatur und der Hohlraumtemperatur

Das Zusammenspiel der inneren Falztemperatur von Verklebung und der inneren Glasscheibe mit der Hohlraumtemperatur wird im folgenden Diagramm 32 auf der folgenden Seite dargestellt, die Auskunft über die Wärmeleitung und Isolation des Rahmens gibt. Bei einem Verzicht des Rahmens nimmt nicht nur dieser die warme Innentemperatur auf, sondern auch der Hohlraum, der sich in diesem befindet. Die erzielte Verbesserung durch die günstigere Temperatureaufnahme erreicht lediglich eine Differenz von  $\Delta T = +0,48^\circ\text{K}$ , die sich mit zunehmender Überdeckungslänge und besserer Isolation mehr der Variante mit der Ausführung des Riegels annähert. Die Taupunkttemperatur von  $T=9,3^\circ\text{C}$  bei den geltenden Bedingungen des Außenraums  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und des Innenraums bei  $\theta_i = +20^\circ\text{C}$  und  $\varphi=55\%$ , wird trotz vorteilhafter Ergebnisse nicht erreicht, weshalb mit einem Auftreten von Kondensat im Hohlraum gerechnet werden muss.



Diag. 33 Vergleich der Oberflächentemp. und Hohlraumtemp. - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)

Beim Vergleich aller Messpunkte ist eine Erhöhung der Temperaturen durch den Verzicht auf den Riegel nachzuweisen, was sich somit besser auf den Hohlraum in der Konstruktion, wie auch an den Messpunkten der simulierten Falztemperaturen auswirkt.

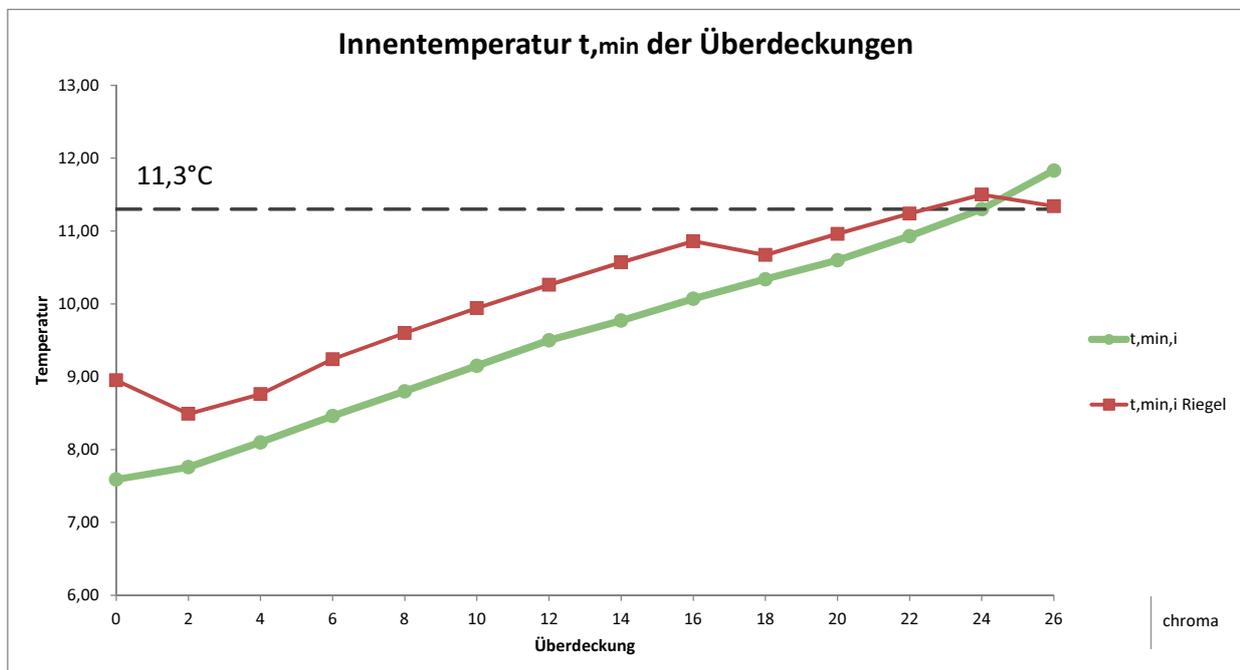


Diag. 34 Vergleich der Messtemperaturen - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (grau)

## 9.4 Entfallen des Riegels an der Konstruktion Petschenig

### 9.4.1 Einfluss der kleinsten inneren Oberflächentemperatur $t_{\min,si}$ bei Riegelverzicht

Bei Entfall des Riegels ist bei der Ausführung der einfach verzahnten Koppelleiste keine Verbesserung, wie bei der winkelförmigen BKF-Leiste zu verzeichnen. Die Pfosten-Riegel-Konstruktion erzielte hier im Vergleich die besseren Messwerte. Bei einer Überdeckung von 2mm ist eine Temperaturdifferenz von  $\Delta T = +0,73^\circ\text{K}$  zu verzeichnen. Diese Divergenz bleibt bis zu einer Deckung des Birkenfurnieres von  $\Delta L = +17\text{mm}$  linear erhalten. Im Diagramm ist ersichtlich, dass sich die Linien gleichförmig linear entwickeln, bis sie sich bei einer Überdeckung von 18mm und erneut bei 23mm annähern. Festzuhalten ist, dass sich die zu erbringenden Werte ab einer Längenstreckung von  $\Delta L = +24,0\text{ mm}$  mit beiden Varianten ergeben. Im Falle des Chromatech Ultra hingegen liegt der Messpunkt bei

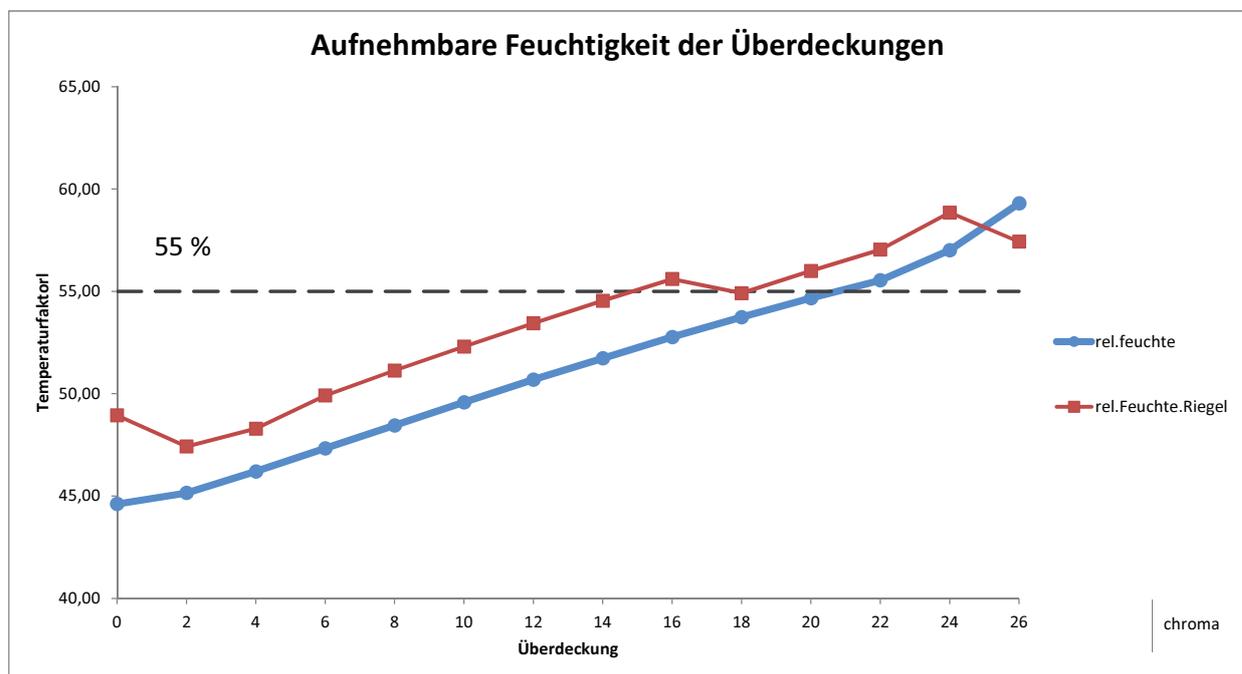


Diag. 35 Vergleich der Oberflächentemperatur - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)

Entfall des Riegels in einem niedrigeren Temperaturbereich, als dies bei der Ausführung mit dem Riegel der Fall ist. Warum auch nicht hier eine Verbesserung bei Riegelentfall in Kraft tritt, ist auf die bessere Isolation in der Konstruktion zurückzuführen. Eine winkelförmige Koppelleiste wurde eine Temperierung des Hohlraumes ermöglichen, jedoch auch die messbare Temperatur an der Rahmeninnenkante zur Glasscheibe senken. Durch eine thermische Trennung und dem größeren Hohlraum der Konstruktion ist man nicht auf die günstigeren Einflüsse durch den Entfall eines Rahmens angewiesen. Erst mit der zunehmenden Überdeckungslänge ab  $\Delta L = +17\text{mm}$  nähern sich die Temperaturen an, da mit der Längenzunahme des Birkenfurnieres auch eine größere Fläche des unteren und oberen Rahmens zur besseren Temperatureaufnahme des Innenraumes zur Verfügung steht.

#### 9.4.2 Zusammenhang der Aufnehmbaren Feuchte

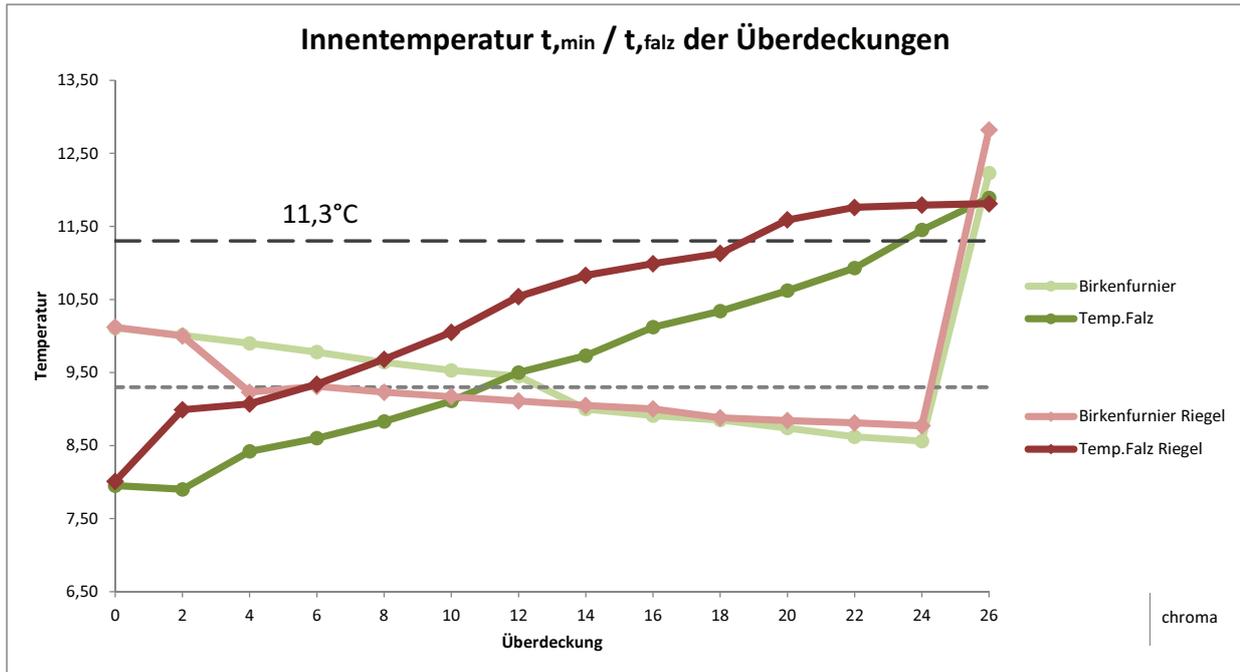
Die zu erreichende Grenzfeuchtigkeit von 55% ist bei der Ausführung mit einem Riegel in Anlehnung zu den erreichten Innentemperaturen mit der Überdeckung von  $\Delta L = +19\text{mm}$  früher erreicht, als die erforderliche Deckung bei dem Verzicht des Riegels von  $\Delta L = +22\text{mm}$ . Im Unterschied zum Vergleich der inneren Oberflächentemperaturen fällt die Annäherung der beiden Temperaturkurven nicht so deutlich aus. Die Divergenz der Temperaturen beträgt in der Betrachtung der Überdeckung von  $\Delta L = 18\text{mm}$ ,  $\Delta P = -1,17\%$  und bei der Überdeckung von  $\Delta L = 24\text{mm}$ ,  $\Delta P = 1,88\%$ . Die Zahlenwerte der Simulationen zeigen gar eine zunehmende Differenz bei einer zunehmenden Überdeckung.



Diag. 36 Vergleich der Oberflächentemperatur - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)..??

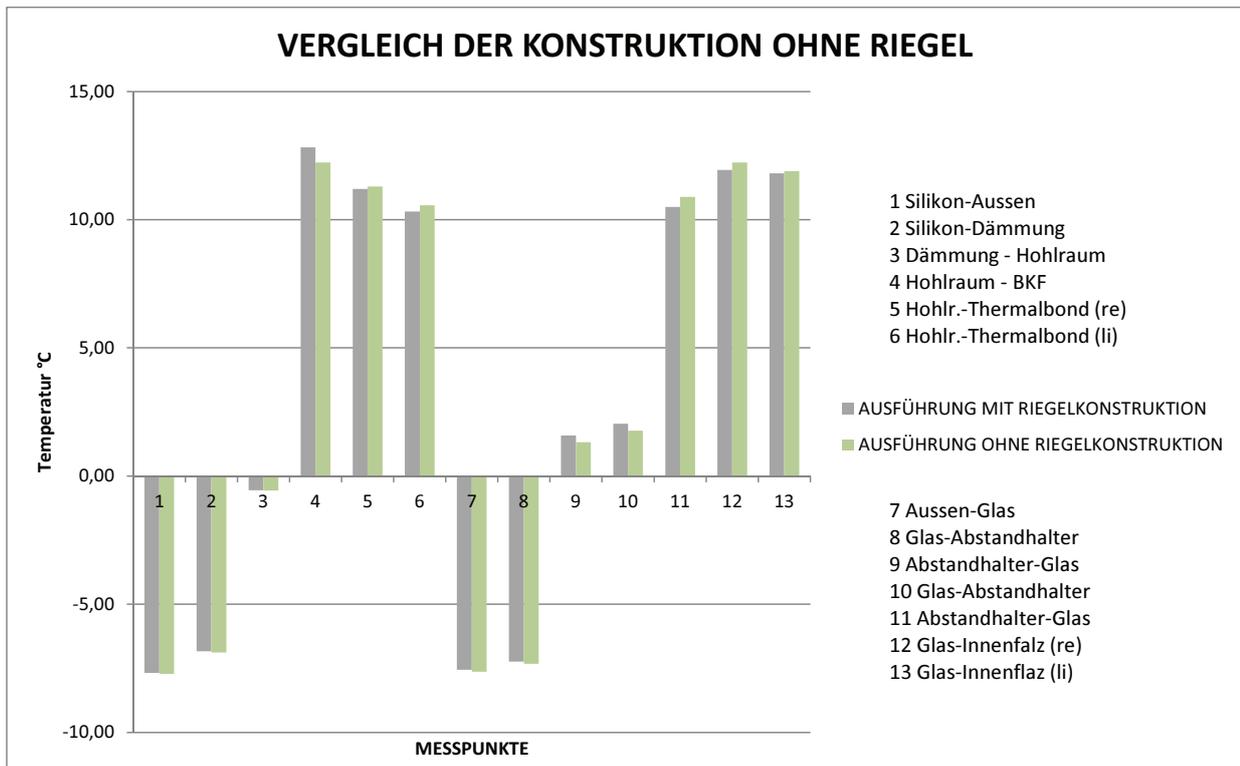
#### Zusammenhang der Falztemperatur und der Hohlraumtemperatur

Das Zusammenspiel der inneren Falztemperatur von Verklebung und inneren Glasscheibe mit der Hohlraumtemperatur wird im folgenden Diagramm 37 auf Seite 80 dargestellt, die Auskunft über die Wärmeleitung und Isolation des Rahmens gibt. Bei einem Verzicht des Rahmens nimmt nicht nur dieser die warme Innentemperatur auf, sondern auch der Hohlraum, der sich in Diesem befindet. Die erzielte Verbesserung durch die günstigeren Temperaturenaufnahme erreicht annähernd eine Differenz von  $\Delta T = +9,5^\circ\text{K}$ , die sich mit zunehmender Überdeckungslänge und besserer Isolation geringfügig der Variante mit der Ausführung des Riegels annähert. Die Taupunkttemperatur von  $T=9,3^\circ\text{C}$  bei den geltenden Bedingungen des Außenraums  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und des Innenraums bei  $\theta_i = +20^\circ\text{C}$  und  $\varphi=55\%$ , wird trotz vorteilhafter Ergebnisse für die notwendige Überdeckung nicht erreicht, weshalb mit einem Auftreten des Kondensates im Hohlraum gerechnet werden muss. Die Divergenz der Oberflächentemperaturen des Birkenfurnieres fällt mit Ausnahme der ersten 3-12mm geringer



Tab. 37 Vergleich der Oberflächentemp. und Hohlraumtemp. - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)

aus. Die Differenzen der inneren Falztemperatur und jene der Hohlraumtemperatur sind somit nicht direkt miteinander zu vergleichen. Der Verzicht auf den Riegel bedeutet für die Konstruktion keine Verschlechterung der Kondensatgefah am Holz im Hohlraum, die jedoch mit der erforderlichen Überdeckung von 24mm nicht vermieden werden kann. Die Messpunkte im direkten Vergleich des Diagrammes 38 zeigen höhere Temperaturen am Birkenfurnier bei der Ausführung des Riegels. Bei Entfall des Riegels sind keine höhere Temperaturen am inneren Falz der Konstruktion zu erreichen.



Tab. 38 Vergleich der Messtemperaturen - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (grau)



## 10 Weiterführende Ergebnisse durch die Einwirkung der Konsolen

### 10.1 Bisheriger Ansatz der Konsolen

Die zur Anwendung kommende kleine L-Koppelleiste ermöglicht nicht die Kraftübertragung zwischen der Leiste und der Unterkonstruktion über die Schraubungen, die für eine Ausführung erforderlich wäre, wie dies Franz Weissensteiner in seiner Arbeit „Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen. Prototypischer Einsatz eines Anbaus.“ auf Seite 54 erläutert. Aus diesem Grund sind Konsolen an den Eckpunkten der Holz-Glas-Verbundmodule an der Tragkonstruktion zu montieren, auf der die Module eingelegt und befestigt werden können. Die untere Abbildung 99 zeigt grafisch die bisherigen Ansätze zu dieser Überlegung. Es ist angedacht, dass mit dem Verzicht

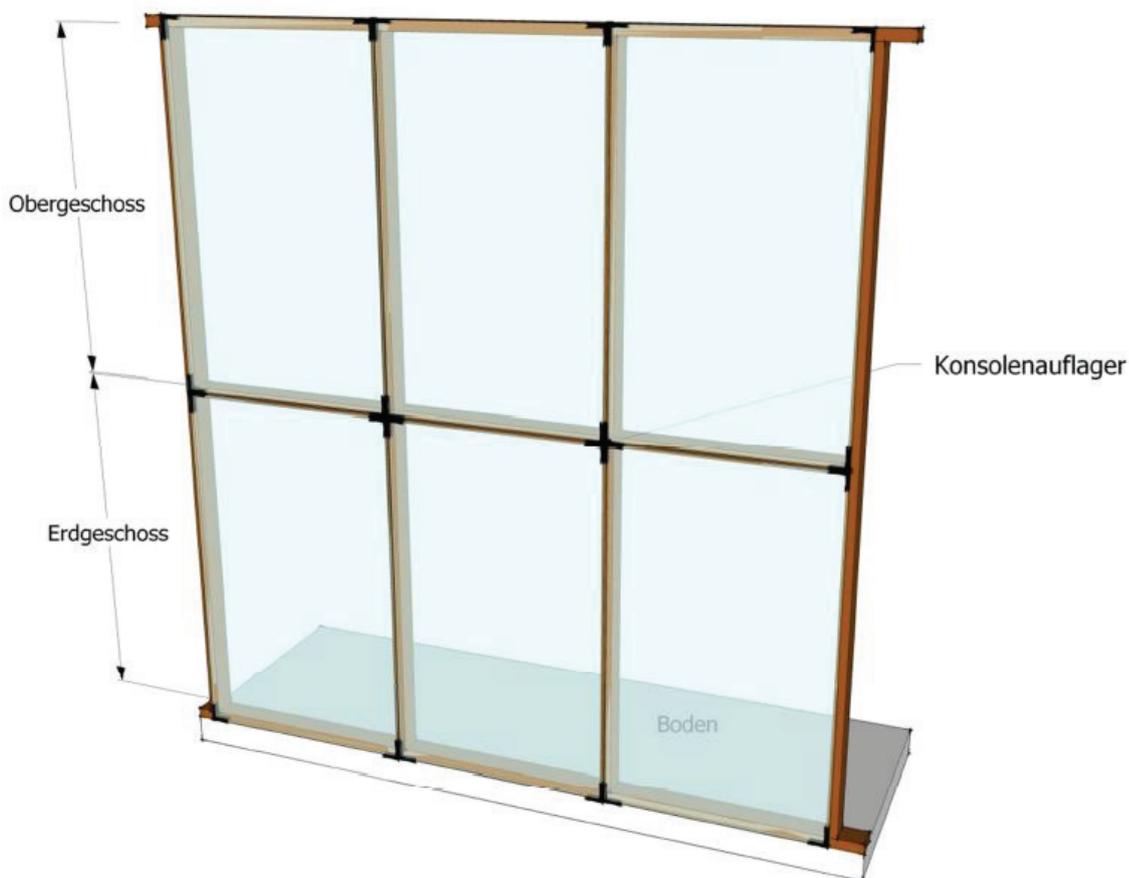


Abb. 99 Konsolendarstellung der HGVE-Elemente (Weissensteiner-2013)

des horizontalen Bestandteiles der Riegel entfallen kann. Das Stahlaufleger wird so ausgeführt, dass die Eigenlasten des Holz-Glas-Verbundelementes an dessen Stelle in den Pfosten eingeleitet werden. Mit diesem Gedanken verwirft man sich ein stehendes Kondensat am horizontalen Element an der Konstruktion aus dem Kopf und erwartet sich eine bessere technische Lösung für eine anfallende Tauwasserproblematik. Sollte ein Kondensat an dieser Stelle anfallen, so könnte es besser abrinnen oder gegebenenfalls durch eine bessere thermische Optimierung schneller austrocknen. Zudem wird eine bessere Unterstützung der Konsolenaufleger in der Aussteifung der einzelnen Elemente im Verbund mit der Konstruktion erwartet. Ob dies im Endeffekt den Tatsachen entspricht ist in

weiteren Versuchsabläufen zu untersuchen. Das Ausmaß einer möglichen thermischen Schwächung der Konstruktion durch die Verwendung von Baustahl erfolgt in dieser Arbeit. In erster Linie wurde für die ersten Untersuchungen die Konstruktionsmethode untersucht, welche schon der Diplomand Franz Weissenteiner in seiner Arbeit anschnitt. Die unteren Darstellungen lassen sich auch im Buch Glasbau 2013 von Bernhard Weller und Silke Tasche wiederfinden. Die Konsole wird zwischen den Birkenfurnierleisten angebracht und mittels Klemmplatten an der Konstruktion verschraubt. Um diese Variante in den Untersuchung zu durchleuchten und dadurch eine anderweitige Konsolenentwicklung zu konstruieren, werden die Daten in das dreidimensional thermische Programm Antherm

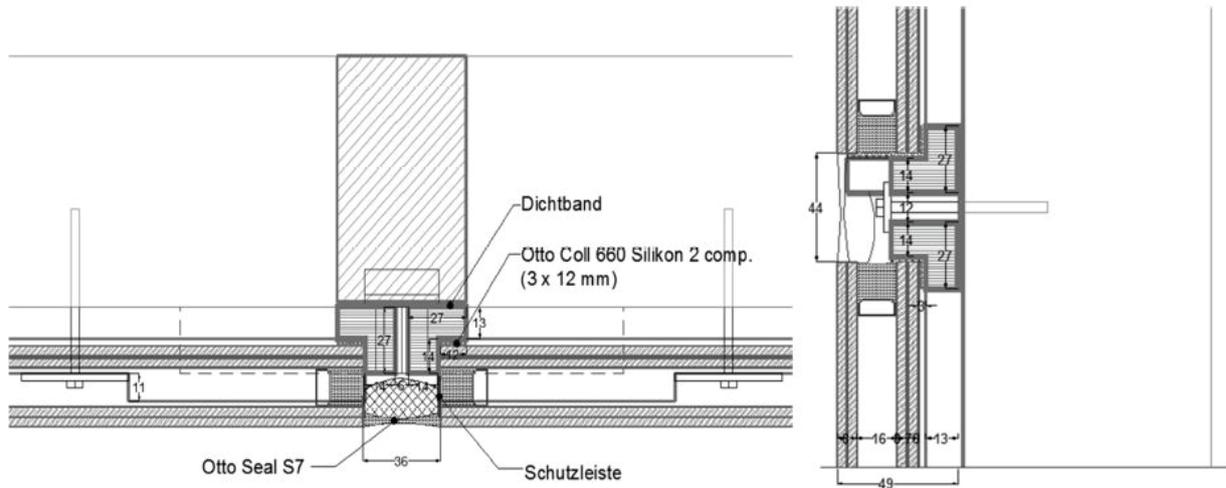


Abb. 100 Horizontal- und Vertikalschnitt der Konsole (Rosliakova - 2012)

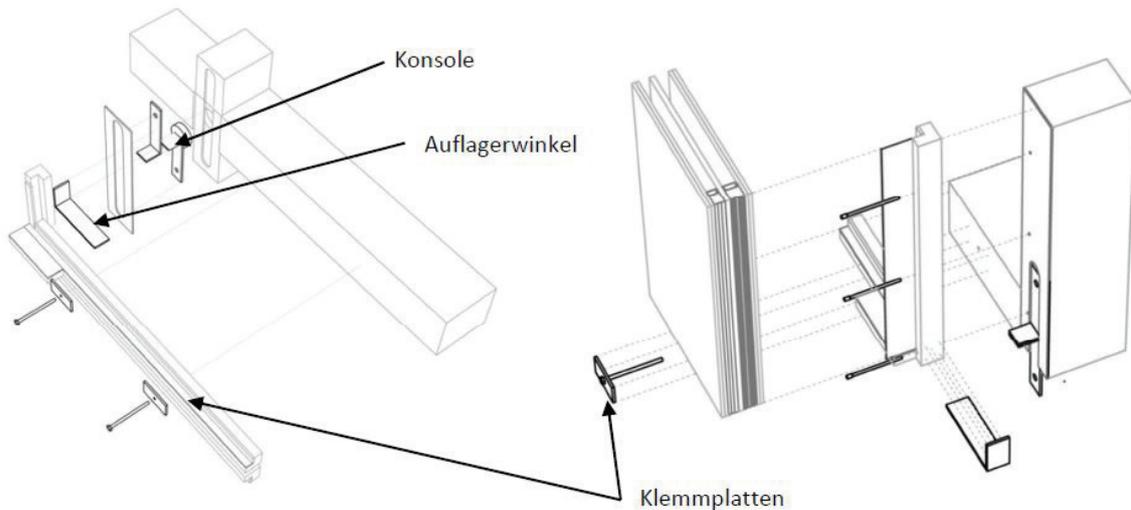


Abb. 101 Bestandteile der Konsole für die HGV-Elemente (Rosliakova - 2012)

eingelassen und mit den zuvor erwähnten Randbedingungen simuliert. In weiterer Folge wird ein Ansatz getroffen, ein eigenes Konsolenelement aus den Einzelteilen zu konstruieren. Durch die gleichen Bestandteile ergibt sich eine einheitliche Eingabe in das Simulationsprogramm für die Ermittlung der Einflüsse der Konsole. Die Unterscheidung wird auf die gewählte Materialität gesetzt, da hier mit einer Stahlkonsole, einer Hartplastikkonsole und mit hybriden Zusammensetzungen von beiden Werkstoffen simuliert worden ist. Die Resultate sind auf die Konstruktion mit dem Pfosten und Riegel bezogen, sowie auch für die Möglichkeit des Riegeleinfalles für das Tragholz, mit einer Anwendung einer Abdeckleiste aus Holz.

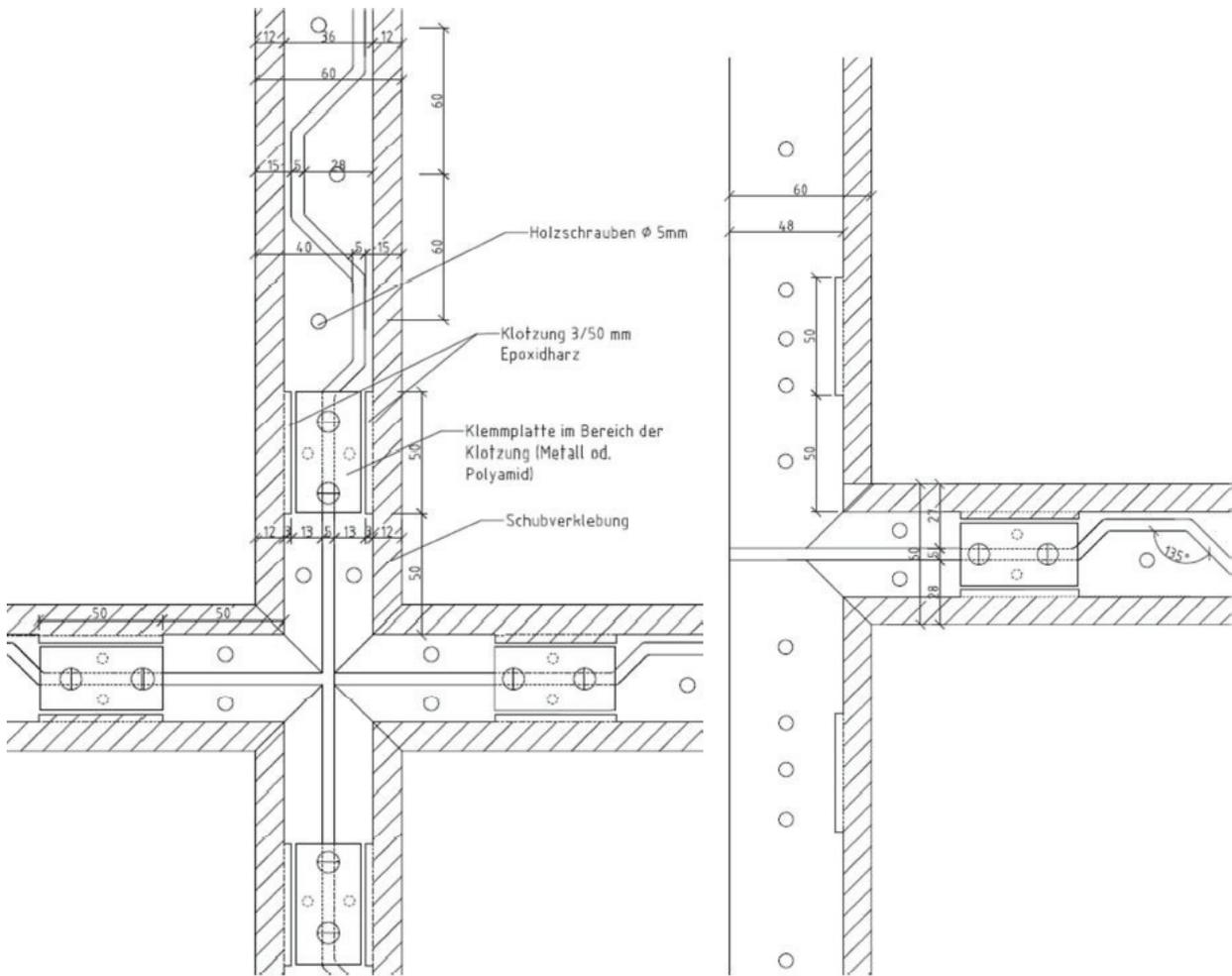


Abb. 102 Ansicht der gezahnten Koppelleiste bei Mittel- und Endstoß (Weissensteiner - 2013)

## 10.2 Weiterer Ansatz der Konsolenentwicklung

Wie die bisherige Auseinandersetzung der Konsole wurde auch ein weiterer Ansatz mit weiteren thermischen Folgen analysiert. Die Elemente müssen nicht mehr zwingend aus einzelnen Bestandteilen zusammengesetzt und mittels Klemmplatten montiert werden. Eine Alternative bietet eine Gestaltung der Kombination dieser Verbindungselemente in einer vorgefertigten Konzeption. Dieser Ansatz der Konsole setzt sich aus den Bestandteilen von Flach- und Winkelstahl zusammen, deren Zusammenstellung auf der nächsten Seite genauer erklärt werden. Die Konsole übernimmt nicht nur die Auflagerung und die Aufnahme der Schubkräfte, sondern auch die Sogeinwirkung und Stabilität bieten zusätzliche Vorteile. Jedoch ist mit der Anwendung der kleinen winkelförmigen Koppelleiste auch eine Vergrößerung der Fuge verbunden, die jedoch weiter gering gehalten werden soll. Für den Einsatz der Konsole müsste der Abstand zwischen den L-förmigen Koppelleisten um jeweils 3mm vergrößert werden, um die Stahlkonsole einsetzen und noch genug Platz für die

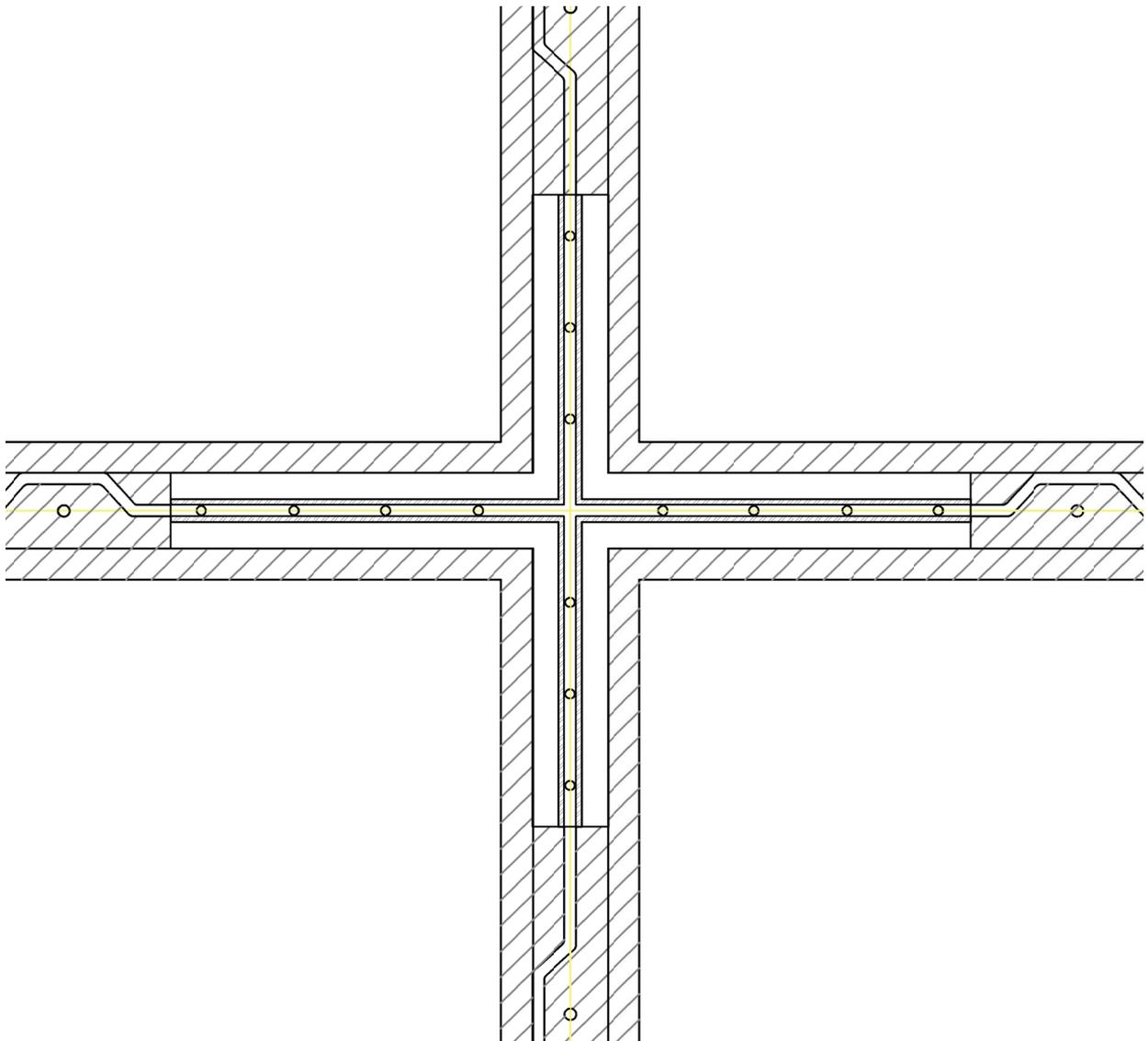


Abb. 103 Konsolenentwicklung nach thermischer Studie - Mittelstoß

## Untersuchung der Konsolenmöglichkeit

---

Verschraubung bieten zu können. An der Schnittstelle des Pfostens und des Riegelsatzes wird ein Kreuz gebildet, auf das der Winkelstahl mit einer prognostizierten Dicke von 3mm angebracht wird. Zwischen diesen wird Platz für eine Verschraubung gewährleistet. Nach dem ersten Anbringen der Auflagerung werden die Holz-Glas-Verbundeinsätze an der Konsole angelegt und gesichert. Die Bewerkstellung der Schubsicherung wird mit dem Einbringen auf den Konsolenwinkel hierdurch bereits erbracht. In letzter Instanz wird über die L-förmigen Enden der Koppelleiste die BKF-Leisten in den Einschubaufsatz aufgesetzt und in diesen eingeschoben. Die Anbringung der Konsolen selbst würde wie bisher mit einer Schraubung oder einem Bolzen in der Konstruktion gehalten. Mit der Vollendung der Konsole sind die einzelnen Fassadenbestandteile fest miteinander verbunden und gewährleisten die statischen Anforderungen.

Die einzige Änderung, die sich aus den thermischen Ergebnissen ergibt, ist der Einsatz eines äußeren PVC-Kreuzes, welches die Verschraubungen beinhaltet und die Konsole auf die Konstruktion presst. Durch das Hartplastik kann die Kälte des Hohlraumes weitgehend abgehalten werden und die Wärme der Stahlkonsole, welche die inneren Temperaturen in Richtung Hohlraum lenkt, kann so weit wie möglich im Inneren gehalten werden. Eine Anmerkung ist die bedingte Vergrößerung

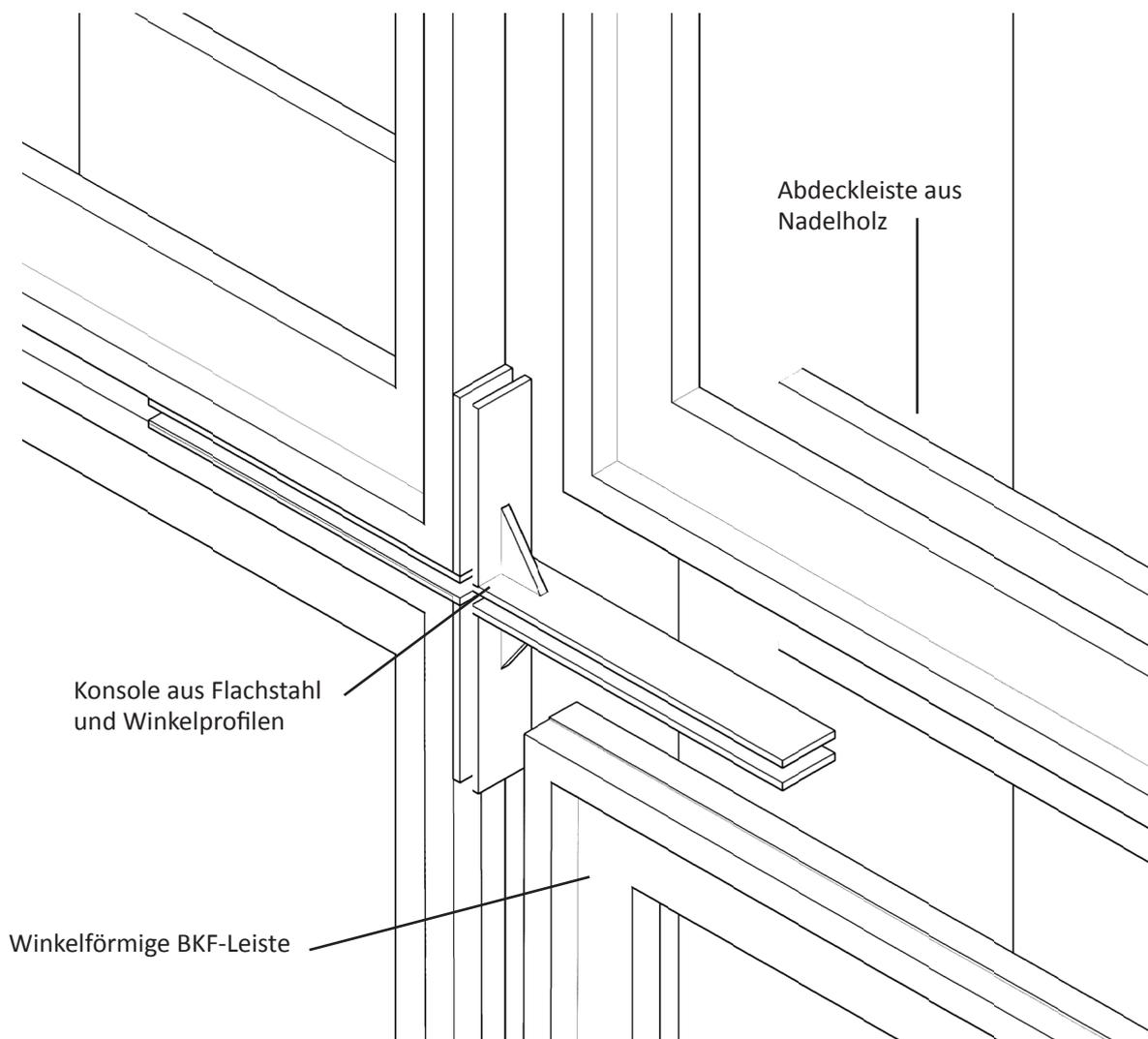


Abb. 104 Konsolenaufbau der einzelnen Bestandteile beim Mittelstoß

---

der äußeren Silikonfuge der einzelnen Fassadenelementen, die erforderlich sind, um eine Konsolenanbringung für die Konstruktion gewährleisten zu können. Im Falle bei der äußeren Verwendung von Hartplastik ist die Dicke aus statischer Sicht als Element der Sicherung noch zu ermitteln.

### *Schnittbetrachtung*

Die erste Abbildung 105 auf dieser Seite zeigt die Montage der Konsole im Horizontalschnitt im Bereich des Pfostens. Zu beachten ist jedoch der Anpressdruck, um nicht die Abdichtung zwischen des Nadelholzes und des Birkenfurnieres zu schädigen. Zudem wird die winkelförmige Leiste mit an die Konstruktion angedrückt. Die Abbildung 106 zeigt den Einflussbereich der Winkelaufleger, um die Konstruktion nach Möglichkeit mittels der Konsole zu stützen und hier nach den Analysen keine thermische Schwächung zu suggerieren. Die rechte Seite (oberhalb) gibt die Proportionen der Stahlkonsole preis, während auf der linken Seite (unterhalb) die Konstruktion der anschließenden Koppelleiste und der Abdeckleiste für die Holzoptik ersichtlich ist. Für das bessere Verständnis wurde in Abbildung 107 die Konstruktion in die Bestandteile Glaskonstruktion, Birkenfurnierleiste und Silikonabdichtung zerlegt, um die Bestandteile aufzuzeigen. Die untere Birkenfurnierleiste wurde versetzt, damit ein Ausschnitt des Einschubwinkels ersichtlich ist.

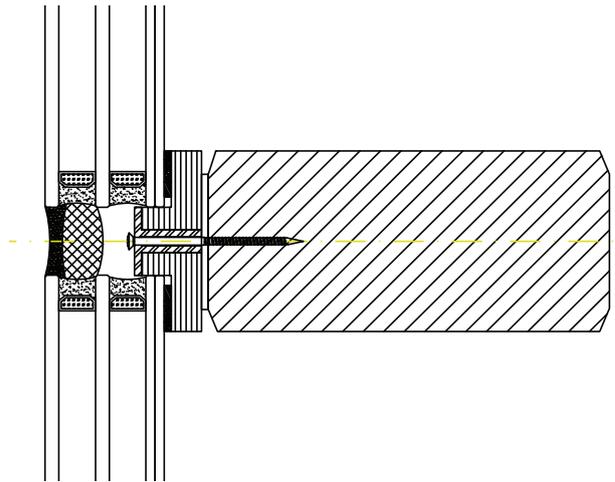


Abb. 105 Konsolenschraubung ohne Stahl - Profil-

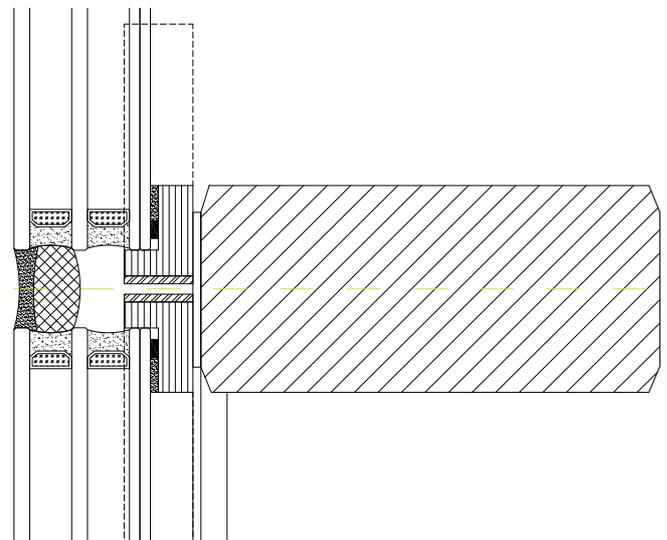


Abb. 106 Konsolenschraubung mit Stahl - Profilschnitt

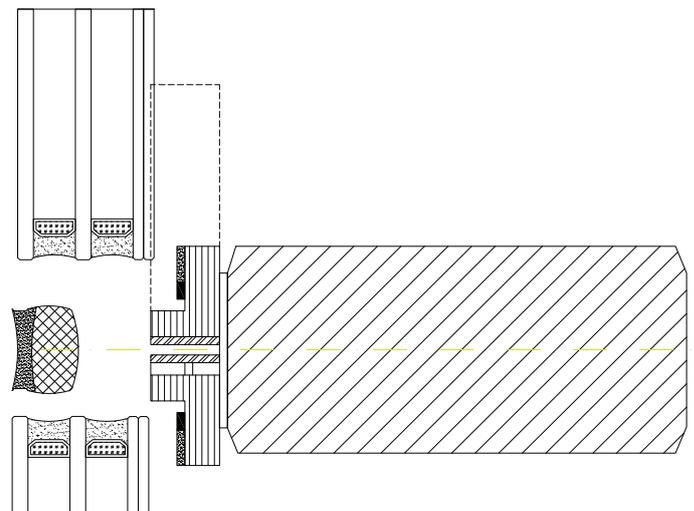


Abb. 107 Konsole / Sprengdarstellung

### 10.3 Messpunkte der Thermischen Untersuchung

Für die Generierung einer zuverlässigen & aussagekräftigen Auswertung wurden für die dreidimensionale Simulation Messpunkte an dem Birkenfurniersperrholz und der tragenden Nadelholzkonstruktion angesetzt, wie auch an den Einsatzpunkten der Konsole eingesetzt. Die unteren Abbildungen 108 dienen der grafischen Erläuterung zu der Auflistung der einzelnen Messpunkte.

- 1) Endpunkt im Riegel
- 2) Mitte des hor. Konsolenelements
- 3) Mitte aller Konsolen
- 4) Mitte des ver. Konsolenelements
- 5) Endpunkt im Pfosten
- 6) Mitte des hor. Konsolenelements
- 7) Endpunkt im Riegel
- 8) Mitte des ver. Konsolenelements
- 9) Endpunkt im Pfosten
- 19) Falz BKF - Riegel
- 20) Falz BKF - Riegel 2
- 21) Falz BKF - Eckpunkt
- 22) Falz BKF - Pfosten
- 23) Oberfläche NH Riegel Feldmitte
- 24) Oberfläche NH bei Punkt 1 & 7
- 25) Oberfläche NH Eckpunkt

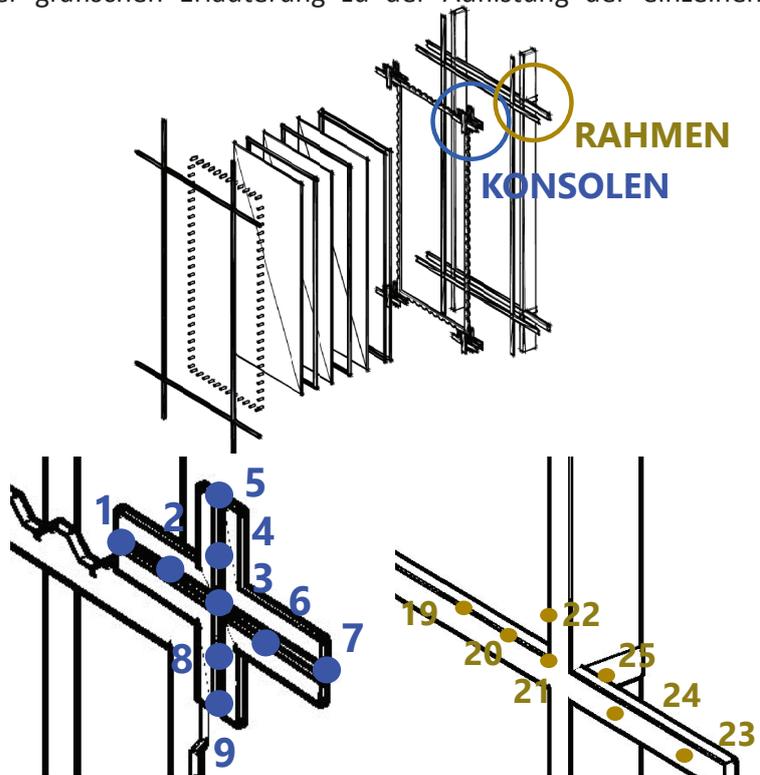


Abb. 108 Darstellung der Messpunkte an der Konsole, der BKF-Leiste und dem Nadelholz

### 10.4 Thermische Simulationen der Konsolen

Nachfolgende Ergebnisse stützen sich auf die Simulationen der Ecksituationen. In Antherm wurden die Pfostenkonstruktion und der verkürzte Riegel mit der Nadelholzleiste nachgebildet, zusammengesetzt und im Zusammenhang der Eckausbildung analysiert. Die Betrachtung der thermischen Simulationen stütze sich auf die Pfosten-Riegelkonstruktion, wie auch der Betrachtung der Messpunkte, durch den Einsatz von Konsolen im Eckbereich. Simuliert werden diese Konsolen aus herkömmlichen Baustahl,

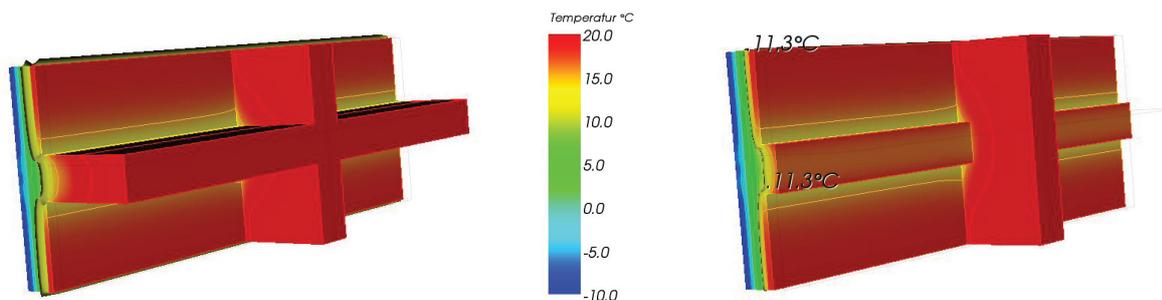


Abb. 109 Auszug aus Antherm für den Riegelentfall und der Konsolenanwendung

wie aber auch aus Alternativen, wie Hartplastik oder hybriden Anwendungen in Kombination aus Stahl und PVC. Anhand der anfänglich vermuteten Annahme, der Stahl würde eine Schwächung der Eckausbildung bedeuten, überraschten die ausgewiesenen thermischen Ergebnisse. Folgende Tabellen und Diagramme wurden zur verständlichen Veranschaulichung angefügt, um das Verhalten der Konstruktion auf eine Konsolenanbringung zu untersuchen.

### 10.5 Ergebnisse der L-verzahnten Koppelleiste mit Warm-Edge-Hybrid

Die Datensätze der Ausführung der winkelförmigen Koppelleiste zeigen in den vorigen Ergebnissen keinen Ansatz von Oberflächenkondensat im Riegel und Pfosten. In der Eckausbildung von Pfosten und Riegel ist laut den thermischen Ecksimulationen die Vermeidung von Kondensat nicht auszuschließen. Um den Temperaturfaktor zur Vermeidung von Kondensat zu erreichen, ist durch die Umformung der Rechnung des Temperaturfaktors (0,69) auf Seite 13 der ÖN B 8110-2 eine Temperatur von 10,7°C an der Oberfläche erforderlich. Für die zusätzliche Vermeidung von Schimmelpilzgefahr müsste die Temperatur an der Oberfläche mindestens 11,3°C betragen.

Die folgende Aufschlüsselung geht basierend von der Pfosten-Riegelkonstruktion und der Steigerung der Wärmeleitfähigkeit der Konsolen aus. Anfangs wurde nur Stahl ( $\lambda=60\text{W/m}$ ) als herkömmliche Methode und PVC ( $\lambda=0,17\text{ W/m}$ ) mit verbesserten Wärmeisolerfähigkeiten verwendet. Da die Simulationen mit einem besseren Wärmeleiter auch zu besseren Temperaturergebnissen führte, wurde in späterer Folge auch eine Konsole aus Aluminium mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=200\text{ W/mK}$  angedacht. Durch die bessere Wärmeleitfähigkeit wird gewährleistet, dass die Wärme des Innenraums in die Konstruktion gelangen kann. Hierdurch wird die Temperatur an der Oberfläche des Birkenfurnieres (Konsolenpunkte 1-9 außen) gesteigert, damit sich kein Kondensat direkt an der BKF-Leiste bilden kann, wie dies in der bisherigen Pfosten-Riegelkonstruktion der Fall war.

PUNKT	BEZEICHNUNG					
		1 mit Riegel	2 ohne Riegel ohne Konsole	3 Konsole Stahl	4 Konsole PVC-hart	5 Konsole Carbon
1	Konsolenpunkt - 1 außen	7,88	8,33	9,79	8,38	8,35
2	Konsolenpunkt - 2 außen	7,49	7,98	9,85	8,04	7,89
3	Konsolenpunkt - 3 außen	6,96	7,40	10,09	7,37	7,29
4	Konsolenpunkt - 4 außen	8,77	9,18	10,39	8,61	8,55
5	Konsolenpunkt - 5 außen	12,70	13,01	10,84	13,33	13,32
6	Konsolenpunkt - 6 außen	7,48	7,97	9,84	8,03	7,97
7	Konsolenpunkt - 7 außen	7,87	8,32	9,79	8,37	8,34
8	Konsolenpunkt - 8 außen	9,30	9,70	10,58	9,41	9,34
9	Konsolenpunkt - 9 außen	13,55	13,81	11,17	14,13	14,11
10	Konsolenpunkt - 1 innen	11,62	12,53	12,33	12,54	12,55
11	Konsolenpunkt - 2 innen	11,19	12,17	12,05	12,16	12,18
12	Konsolenpunkt - 3 innen	10,50	11,31	11,62	11,30	11,31
13	Konsolenpunkt - 4 innen	11,53	12,01	12,12	12,18	12,20
14	Konsolenpunkt - 5 innen	14,26	14,60	13,51	14,72	14,73
15	Konsolenpunkt - 6 innen	11,18	12,16	12,05	12,15	12,17
16	Konsolenpunkt - 7 innen	11,62	12,52	12,33	12,53	12,55
17	Konsolenpunkt - 8 innen	11,82	12,35	12,22	12,44	12,45
18	Konsolenpunkt - 9 innen	15,06	15,35	13,96	15,46	15,47
19	Innenkante - Riegel	12,90	13,26	13,34	13,29	13,29
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,51	12,91	13,03	12,93	12,93
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,00	12,41	12,50	12,44	12,44
22	Innenkante Pfosten	9,76	10,50	12,50	10,45	10,50
23	Riegel Feldmitte	14,60	16,03	16,03	16,03	16,03
24	Riegel Konsolenbeginn	14,44	15,96	15,92	15,97	15,97
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,70	15,46	15,53	15,45	15,46

 Gefahr  
Tauwasser  
Temp kleiner als :  
**9,3 °C**

 Innen  
Tauwasser  
Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Mit Hilfe der  
Stahlkonsole bildet  
sich an dem  
Birkenfurnier kein  
Kondensat.

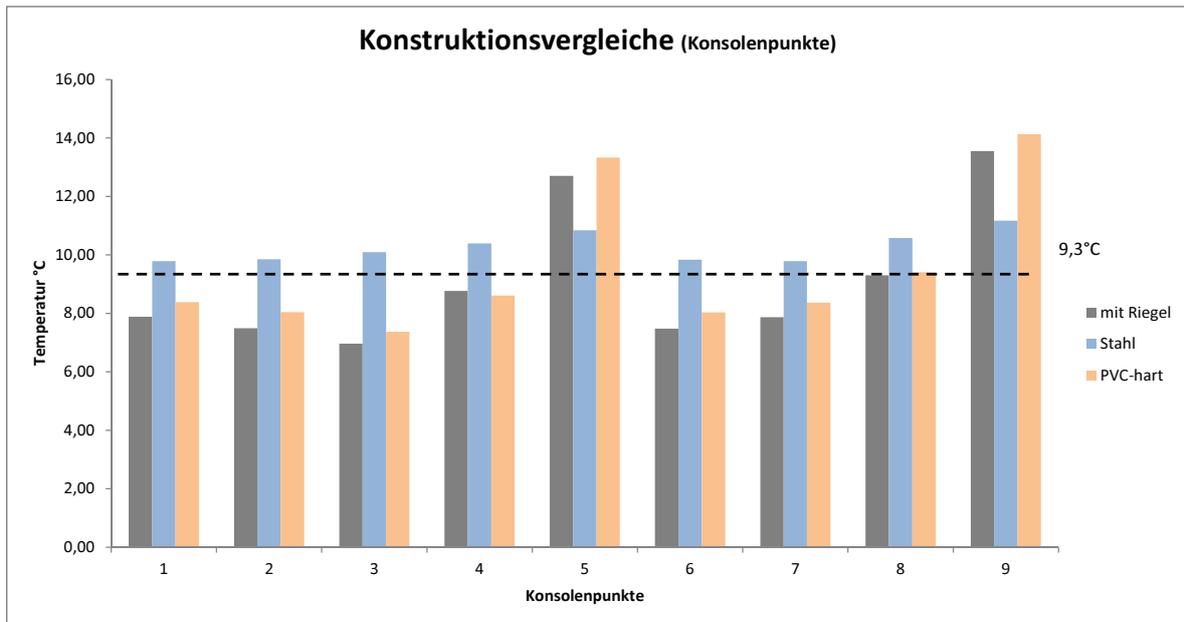
Kommentar Bei Entfall des Riegels ist nicht nur eine Verbesserung der Luftströmung anzunehmen, sondern es wurde eine Verbesserung der der Temperaturen simuliert. Dies lässt sich in den thermischen Auswertungen dadurch erklären, dass die warme Luft näher an die Rahmenkonstruktion herankommt und bessere Einflüsse erzielt, selbst wenn sich dies nur in einem Bereich von 0,5 - 2 °C beschränkt.

ITI-Chroma.

Tab. 39 Messergebnisse der Konsolensimulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH

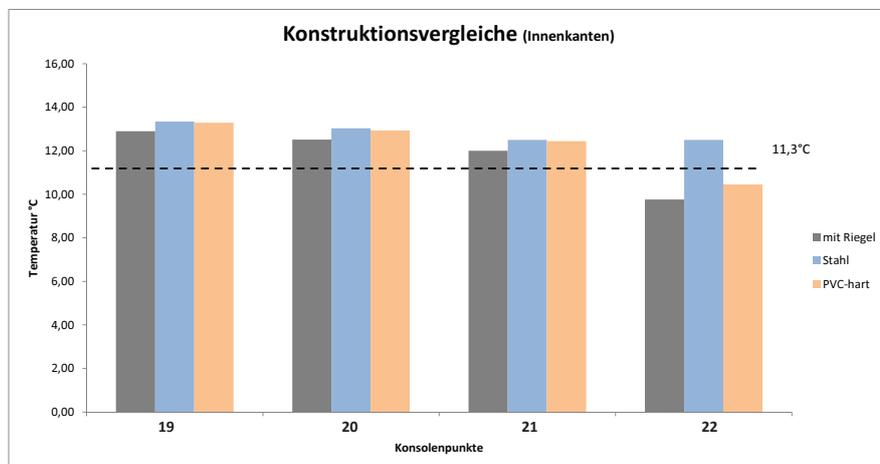
## Untersuchung der Konsolenmöglichkeit

Selbst durch die Anwendung des Chromatech Ultra und der Ausführung als Pfosten-Riegel-Konstruktion mit einer winkelförmigen Koppelleiste ist in der Ecke eine Kondensatbildung nicht gänzlich zu vermeiden. Die Temperaturen der einzelnen Messpunkte an der Konsole weisen auf eine Kondensatbildung direkt an der BKF-Koppelleiste hin. Der Einsatz einer Konsole aus Baustahl mit einer Leitfähigkeit von  $\lambda=60 \text{ W/m}$ , erhöht die Temperatur der Koppelleiste so weit, dass eine Kondensatbildung in der Simulation vermieden wird. Die Ausführung durch PVC mit  $\lambda=0,17 \text{ W/m}$  deutet nur auf eine geringfügige Verbesserung des Bauteils hin. Mit Ausnahme des Pfostens

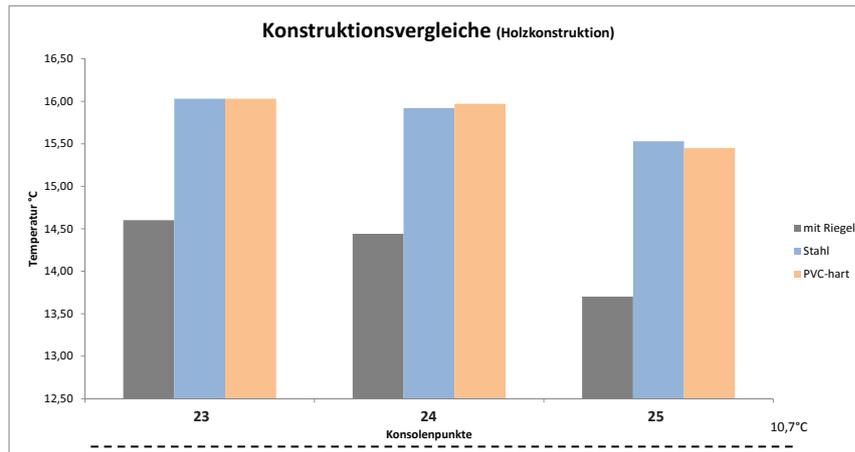


Diag. 40 Konsolenpunkte der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH

befinden sich die inneren Oberflächentemperaturen am Falz über den erforderlichen  $11,3^\circ\text{C}$ , die aber durch die Ausführung einer Stahlkonsole um  $\Delta T = 0,41-0,52$  weiter erhöht werden können. Für die Schnittstelle der Pfosten und Riegel des Innenfalzes ist hier nur durch die Anwendung einer Stahlkonsole die Erfüllung der thermischen Bedingungen möglich. Für die Oberfläche der Hölzer im Innenraum ist eine Temperaturerhöhung festzustellen, jedoch liegen die Messwerte bei jeder



Diag. 41 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH



Diag. 42 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH

Konstruktionsvariante über den mindest erforderlichen Oberflächentemperaturen. Die Divergenz, die anhand der Konsole erreicht werden kann, beträgt für die Ausführung von Stahl  $\Delta T = 1,43^\circ K$  und von PVC  $\Delta T = 1,37^\circ K$ .

#### 10.4.1 Weiterer Ansatz der Untersuchungen mit hybriden Konsolen (PVC-Stahl)

Eine Betrachtung der weiteren Optimierungsmöglichkeiten der Stahlkonsole, mittels der thermischen Trennung von PVC, bringt ebenfalls nicht die ursprünglich erwarteten Ergebnisse. Wie im Falle der Schraubung und der bisherigen Konsolenbetrachtung, deutet ein hybrider Einsatz von Materialien mit schlechterer Wärmeleitfähigkeit auf eine Schwächung der Konstruktion hin. Unter Anwendung einer 2mm dicken Schicht von PVC in Kombination von beidseitig 4mm dickem Stahl, wird Kondensat direkt an der BKF-Koppelleiste nachgewiesen, was bei 4mm PVC und beidseitigen 3mm Stahl

PUNKT	BEZEICHNUNG	Konsole	Konsole	Konsole
		Stahl	Stahl-Hybrid PVC 2	Stahl-Hybrid PVC 4
1	Konsolenpunkt - 1 außen	9,79	9,16	9,43
2	Konsolenpunkt - 2 außen	9,85	9,25	9,51
3	Konsolenpunkt - 3 außen	10,09	9,64	9,85
4	Konsolenpunkt - 4 außen	10,39	10,17	10,27
5	Konsolenpunkt - 5 außen	10,84	10,93	10,90
6	Konsolenpunkt - 6 außen	9,84	9,24	9,51
7	Konsolenpunkt - 7 außen	9,79	9,16	9,42
8	Konsolenpunkt - 8 außen	10,58	10,44	10,50
9	Konsolenpunkt - 9 außen	11,17	11,36	11,28
10	Konsolenpunkt - 1 innen	12,33	12,47	12,43
11	Konsolenpunkt - 2 innen	12,05	12,26	12,21
12	Konsolenpunkt - 3 innen	11,62	11,89	11,83
13	Konsolenpunkt - 4 innen	12,12	12,30	12,25
14	Konsolenpunkt - 5 innen	13,51	13,68	13,59
15	Konsolenpunkt - 6 innen	12,05	12,26	12,20
16	Konsolenpunkt - 7 innen	12,33	12,47	12,43
17	Konsolenpunkt - 8 innen	12,22	12,44	12,38
18	ts, min - 9 innen	13,96	14,17	14,06
19	egel	13,34	13,33	13,34
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	13,03	13,04	13,05
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,50	12,53	12,53
22	Innenkante Pfosten	12,50	10,74	10,62
23	Riegel Feldmitte	16,03	16,03	16,03
24	Riegel Konsolenbeginn	15,92	15,96	15,95
25	Anschluß Pfosten Riegel	15,53	15,62	15,60

Gefahr  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**9,3 °C**

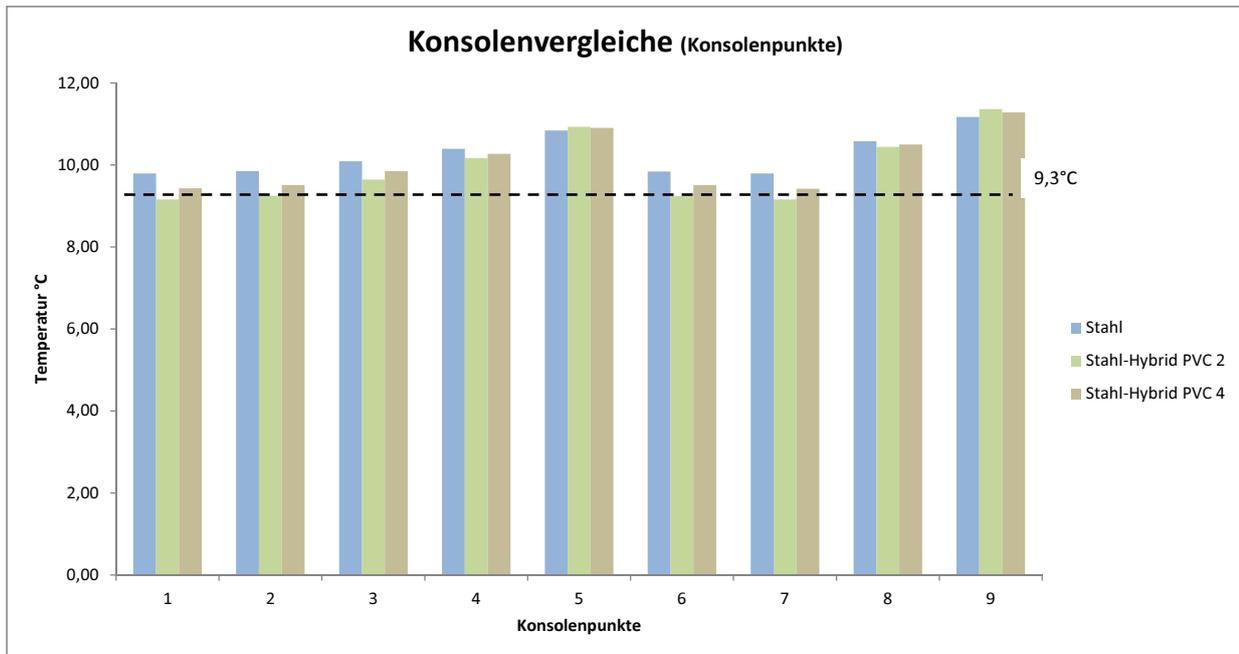
Innen  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Kommentar Bis auf die ausreichende Temperierung im Pfostenbereich ist durch die Hybride (Stahl-Kunststoff-Stahl) eine Verbesserung der Konstruktionsseite im Innenraum möglich, doch gibt es bei der Ausführung der Hybriden Variante mit einer thermischen Trennung von PVC = 2mm ein Kondensat an der Stahl- und Birkenfurniersperrholzoberfläche im Hohlraum.

ITI-Chroma.

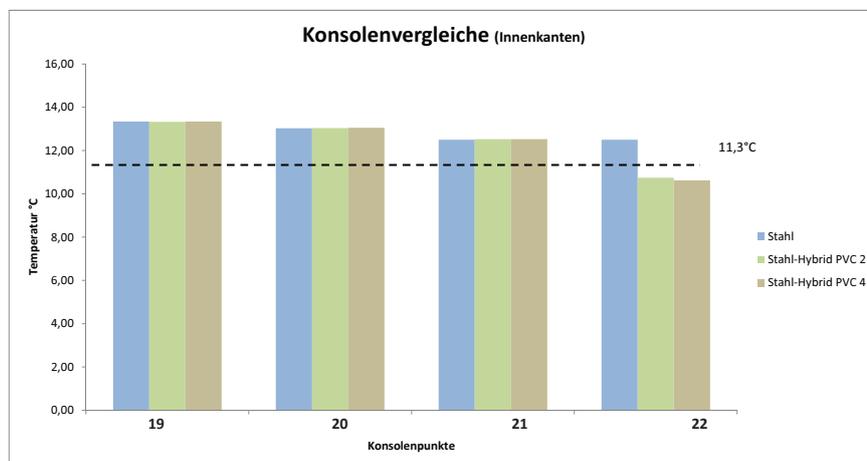
Tab. 43 Tabelle zur Übersicht der Vergleiche von hybriden Konsolenelementen, WEH

noch vermieden werden kann. Eine reine Stahlkonsole übertrifft die Resultate der thermischen Simulationen. Die Diagramme zeigen die Temperaturreduktion, welche durch die Anwendung von hybriden Konsolenbestandteilen entsteht. Einzige Ausnahme stellt die Untersuchungen in den Messpunkten der Pfosten dar, wo eine verbesserte Isolierfähigkeit des Materials oder des Hybrids von Vorteil ist. In der Gesamtbetrachtung jedoch schneidet eine reine Stahlausführung in diesem Vergleich am Besten ab. Die Messpunkte der Konsole am horizontalen Riegel ergeben eine

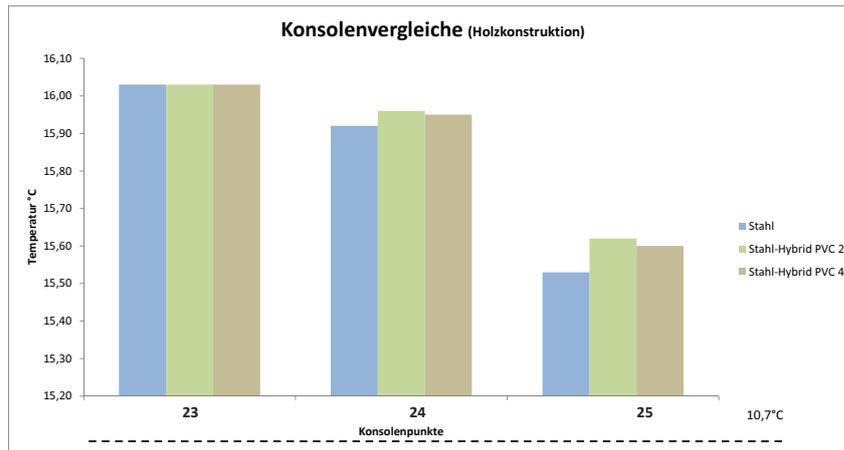


Diag. 44 Vergleich der Konsolenmesspunkten mit hybriden Konsolen, WEH

Differenz von  $\Delta T=0,54^{\circ}K$ , während an den Pfostenpunkten nur geringere Differenzen um  $\Delta T= 0,06^{\circ}K$  erreicht werden. Jene Werte, welche für die inneren Oberflächentemperaturen des Falzes der Holzkonstruktion ausgegeben werden, unterscheiden sich nicht durch die Anwendung von Hybriden. Für die Messpunkte des Riegels, des ersten Konsolenpunkts am Riegel und des Innenecks sind keine Ausschläge von Divergenzen in der Grafik zu verzeichnen. Eine Konsolenausführung in Stahl würde jedoch eine Erhöhung der Temperatur in der Falzausbildung des Pfostens nach sich ziehen. Eine



Diag. 45 Vergleich der Ergebnissen der Innenkanten mit hybriden Konsolen, WEH



Diag. 46 Vergleich der Ergebnissen der Holzoberfläche mit hybriden Konsolen, WEH

Bemessung der inneren Oberflächentemperaturen der Holzkonstruktionen deutet in der Simulation nur auf eine thermische Verbesserung des Pfostens, da allein hier die Temperaturdifferenz  $\Delta T=0,07^{\circ}K$  ergibt.

### 10.5 Ergebnisse der verzahnten Koppelleiste mit Warm-Edge-Hybrid

Für die Konstruktionsvariante seitens der Herstellerfirma Petschenig Glastec GmbH kann für den Eckbereich lediglich mit einer Verwendung von PVC-hart eine Kondensatgefahr nachgewiesen werden. Bei der Anwendung einer Stahlkonsole bieten sich wieder höhere Temperaturen im Hohlraum, anhand der besseren Wärmeleitfähigkeit von Stahl an. Auch hier ist der gewünschte Effekt zu verzeichnen, dass es keine direkte Kondensatbeanspruchung am Birkenfurniersperrholz gibt. Die positive Temperaturdifferenz der Messpunkte beläuft sich bei  $\Delta T=2,015^{\circ}K$ . Ebenso sind

PUNKT	BEZEICHNUNG	1					2					3					4					5				
		mit Riegel					ohne Riegel ohne Konsole					Konsole Stahl					Konsole PVC-hart					Konsole Carbon				
1	Konsolenpunkt - 1 außen	7,95	8,27	9,82	8,35	x																				
2	Konsolenpunkt - 2 außen	7,56	7,92	9,88	8,04	x																				
3	Konsolenpunkt - 3 außen	7,00	7,35	10,13	7,43	x																				
4	Konsolenpunkt - 4 außen	8,94	9,18	10,42	8,67	x																				
5	Konsolenpunkt - 5 außen	12,92	13,00	10,88	13,34	x																				
6	Konsolenpunkt - 6 außen	7,54	7,91	9,88	8,03	x																				
7	Konsolenpunkt - 7 außen	7,94	8,26	9,81	8,34	x																				
8	Konsolenpunkt - 8 außen	9,52	9,74	10,62	9,46	x																				
9	Konsolenpunkt - 9 außen	13,76	13,81	11,21	14,14	x																				
10	Konsolenpunkt - 1 innen	11,88	12,56	12,38	12,57	x																				
11	Konsolenpunkt - 2 innen	11,43	12,21	12,09	12,20	x																				
12	Konsolenpunkt - 3 innen	10,71	11,26	11,67	11,26	x																				
13	Konsolenpunkt - 4 innen	11,73	12,11	12,15	12,21	x																				
14	Konsolenpunkt - 5 innen	14,47	14,60	13,53	14,73	x																				
15	Konsolenpunkt - 6 innen	11,42	12,20	12,09	12,19	x																				
16	Konsolenpunkt - 7 innen	11,87	12,56	12,38	12,57	x																				
17	Konsolenpunkt - 8 innen	12,01	12,36	12,25	12,47	x																				
18	Konsolenpunkt - 9 innen	15,27	15,35	13,98	15,47	x																				
19	Innenkante - Riegel	13,20	13,26	13,34	13,29	x																				
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,80	12,91	13,05	12,95	x																				
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,26	12,41	12,52	12,46	x																				
22	Innenkante Pfosten	10,73	11,05	11,15	10,52	x																				
23	Riegel Feldmitte	14,76	16,04	16,05	16,05	x																				
24	Riegel Konsolenbeginn	14,60	15,97	15,94	15,94	x																				
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,85	15,47	15,56	15,48	x																				

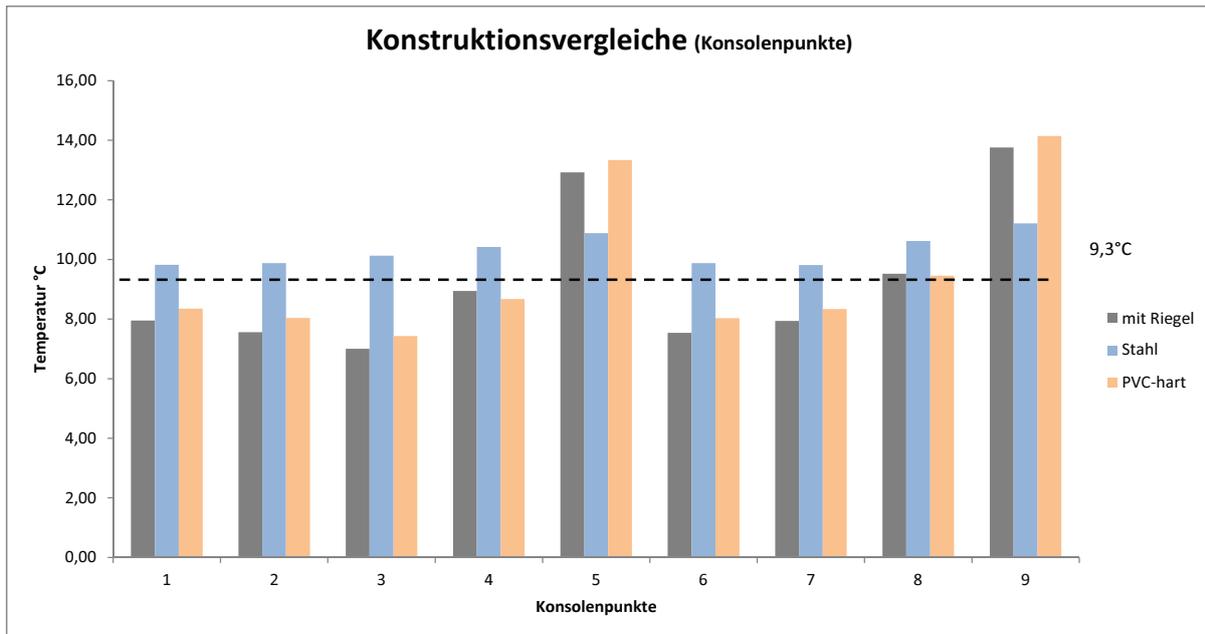
Gefahr  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**9,3 °C**  
 Innen  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**10,7 °C**  
 Mit Hilfe der  
 Stahlkonsole bildet  
 sich an dem  
 Birkenfurnier kein  
 Kondensat.

Kommentar Bei Entfall des Riegels ist nicht nur eine Verbesserung der Luftströmung anzunehmen, sondern es wurde eine Verbesserung der der Temperaturen simuliert. Dies lässt sich in den thermischen Auswertungen dadurch erklären, dass die warme Luft näher an die Rahmenkonstruktion herankommt und bessere Einflüsse erzielt, selbst wenn sich dies nur in einem Bereich von 0,5 - 2 °C beschränkt.

Petsch.-Chroma.

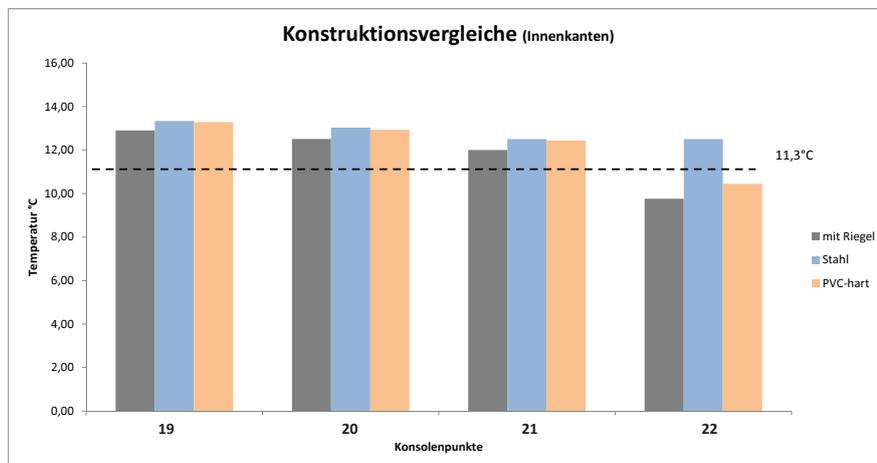
Tab. 47 Messergebnisse der Konsolensimulation für einfach verzahnte Koppelleiste, WEH

in der Darstellung 48 sind die Temperaturwerte miteinander verglichen und zeigen deutlich, dass allein durch die Anwendung von Stahl als Konsolenmaterial die Temperaturwerte über den notwendigen  $T=9,3^{\circ}\text{C}$  liegen. Eine Ausführung in Hartplastik wird auch hier, bis zur Ausnahme des Pfostenbereiches, nur eine geringfügige Verbesserung bewirken. Die größte Temperaturdifferenz ist am Knotenpunkt aller Konsolen mit  $\Delta T= 3,13^{\circ}\text{k}$  gemessen.

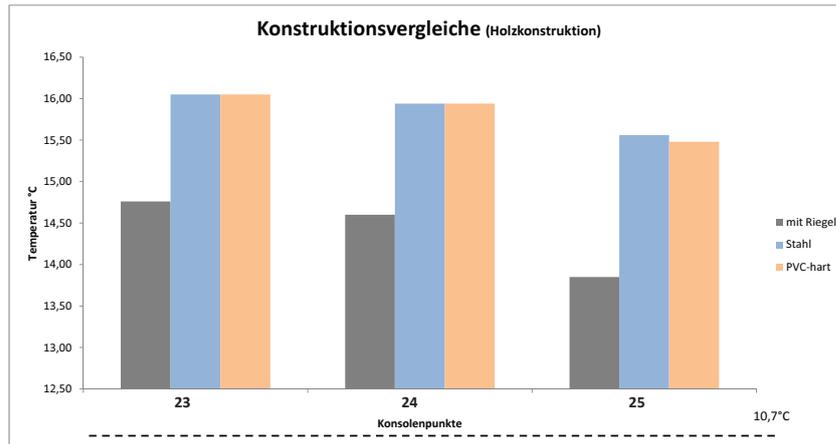


Diag. 48 Konsolenpunkte der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, WEH

Identisch zur winkelförmigen Koppelleiste, kann bei der einfach verzahnten Variante durch eine Stahlkonsole bei den inneren Falztemperaturen kein wesentlich besserer Wert simuliert werden. Die Divergenz zwischen den Ergebnissen der Pfosten-Riegel-Konstruktion und der Stahlkonsole beträgt  $\Delta T = 0,14-0,25^{\circ}\text{K}$ . Der Unterschied, der sich in der Ausführung der einfach verzahnten Koppelleiste



Diag. 49 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, WEH



Diag. 50 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, WEH

ergibt, ist bei den inneren Oberflächentemperaturen der Holzkonstruktion zu finden. Mit einer Stahl- oder PVC-Konsole liegen die Temperaturwerte am Riegel und in der Eckverbindung von Rieglersatz und Pfosten gleich auf, wobei ein minimal höherer Wert an der Oberfläche des Pfostens bemessen werden kann.

### 10.6 Ergebnisse der L-verzahnten Koppelleiste - Edelstahlabstandhalter (V2A)

Die Optimierung einer Stahlkonsole an den Varianten der Überdeckungen des Birkenfurnieres mit konventionellen Glasabstandhaltern wurde mit den Simulationen überprüft. Das Ergebnis zeigte die gleiche Problematik der Tauwasseranfälligkeit am Birkenfurnierholz, wie die bisherigen Pfosten- und Riegelemente. Die Analysen wiesen sehr niedrige Temperaturen unter der 9,3°C-Grenze an der winkelförmigen BKF-Leiste aus, was sehr stark auf eine Tauwasserbildung deutet. Eine Durchführung ohne einer Stahlkonsole würde bei der Falzausbildung an der Ecke zu Pfosten und Riegel zu Kondensat an der Innenraumseite führen.

PUNKT	BEZEICHNUNG	Temperaturwerte					Gefahr Tauwasser Temp kleiner als : 9,3 °C
		1 mit Riegel	2 ohne Riegel ohne Konsole	3 Konsole Stahl	4 Konsole PVC-hart	5 Konsole Carbon	
1	Konsolenpunkt - 1 außen	4,18	4,76	5,72	4,80	x	Innen Tauwasser Temp kleiner als : 10,7 °C  Weiteres wird eine Lösung gesucht, da sich im Zwischenraum der Konstruktion Tauwasser bilden kann und wird.
2	Konsolenpunkt - 2 außen	3,64	4,25	5,68	4,36	x	
3	Konsolenpunkt - 3 außen	3,09	3,62	5,64	3,78	x	
4	Konsolenpunkt - 4 außen	2,50	2,91	5,53	2,73	x	
5	Konsolenpunkt - 5 außen	8,89	9,25	6,21	9,69	x	
6	Konsolenpunkt - 6 außen	3,61	4,22	5,67	4,33	x	
7	Konsolenpunkt - 7 außen	4,16	4,75	5,71	4,79	x	
8	Konsolenpunkt - 8 außen	2,82	3,22	5,84	3,38	x	
9	Konsolenpunkt - 9 außen	10,45	10,76	6,77	11,19	x	
10	Konsolenpunkt - 1 innen	8,26	9,55	9,17	9,55	x	
11	Konsolenpunkt - 2 innen	7,64	9,01	8,68	9,03	x	
12	Konsolenpunkt - 3 innen	6,79	7,70	7,84	7,82	x	
13	Konsolenpunkt - 4 innen	7,36	8,04	8,20	8,25	x	
14	Konsolenpunkt - 5 innen	11,03	11,43	10,10	11,67	x	
15	Konsolenpunkt - 6 innen	7,61	8,98	8,66	9,00	x	
16	Konsolenpunkt - 7 innen	8,25	9,54	9,16	9,53	x	
17	Konsolenpunkt - 8 innen	7,66	8,27	8,27	8,52	x	
18	Konsolenpunkt - 9 innen	12,42	12,75	10,89	12,97	x	
19	Innenkante - Riegel	12,19	12,32	12,02	12,06	x	
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	10,50	11,48	10,99	11,08	x	
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	10,72	10,94	10,76	10,94	x	
22	Innenkante Pfosten	12,76	13,19	12,55	13,31	x	
23	Riegel Feldmitte	12,37	14,69	14,69	14,69	x	
24	Riegel Konsolenbeginn	12,14	14,57	14,47	14,58	x	
25	Anschluß Pfosten Riegel	11,04	13,60	13,61	13,63	x	

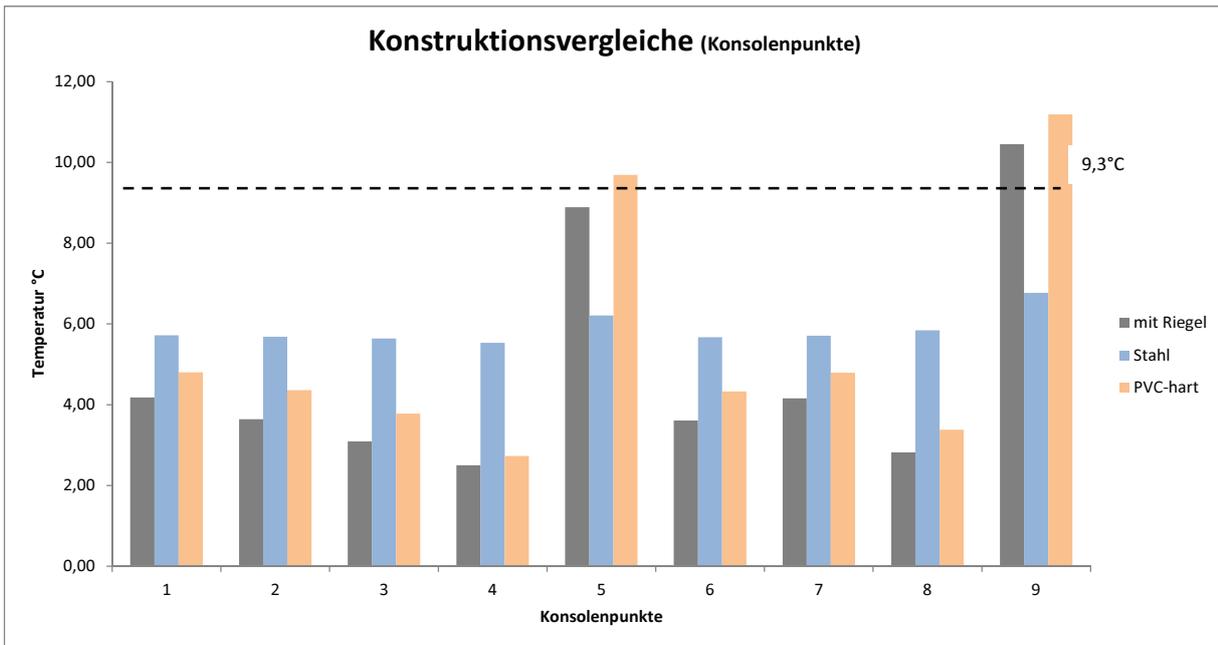
Kommentar Die Ausführung mittels der konventionellen Glasabstandhalter ist mit der Überdeckung des Birkenfurnieres möglich. Jedoch zeichnet sich in den Eckpunkten eine Verlagerung der Kälte in den Hohlraum, da dieser nicht mehr durch den Warm-Edge-Hybrid geschützt wird. Hier kommt es durch den Temperaturabfall zu Kondensat am Birkenfurnier, bzw. an der Konsole.

ITI-Konv.Opt.

Tab. 51 Messergebnisse der Konsolensimulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A

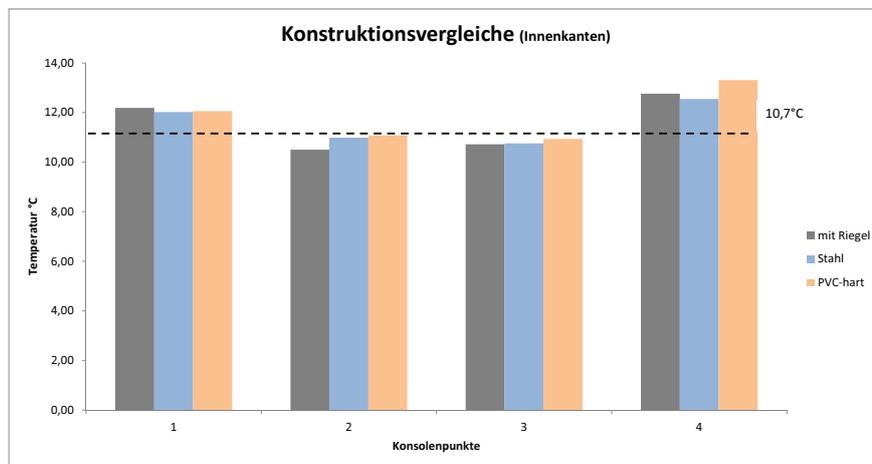
Untersuchung der Konsolenmöglichkeit

Keine der bisherigen Ausführungen ermöglicht eine Vermeidung von Tauwasserbildung an der Oberfläche des Birkenfurniers oder an der Stahlkonsole. Im gesamten Vergleich schneidet jedoch bei der Ausführung von konventionellen Abstandhaltern die riegelfreie Ausführung mit einer Stahlkonsole am besten ab. Alle simulierten Werte liegen unterhalb des Taupunkts, weswegen angeraten wird, bei dieser Variante das Birkenfurniersperrholz mittels eines Neoprenbandes zu schützen. Die Divergenz schwankt im Bereich zwischen 1,54-3,03°K. Das Tauwasser kann im

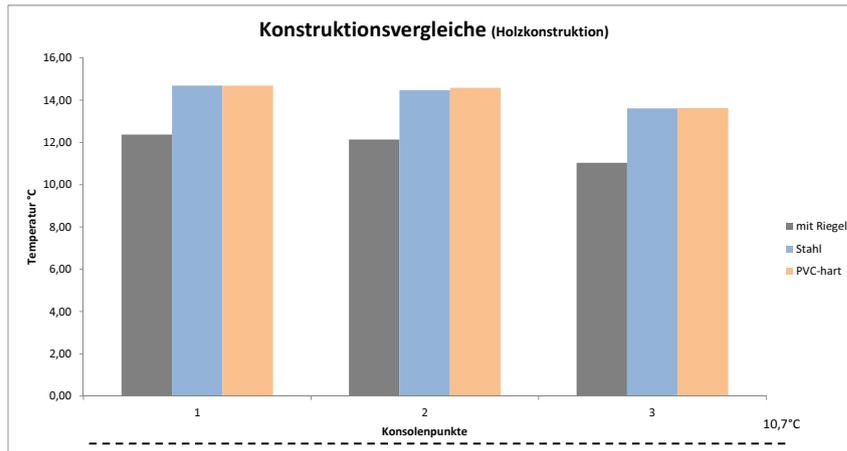


Diag. 52 Konsolenpunkte der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A

Hohlraum abgeleitet und über den Rahmen am Pfostenabschluss abrinnen, jedoch ist bei allen Ausführungen im Eckbereich der Falzausbildung von Pfosten und Riegel eine Schimmelpilzgefahr zu vermerken. Für die Außentemperatur  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  wird der Wert von  $11,3^\circ\text{C}$  nur knapp nicht erreicht, was nicht zwangsläufig ein Zustandekommen von Schimmelpilzen an dieser Stelle bedeutet. Für den Riegeleratz und den Pfosten konnten positive Resultate in den Simulationen nachgewiesen



Diag. 53 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A



Diag. 54 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A

werden. Ohne Warm-Edge-Hybrid können generell geringere Temperaturen an der Holzoberfläche der Tragkonstruktion erreicht werden, als mit der Verwendung des teureren Glasabstandhalters ( $\Delta T=1,5-2,5^{\circ}\text{C}$ ). Höhere Temperaturen, verglichen mit der bisherigen Pfosten-Riegel-Variante sind mit der Stahlkonsole um  $\Delta T= 2,4^{\circ}\text{K}$  zu erreichen.

### 10.6.1 Weiterer Ansatz der Untersuchungen mit hybriden Konsolen (PVC-Stahl)

Wie in den vorigen Untersuchungen zeigen sich an den Ergebnissen keine Verbesserungen, durch die Anwendung von Konsolen-Hybriden. Die Verringerung der Wärmeleitfähigkeit führt auch in diesen Datensätzen zu einer Senkung der Temperaturen, wobei sich bei dem Verzicht eines Warm-Edge-Hybrid (Abstandhalter) bei allen Konstruktionsvarianten ein Kondensat im Hohlraum am Birkenfurnier bildet. Empfohlen wird der Schutz mit einem Neoprenband gegen direktes Tauwasser.

PUNKT	BEZEICHNUNG	Konsolenvarianten		
		Konsole Stahl	Konsole Stahl-Hybrid PVC 2	Konsole Stahl-Hybrid PVC 4
1	Konsolenpunkt - 1 außen	5,72	5,35	5,51
2	Konsolenpunkt - 2 außen	5,68	5,33	5,48
3	Konsolenpunkt - 3 außen	5,64	5,39	5,51
4	Konsolenpunkt - 4 außen	5,53	5,41	5,47
5	Konsolenpunkt - 5 außen	6,21	6,26	6,24
6	Konsolenpunkt - 6 außen	5,67	5,32	5,48
7	Konsolenpunkt - 7 außen	5,71	5,34	5,49
8	Konsolenpunkt - 8 außen	5,84	5,76	5,80
9	Konsolenpunkt - 9 außen	6,77	6,89	6,84
10	Konsolenpunkt - 1 innen	9,17	9,27	9,24
11	Konsolenpunkt - 2 innen	8,68	8,83	8,80
12	Konsolenpunkt - 3 innen	7,84	8,02	7,98
13	Konsolenpunkt - 4 innen	8,20	8,32	8,29
14	Konsolenpunkt - 5 innen	10,10	10,23	10,16
15	Konsolenpunkt - 6 innen	8,66	8,81	8,77
16	Konsolenpunkt - 7 innen	9,16	9,26	9,23
17	Konsolenpunkt - 8 innen	8,27	8,42	8,38
18	Konsolenpunkt - 9 innen	10,89	11,05	10,97
19	Innenkante - Riegel	12,02	12,01	12,02
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	10,99	11,00	11,01
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	10,99	11,02	11,02
22	Innenkante Pfosten	11,80	10,14	10,03
23	Riegel Feldmitte	14,69	14,69	14,69
24	Riegel Konsolenbeginn	14,47	14,51	14,50
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,61	13,69	13,67

Gefahr  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als : **9,3 °C**  
 innen  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als : **10,7 °C**

Kommentar

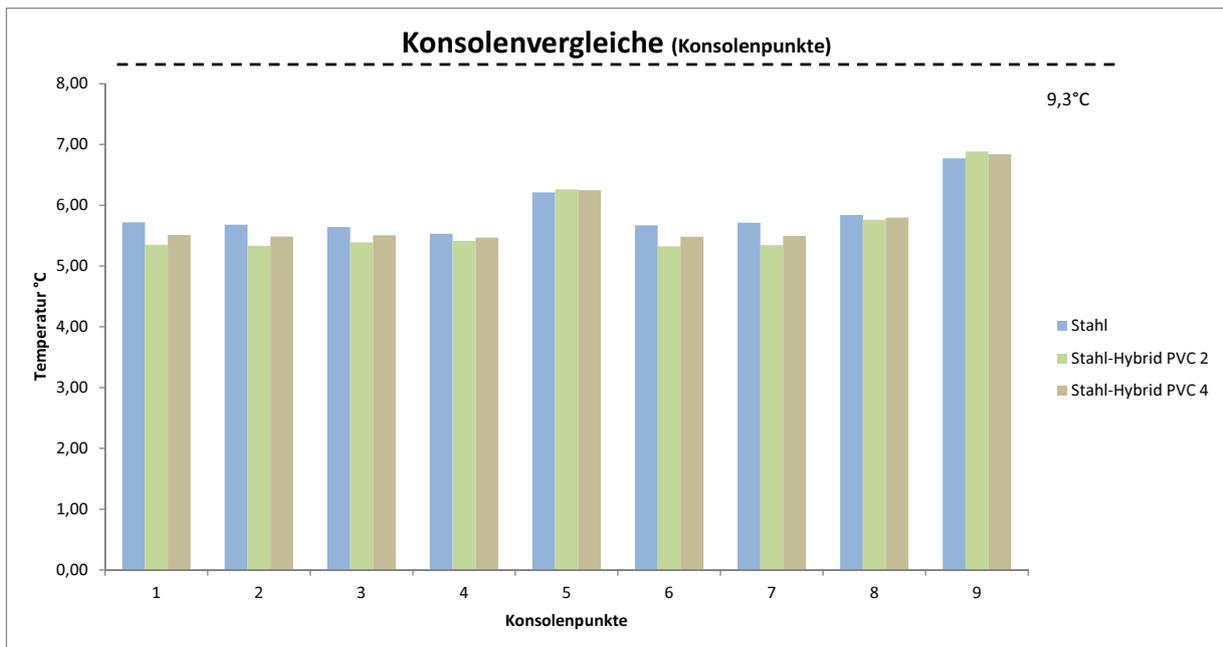
Die Ausführung mittels der konventionellen Glasabstandhalter ist mit der Überdeckung des Birkenfurnieres möglich. Jedoch zeichnet sich in den Eckpunkten eine Verlagerung der Kälte in den Hohlraum, da dieser nicht mehr durch den Warm-Edge-Hybrid geschützt wird. Hier kommt es durch den Temperaturabfall zu Kondensat am Birkenfurnier, bzw. an der Konsolenkante.

ITI-Konv.Opt.

Tab. 56 Tabelle zur Übersicht der Vergleiche von hybriden Konsolenelementen, V2A

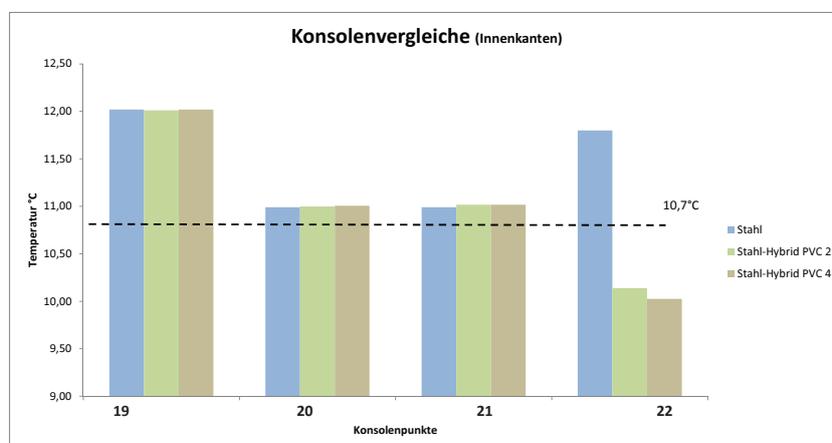
## Untersuchung der Konsolenmöglichkeit

Die im Diagramm 57 dargestellte Veranschaulichung der Simulationsergebnisse zeigt deutlich, dass kein Oberflächenpunkt an der Konsole und des Birkenfurniers die Taupunkttemperatur überschreiten kann. Mit der Überdeckung und dem Verzicht auf Chromatech Ultra sind selbst mit der Konsolenausführung von 4mm Hartplastik ( $\lambda=0,17 \text{ W/m}$ ) und beidseitigem Stahl ( $\lambda=50 \text{ W/m}$ ) in diesem Falle keine Temperaturen, welche die  $9,3^\circ\text{C}$ -Grenze überschreiten, zu erreichen. Der Temperaturverlust im Hohlraum betrifft im Vergleich zur Anwendung des Chromatech Ultras  $\Delta T = -3,92 - -4,66^\circ\text{K}$ . Die

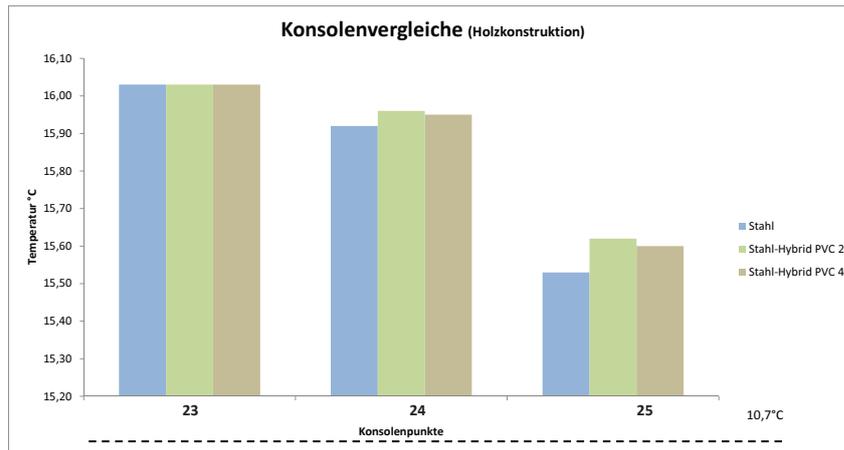


Diag. 57 Vergleich der Konsolenmesspunkte mit hybriden Konsolen, V2A

Differenzen im Anbetracht der inneren Falztemperaturen betreffe nur die halbe Temperaturdifferenz mit  $\Delta T = -1,32 - -2,04$ , als es im Hohlraum der Fall ist. Selbst durch die geringe Temperaturänderung ist es nicht möglich, die Bedingungen der Norm zu erfüllen. Die Schwachstelle für die Anwendung von hybriden Konsolen ergibt sich hier laut Diagramm 58 an der Falzausbildung des Pfostens mit einer Differenz von  $\Delta T = 0,56$  für den PVC-2mm-Hybriden und  $\Delta T = 0,67$  für den PVC-4mm-Hybriden.



Diag. 58 Vergleich der Ergebnissen der Innenkanten mit hybriden Konsolen, V2A



Diag. 59 Vergleich der Ergebnissen der Holzoberfläche mit hybriden Konsolen, V2A

Um den Temperaturwert der Stahlkonsole erreichen zu können, fehlen  $\Delta T = 1,66$  für den PVC-2mm-Hybriden und  $\Delta T = 1,77$  für den PVC-4mm-Hybriden. Anhand der Stahlkonsole weist die innere Oberfläche des Nadelholzpfostens eine um nur  $\Delta T = -0,09$  geringere Temperatur auf.

### 10.7 Ergebnisse der verzahnten Koppelleiste - Edelstahlabstandhalter (V2A)

Die Ausführung mit der Überdeckung von 24mm und einem konventionellen Glasabstandhalter aus Edelstahl würde gleichfalls mit der einfach verzahnten Koppelleiste, nicht nur aus technischer, sondern auch aus thermischer Sicht nur mit einer Stahlkonsole möglich sein. Eine Pfosten-Riegel-Konstruktion erfüllt im Eckbereich der Falzausbildungen um  $\Delta T = -1,4$  °K, nicht die geforderten Kriterien zur Tauwasservermeidung. Die PVC-Konsole wäre hier auf die Schimmelbildungsfahr noch kritisch in Frage zu stellen, während die Stahlkonsole wieder als thermisch beste Lösung

PUNKT	BEZEICHNUNG	1					2					3					4					5				
		mit Riegel	ohne Riegel	ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon	mit Riegel	ohne Riegel	ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon	mit Riegel	ohne Riegel	ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon	mit Riegel	ohne Riegel	ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon	
1	Konsolenpunkt - 1 außen	4,14	4,72	5,68	4,75	x																				
2	Konsolenpunkt - 2 außen	3,60	4,21	5,64	4,32	x																				
3	Konsolenpunkt - 3 außen	3,06	3,58	5,61	3,74	x																				
4	Konsolenpunkt - 4 außen	2,49	2,90	5,51	2,71	x																				
5	Konsolenpunkt - 5 außen	8,89	9,25	6,19	9,68	x																				
6	Konsolenpunkt - 6 außen	3,57	4,18	5,63	4,29	x																				
7	Konsolenpunkt - 7 außen	4,12	4,71	5,67	4,73	x																				
8	Konsolenpunkt - 8 außen	2,88	3,28	5,82	3,37	x																				
9	Konsolenpunkt - 9 außen	10,45	10,76	6,75	11,18	x																				
10	Konsolenpunkt - 1 innen	8,31	9,60	9,22	9,58	x																				
11	Konsolenpunkt - 2 innen	7,68	9,06	8,73	9,07	x																				
12	Konsolenpunkt - 3 innen	6,84	7,75	7,87	7,84	x																				
13	Konsolenpunkt - 4 innen	7,37	8,05	8,19	8,25	x																				
14	Konsolenpunkt - 5 innen	11,03	11,43	10,09	11,66	x																				
15	Konsolenpunkt - 6 innen	7,66	9,04	8,71	9,05	x																				
16	Konsolenpunkt - 7 innen	8,30	9,59	9,21	9,58	x																				
17	Konsolenpunkt - 8 innen	7,66	8,28	8,26	8,52	x																				
18	Konsolenpunkt - 9 innen	12,42	12,75	10,88	12,96	x																				
19	Innenkante - Riegel	11,57	12,36	12,32	11,94	x																				
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	9,96	10,60	11,76	11,17	x																				
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	9,30	11,04	10,72	10,79	x																				
22	Innenkante Pfosten	12,53	13,88	13,56	13,33	x																				
23	Riegel Feldmitte	12,39	14,71	14,75	14,75	x																				
24	Riegel Konsolenbeginn	12,16	14,59	14,55	14,64	x																				
25	Anschluß Pfosten Riegel	11,06	13,62	13,68	13,69	x																				

Gefahr  
Tauwasser  
Temp kleiner als:  
**9,3 °C**

Innen  
Tauwasser  
Temp kleiner als:  
**10,7 °C**

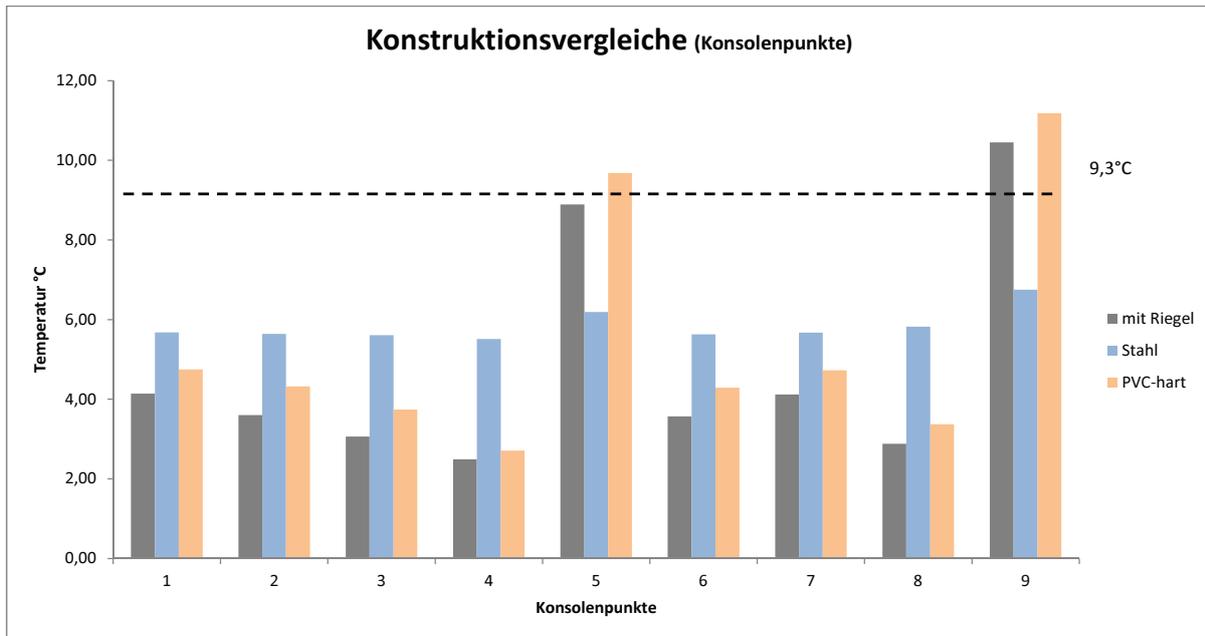
Weiters wird eine Lösung gesucht, da sich im Zwischenraum der Konstruktion Tauwasser bilden kann und wird.

Kommentar Die Ausführung mittels der konventionellen Glasabstandhalter ist mit der Überdeckung des Birkenfurnieres im Zusammenhang mit der Stahlkonsole möglich. Jedoch zeichnet sich in den Eckpunkten eine Verlagerung der Kälte in den Hohlraum, da dieser nicht mehr durch den Warm-Edge-Hybrid geschützt wird. Hier kommt es durch den Temperaturabfall zu Kondensat am Birkenfurnier, bzw. an der Konsole.

Petsch.-Konv.Opt.

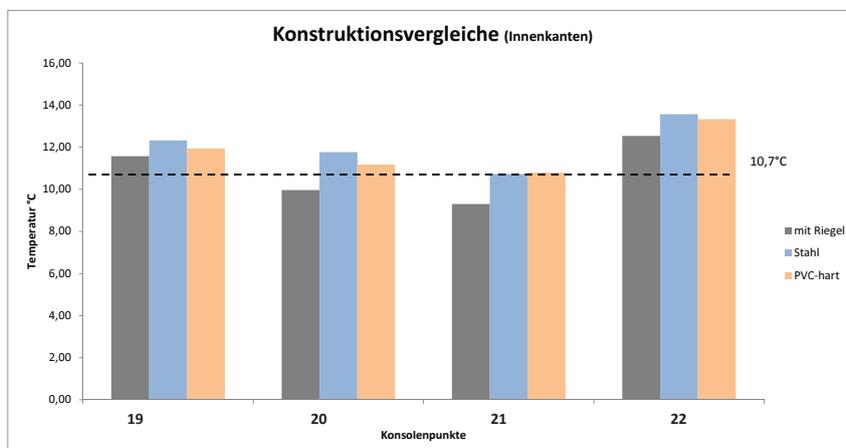
Tab. 60 Messergebnisse der Konsolensimulation für einfach verzahnte Koppelleiste, V2A

anzubieten ist. Die Stahlkonsole kann den thermischen Verlust des Warm-Edge-Hybrids durch dessen Temperatureinleitung der Innenwärme auch bei der einfach verzahnten Koppelleiste nicht ausgleichen. Die fehlende Temperaturdifferenz an der Oberfläche der BKF-Leiste im Hohlraum der Konstruktion beträgt  $\Delta T = -2,55$  bis  $-3,69$ , was auch hier zu einer Kondensatanfälligkeit und einer Bildung von Tauwasser direkt am Birkenfurnier führt. Nur im Pfostenbereich wäre eine Anwendung einer PVC-Konsole möglich, da hier die erforderlichen Temperaturwerte überschritten werden. Ein

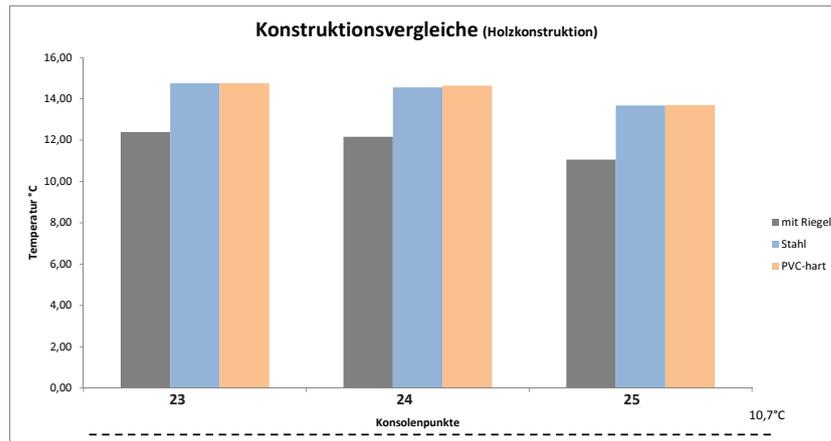


Diag. 61 Konsolenpunkte der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, V2A

bedeutender Unterschied der einfach verzahnten Koppelleiste im Vergleich zur winkelförmigen Birkenfurnierleiste ist, dass bei der Überdeckung und einem gewöhnlichem Edelstahlabstandhalter positive Ergebnisse für die Tauwasservermeidung ausgestellt werden können. Alle simulierten Temperaturen für die Falzausbildungen ergaben Werte über  $10,7^{\circ}\text{C}$ . Um in der Ecke eine einwandfreie Lösung zur Vermeidung von Schimmelpilzmöglichkeit anbieten zu können, erfordert es lediglich eine



Diag. 62 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, V2A



Diag. 63 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, V2A

Temperaturerhöhung an der Pfosten-Riegelecke der Falz von  $\Delta T = 0,53^\circ K$ . In weiteren Untersuchungen sei noch anzustreben, einen Wärmeleiter Aluminium  $\lambda=200 \text{ W/mK}$  einzusetzen, um den Effekt des besseren Wärmeleiters abschließend zu überprüfen.

### 10.8 Ergebnisse der L-verzahnten Koppelleiste - Verschiedener Abstandhalter

Mit der Erkenntnis, dass ein besserer Wärmeleiter in dieser Konstruktion auch zu höheren Temperaturegebnissen führt, wurde eine Konsole mit Aluminium mit all den Vergleichsbedingungen simuliert. Für die winkelförmige Koppelleiste hat eine Konsole mit  $\lambda=200 \text{ W/m}$  eine bessere Auswirkung für den Hohlraum und geringfügig auch für die inneren Falztemperaturen. Für die Verwendung ohne einen Warm-Edge-Hybrid ist Aluminium jedoch für die thermische Wärmeleitung ungeeignet, da die Konsole der Auswirkung der Kälte stärker ausgesetzt ist.

PUNKT	BEZEICHNUNG	Abstandhalter				
		1 ITI Pfosten-Riegel	2 ITI - Chroma Stahl	3 ITI - Chroma Alu	4 ITI - Konv Stahl	5 ITI - Konv Alu
1	Konsolenpunkt - 1 außen	7,88	9,79	10,23	5,72	5,78
2	Konsolenpunkt - 2 außen	7,49	9,85	10,27	5,68	5,77
3	Konsolenpunkt - 3 außen	6,96	10,09	10,39	5,64	5,77
4	Konsolenpunkt - 4 außen	8,77	10,39	10,52	5,53	5,74
5	Konsolenpunkt - 5 außen	12,70	10,84	10,68	6,21	5,96
6	Konsolenpunkt - 6 außen	7,48	9,84	10,27	5,67	5,77
7	Konsolenpunkt - 7 außen	7,87	9,79	10,23	5,71	5,78
8	Konsolenpunkt - 8 außen	9,30	10,58	10,58	5,84	5,86
9	Konsolenpunkt - 9 außen	13,55	11,17	10,79	6,77	6,17
10	Konsolenpunkt - 1 innen	11,62	12,33	12,55	9,17	9,19
11	Konsolenpunkt - 2 innen	11,19	12,05	12,31	8,68	8,72
12	Konsolenpunkt - 3 innen	10,50	11,62	11,84	7,84	7,92
13	Konsolenpunkt - 4 innen	11,53	12,12	12,25	8,20	8,26
14	Konsolenpunkt - 5 innen	14,26	13,51	13,64	10,10	10,00
15	Konsolenpunkt - 6 innen	11,18	12,05	12,31	8,66	8,71
16	Konsolenpunkt - 7 innen	11,62	12,33	12,55	9,16	9,18
17	Konsolenpunkt - 8 innen	11,82	12,22	12,24	8,27	8,21
18	Konsolenpunkt - 9 innen	15,06	13,96	13,77	10,89	10,61
19	Innenkante - Riegel	12,90	13,34	13,47	12,02	8,27
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,51	13,03	13,20	10,99	7,64
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,00	12,50	12,67	10,76	7,18
22	Innenkante Pfosten	9,76	12,50	17,36	12,55	8,25
23	Riegel Feldmitte	14,60	16,03	16,07	14,69	14,69
24	Riegel Konsolenbeginn	14,44	15,92	16,02	14,47	14,48
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,70	15,53	15,65	13,61	13,63

Gefahr  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**9,3 °C**  
 Innen  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**10,7 °C**  
 Mit Hilfe der  
 Stahlkonsole bildet  
 sich an dem  
 Birkenfurnier kein  
 Kondensat.

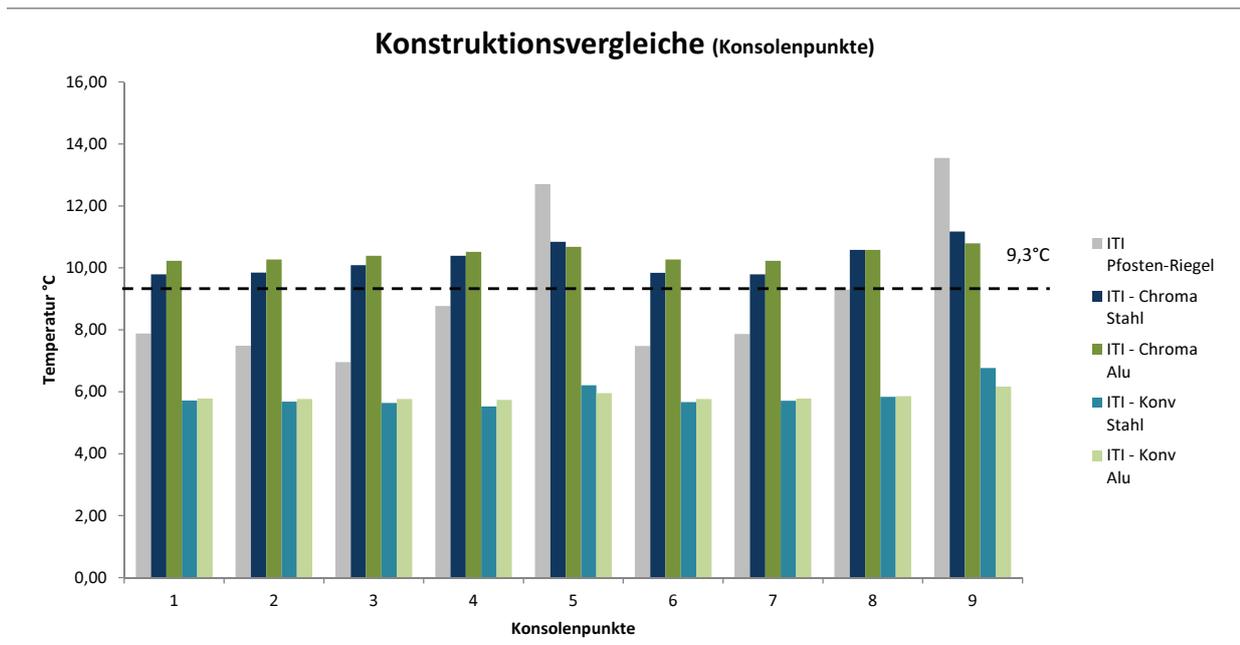
Kommentar Bei Entfall des Riegels ist nicht nur eine Verbesserung der Luftströmung anzunehmen, sondern es wurde eine Verbesserung der der Temperaturen simuliert. Dies lässt sich in den thermischen Auswertungen dadurch erklären, dass die warme Luft näher an die Rahmenkonstruktion herankommt und bessere Einflüsse erzielt, selbst wenn sich dies nur in einem Bereich von 0,5 - 2 °C beschränkt.

ITI

Tab. 64 Messergebnisse der Aluminiumkonsole der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A

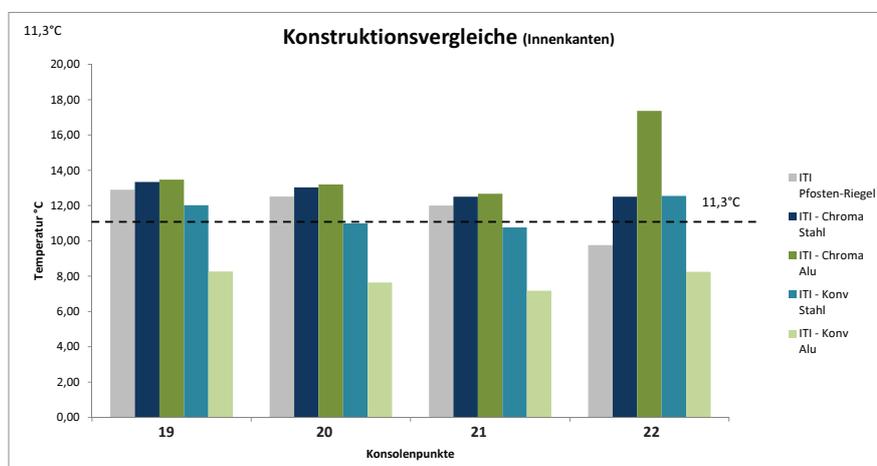
## Untersuchung der Konsolenmöglichkeit

Die thermische Stabilität innerhalb der ITI-Konstruktion an den Konsolenpunkten ist in der grafischen Auslegung unumstritten. Die Messpunkte erreichen mit der Alu-Konsole die höchsten Werte, die für die Holz-Glas-Verbundelemente erreicht werden können. Die Temperaturdifferenzen, die sich im Vergleich der Stahlkonsole abzeichnen, bewegen sich im Rahmen von  $\Delta T=0,13-0,44^{\circ}\text{K}$ . Wie die Ausführung von Stahl sind somit alle Punkte in Kombination des Chromatech Ultra, wie auch des umliegenden Birkenfurniers über der  $9,3^{\circ}\text{C}$ -Grenze zur Vermeidung von Kondensat innerhalb der

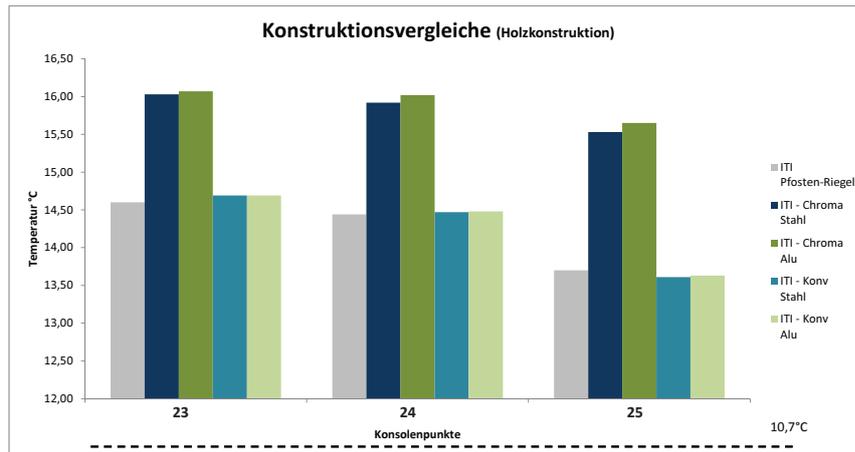


Diag. 65 Vergleich einer Aluminiumkonsole der L-förmig verzahnten Koppelleiste

Konstruktion. Gleiches gilt für die Ergebnisse der Messpunkte für die inneren Falzausbildungen. Nur in der Anwendung von konventionellen Glasabstandhaltern erfüllen die Aluminiumkonsolen nicht die erforderlichen Bedingungen. Mit dem Warm Edge Hybrid liegt aber eine weitere Verbesserung der winkelförmig verzahnten Koppelleiste, um Werte zwischen  $\Delta T = 0,13-0,17^{\circ}\text{K}$  vor. Die Auswirkung der Temperaturerhöhung durch eine Aluminiumkonsole anhand der Oberflächentemperaturen



Diag. 66 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A



Diag. 67 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A

der Holzkonstruktion, wirkt sich deutlicher milder mit  $\Delta T = 0,04-0,10^\circ K$  aus. Festgehalten wird, dass eine Konsole aus Stahl oder Aluminium die erforderlichen Bedingungen im Hinblick auf die innere Oberflächentemperatur und den Temperaturfaktor erfüllt, was mittels einer Pfosten-Riegel-Konstruktion nicht nachgewiesen werden konnte.

### 10.9 Ergebnisse der verzahnten Koppelleiste - Verschiedener Abstandhalter

Für die einfach verzahnte Ausführung ist nicht zwingend eine riegelfreie Konstruktion erforderlich, jedoch sind höhere Temperaturen durch die Konsolenausbildung zu verzeichnen, die über der Taupunktgrenze von  $T = 9,3^\circ C$  liegen. Das Aluminium verstärkt mit seiner Wärmeleitfähigkeit auch hier das thermische Verhalten der Konstruktion im Hohlraum und in den Falzausbildungen an der inneren Oberfläche. Nur die Verbindung von Edelstahlabstandhaltern ist auf Grund der Tauwassergefahr an der inneren Oberfläche von Aluminiumkonsolen der HGV-Elemente abzuraten.

PUNKT	BEZEICHNUNG	1	2	3	4	5
		Petsch. Pfosten-Riegel	Petsch. - Chroma Stahl	Petsch. - Chroma Alu	Petsch. - Konv Stahl	Petsch. - Konv Alu
1	Konsolenpunkt - 1 außen	7,95	9,82	9,82	5,68	5,75
2	Konsolenpunkt - 2 außen	7,56	9,88	9,88	5,64	5,74
3	Konsolenpunkt - 3 außen	7,00	10,13	10,13	5,61	5,74
4	Konsolenpunkt - 4 außen	8,94	10,42	10,42	5,51	5,71
5	Konsolenpunkt - 5 außen	12,92	10,88	10,88	6,19	5,93
6	Konsolenpunkt - 6 außen	7,54	9,88	9,88	5,63	5,74
7	Konsolenpunkt - 7 außen	7,94	9,81	9,81	5,67	5,74
8	Konsolenpunkt - 8 außen	9,52	10,62	10,62	5,82	5,83
9	Konsolenpunkt - 9 außen	13,76	11,21	11,21	6,75	6,15
10	Konsolenpunkt - 1 innen	11,88	12,38	12,38	9,22	9,24
11	Konsolenpunkt - 2 innen	11,43	12,09	12,09	8,73	8,77
12	Konsolenpunkt - 3 innen	10,71	11,67	11,67	7,87	7,95
13	Konsolenpunkt - 4 innen	11,73	12,15	12,15	8,19	8,25
14	Konsolenpunkt - 5 innen	14,47	13,53	13,53	10,09	9,98
15	Konsolenpunkt - 6 innen	11,42	12,09	12,09	8,71	8,76
16	Konsolenpunkt - 7 innen	11,87	12,38	12,38	9,21	9,23
17	Konsolenpunkt - 8 innen	12,01	12,25	12,25	8,26	8,20
18	Konsolenpunkt - 9 innen	15,27	13,98	13,98	10,88	10,60
19	Innenkante - Riegel	13,20	13,34	13,36	12,32	8,26
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,80	13,05	13,09	11,76	7,63
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,26	12,52	12,58	10,72	7,17
22	Innenkante Pfosten	10,73	11,35	11,32	13,56	8,24
23	Riegel Feldmitte	14,76	16,05	16,05	14,75	14,75
24	Riegel Konsolenbeginn	14,60	15,94	15,94	14,55	14,55
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,85	15,56	15,56	13,68	13,70

Gefahr  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als : **9,3 °C**  
 Innen  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als : **10,7 °C**  
 Mit Hilfe der  
 Stahlkonsole bildet  
 sich an dem  
 Birkenfurnier kein  
 Kondensat.

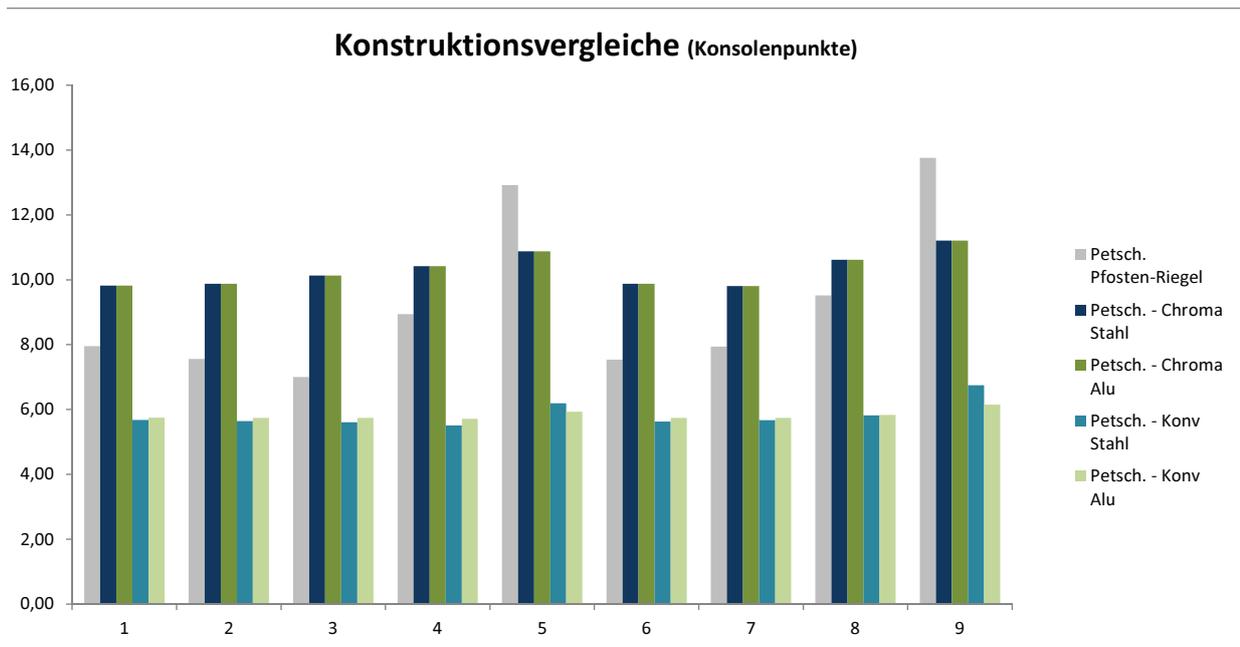
Kommentar Bei Entfall des Riegels ist nicht nur eine Verbesserung der Luftströmung anzunehmen, sondern es wurde eine Verbesserung der der Temperaturen simuliert. Dies lässt sich in den thermischen Auswertungen dadurch erklären, dass die warme Luft näher an die Rahmenkonstruktion herankommt und bessere Einflüsse erzielt, selbst wenn sich dies nur in einem Bereich von 0,5 - 2 °C beschränkt.

ITI

Tab. 68 Messergebnisse der Aluminiumkonsole der einfach verzahnten Koppelleiste, V2A

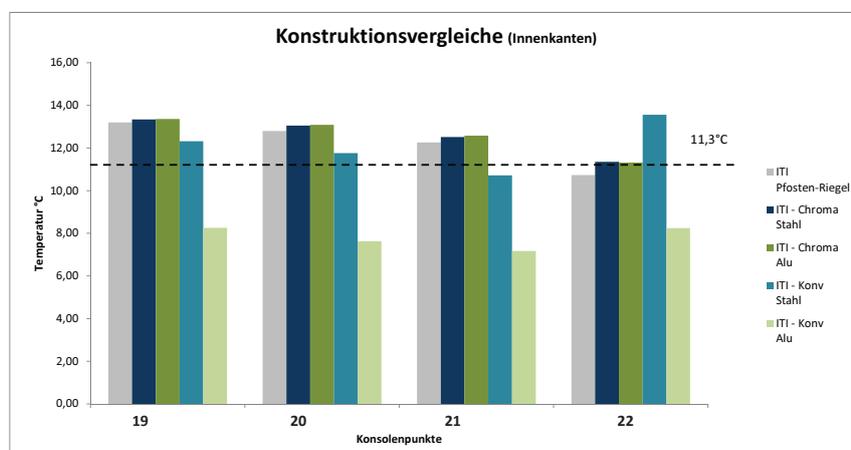
## Untersuchung der Konsolenmöglichkeit

Auch diese Entwicklung zeigt wie in dem Diagramm 69 abgebildet die thermisch stabileren Einflüsse, durch die Anwendung von Metallen und deren ihre größeren Wärmeleitfähigkeiten. Der Unterschied zur winkelförmigen Koppelleiste ist, dass hier bei der einfach verzahnten Leiste der geringste Unterschied im Vergleich von Stahl und Aluminium auftritt. Die Werte der beiden Metalle sind für die Konsolenmesspunkte identisch zu verzeichnen. Somit ergibt sich für die einfach verzahnte Koppelleiste keine Temperaturerhöhung durch die Anwendung einer Aluminiumkonsole.

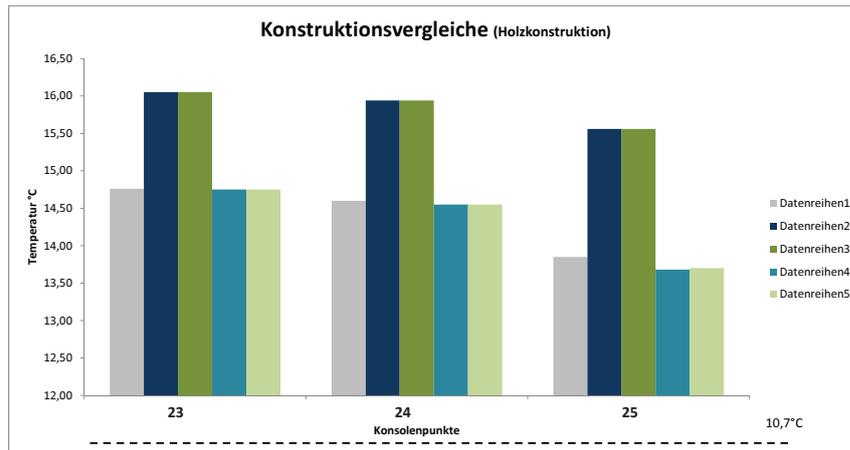


Diag. 69 Vergleich einer Aluminiumkonsole der einfach verzahnten Koppelleiste

In Anbetracht der inneren Falztemperaturen der Konstruktionen ergeben sich anhand der Metalle geringfügige Temperaturdifferenzen von  $\Delta T = 0,03-0,08^\circ\text{K}$ . Sowohl mit dem Warm-Edge-Hybrid, als auch mit der konventionellen Lösung aus Edelstahl, ist eine deutlichere Temperaturminderung in den Falzausbildungen zu verzeichnen, als dies auch bei Stahl der Fall ist. Die kalten Aussentemperaturen gelangen über die Alu-Konsole deutlich leichter in den Innenraum. Ein Temperaturunterschied



Diag. 70 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der einfach verzahnten Koppelleiste



Diag. 71 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-einfach verzahnten Koppelleiste

zwischen der beiden metallischen Konsolenausführungen kann weder beim Chromatech Ultra, noch bei der Edelstahlvariante, auf der inneren Oberfläche der Holzkonstruktion nachgewiesen werden. Obwohl nun alle Temperaturwerte der Simulationen über der erforderlichen Temperatur liegen, ist am Pfosten die größte thermische Schwächung mit dem Verzicht eines Warm-Edge-Hybrids durch Alu-Konsolen festzustellen. Das Tragholz erreicht mit dem Chromatech Ultra und den Stahl- oder Aluminiumkonsolen deutlich höhere Werte von  $\Delta T=1,29-1,71^{\circ}K$ , als durch die Pfosten-Riegel-Konstruktion.

## 11 Tauwasser im Hohlraum der Konstruktionen

Die bisherig simulierten Ergebnisse deuten auf Tauwasseranfall in der Konstruktion im Falle der Pfosten-Riegel-Konstruktionen im Eckbereich, wie aber auch in den Pfosten und Riegeln ohne den Einsatz der thermisch optimierten Glasabstandhalter. Durch konventionelle Edelstahl-Abstandhalter wird sich direkt an der Oberfläche der Konsole oder des Birkenfurniersperrholzes Kondensat bilden,

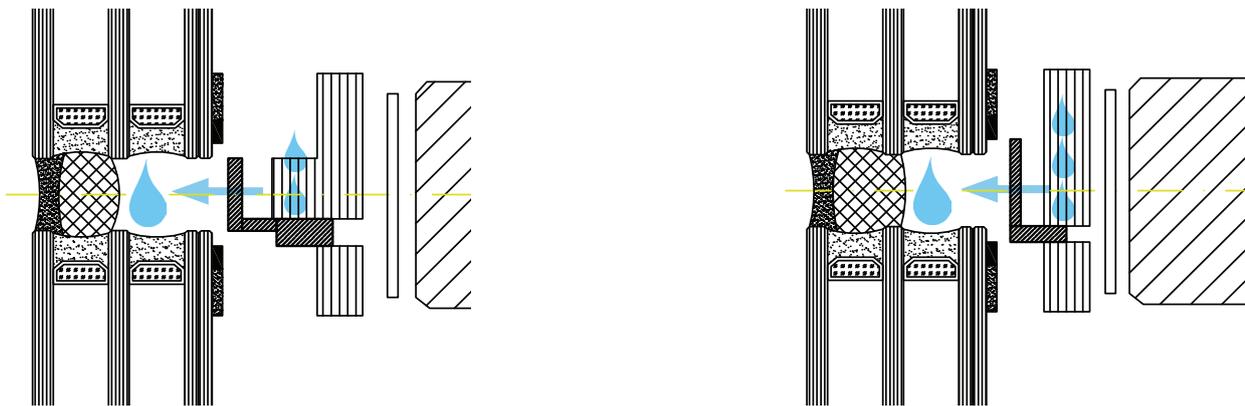


Abb. 110 Darstellung des Tauwassertransport durch Neoprenbänder

was auf eine langzeitliche Sichtweise zur Schädigung der Konstruktion führen könnte. Gegen den direkten Ausfall von Kondensat auf der Oberfläche wird eine Neopreneinlage gewählt, die als saugendes Element die anfallende Feuchtigkeit entzieht. Daraus resultiert, dass die Neopreneinlage die Feuchtigkeit entzieht und sich dies erst an dessen Oberfläche des Hohlraums bemerkbar macht. Die Materialien, die nun mit dem Tauwasser in Kontakt treten, wären das Silikon als Dichtmaterial, die Glasscheiben, die XPS-Dämmung und die Neopreneinlage. Dies sind alles Materialien, die auch auf längere Sicht keine Schädigungen anhand des Tauwassers zu erwarten haben. Im horizontalen Rahmen der HGV-Elemente müsste ein Gefälle von 1,5-2,0 % durch eine PVC-Schale im Hohlraum eingerichtet werden, damit das Wasser nicht auf längere Zeit steht. Die Verwendung auch im

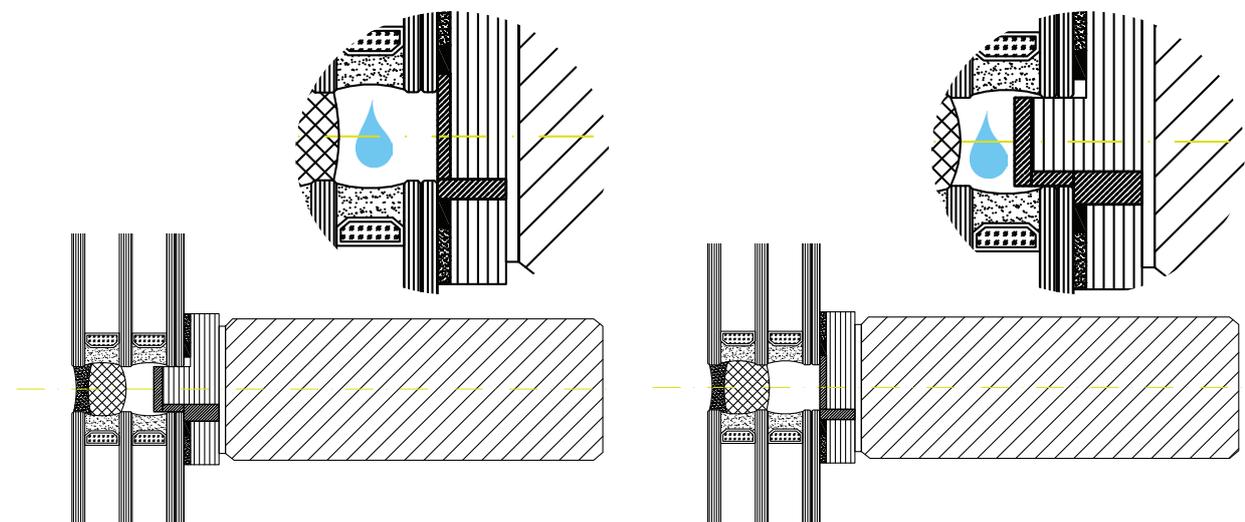


Abb. 111 Tauwasseranfall nur mehr auf Neoprenoberfläche / Neopren als saugendes Bauteil

Pfostenbereich wird empfohlen, da hier auch die Stahlkonsole zu schützen ist. Wenn auch das Tauwasser vertikal nach unten abrinnen kann, sollte der Bereich der Stahlkonsole mit den Neoprenbändern ausgestattet werden, um dort eine Tauwasserbildung zu verhindern. In der rechten Abbildung (112) wird das Modul mit der Neoprenanwendung, wie auch der einzelne Eckbereich im Detail dargestellt. Das Neoprenband sollte mindestens die Stahlkonsole überdecken, wenn nicht gar das gesamte Ausmaß des Hohlraumes im Riegel besitzen.

Die unteren Abbildungen (113-114) zeigen die Entwicklung des Konsolenelementes für den Eckbereich. In der linken Grafik muss nun das Neoprenband über die Konsole gebracht werden, damit dieser Flachstahl nicht dem direkten Tauwasseranfall ausgesetzt ist. Im Falle der Anwendung von Hartplastik zur besseren Wärmeeindämmung im Hohlraumbereich ist dennoch eine Neoprenband als Schutzmaßnahme zu empfehlen. Angedacht wird der Chloropren-Kautschuk nicht für die Hartplastikaufgabe direkt, sondern für die Verschraubung, welches das PVC an die Stahlkonsole anpresst. Es soll dabei auch nicht außer Acht gelassen werden, dass hier eine Verbindung der Konsole mit dem Holz entsteht.

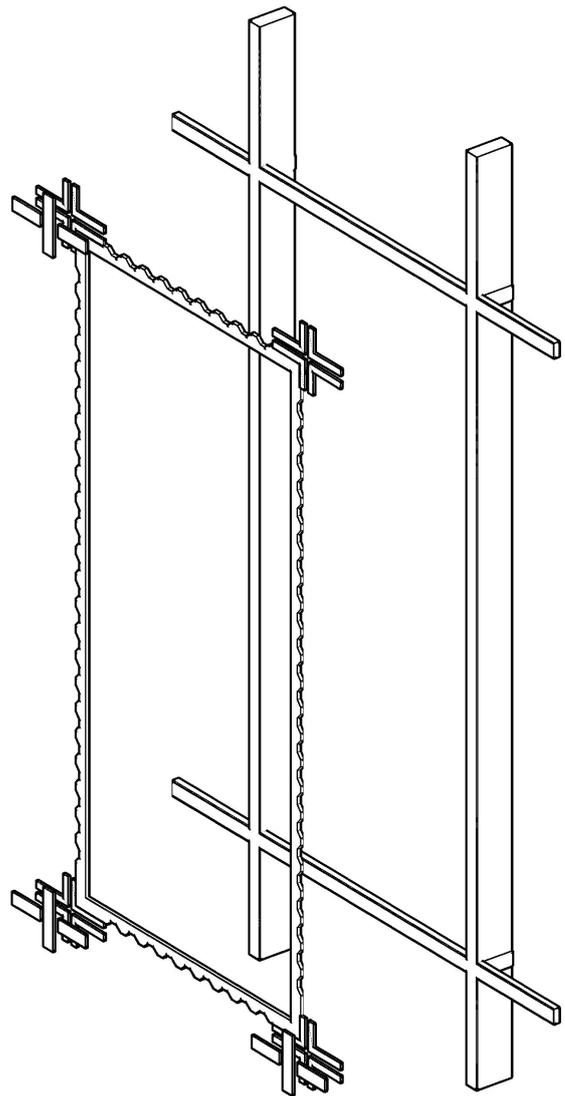


Abb. 112 Übersicht eines HGV-Elementes

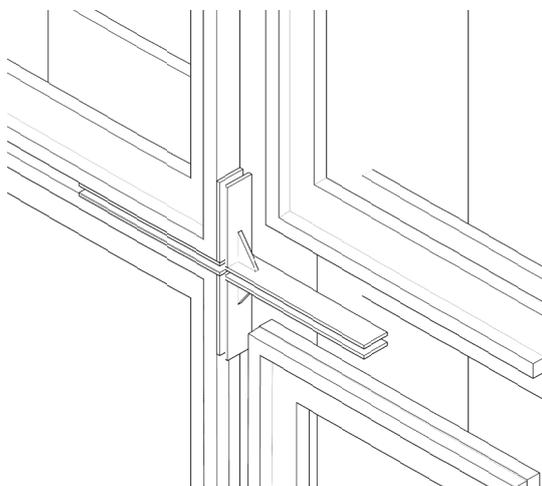


Abb. 113 Konsolenelemente

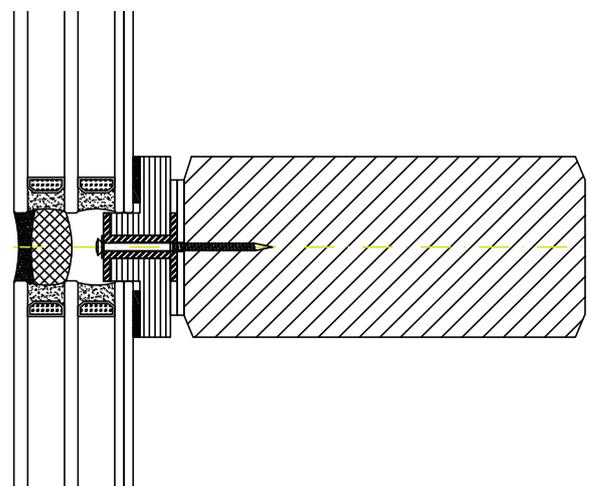


Abb. 114 Profilschnitt durch Konsolenschraubung

### 11.1 Eingabe der Neoprenbänder

Der Ansatz zum Kondensatschutz mit den Neoprenbänder hat der Logik zu Grunde auch einen Einfluss auf das thermische Verhalten der Konstruktion. Um die Reaktion durch den Eingriff zu analysieren, wurden zu der Konsole die Neoprenbänder im dreidimensionalen Simulationsprogramm eingefügt. Das Neoprenband ist für den kleinsten empfohlenen Bereich, der Stahlkonsole für den Riegelentfall,

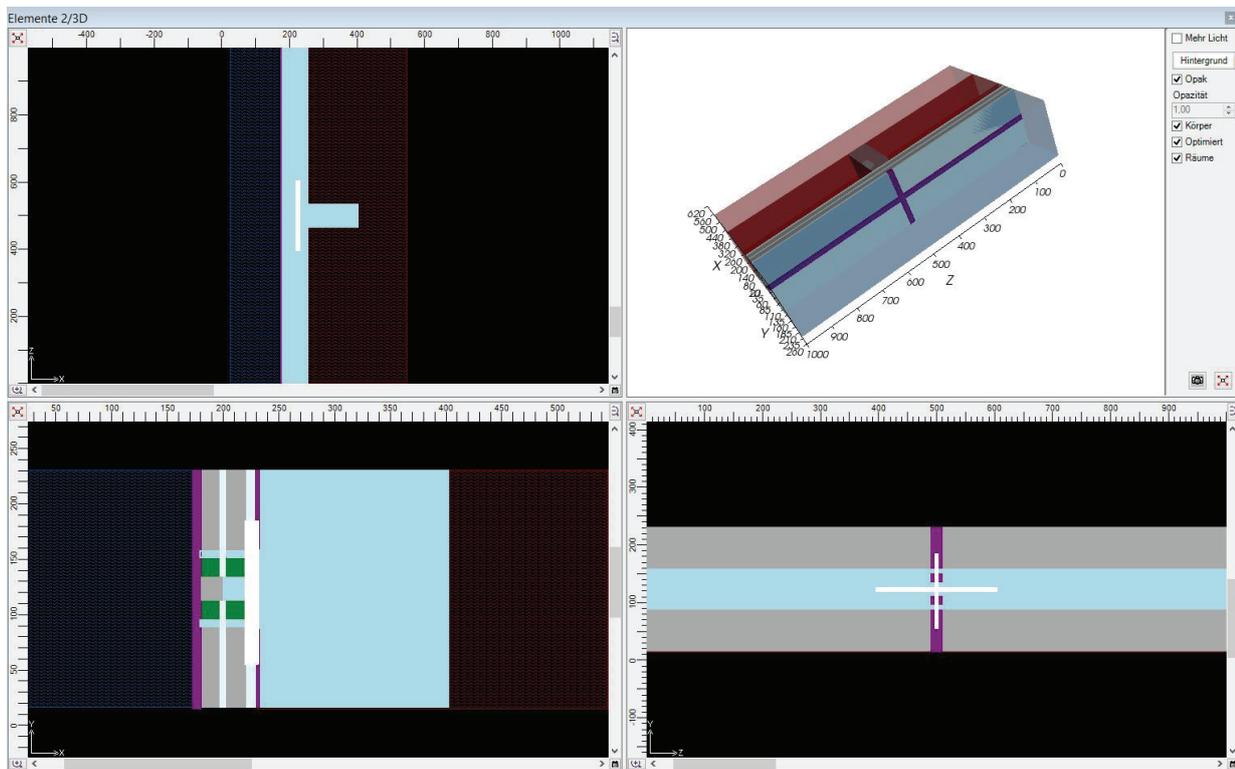


Abb. 115 Eingabe des Neoprenbandes in das thermische Simulationsprogramm

im Simulationsprogramm eingegeben. Der Baustoff Neopren weist eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=0,23\text{W/mK}$  auf, was sich näherungsweise mit jene von Hartplastik mit  $\lambda=0,17\text{ W/mK}$  deckt. Somit befindet sich auch ein isolierendes Element vor dem Birkenfurnier. Somit übernimmt das Neopren nicht nur den Tauwasserschutz an der Oberfläche des Holzes, sondern dämmt die Laubsperrholzleiste vor dem Kälteeinfluss des Hohlraums, indem dies die von der Stahlkonsole geleitete Wärme am Holz hält. In der unteren Tabelle sind die Tauwasserbedingungen für den Hohlraum mit  $T=9,3^\circ\text{C}$  und Schimmelpilzvermeidung für die innere Oberfläche  $T=11,3^\circ\text{C}$  angeführt, welche zur Vermeidung der schädlichen Effekte an den gewünschten Stellen überschritten werden

PUNKT	BEZEICHNUNG	°C	ITI	Petschenig	ITI	ITI	Petschenig	Petschenig	
			Chroma	Chroma	Konv.	Konv. Opt.	Konv.	Konv. Opt.	
1	Aussen - Rahmenmitte	°C	-7,55	-7,68	-7,20	-7,31	-7,21	-7,47	<input type="checkbox"/> Gefahr Tauwasser Temp kleiner als : <b>9,3 °C</b>
3	Oberfl. Neopren	°C	9,39	9,78	6,54	5,84	6,53	5,03	
4	Oberfläche Birkenfurnier	°C	9,92	10,28	6,59	5,85	7,11	5,82	
5	Innere Falz links	°C	12,56	12,30	8,44	11,34	8,76	11,39	
6	Innere Falz rechts	°C	12,52	12,27	8,01	11,30	7,83	11,69	
7	fRsi	-	0,73	0,72	0,60	0,71	0,59	0,71	
8	aufnehm. Feuchte	%	59,04	58,39	46,37	56,40	45,32	56,54	<input type="checkbox"/> Innen Tauwasser Temp kleiner als : <b>10,7 °C</b>

LUB-KONV

Tab. 72 Datensätze für den Einsatz von Neoprenbänder im Hohlraum

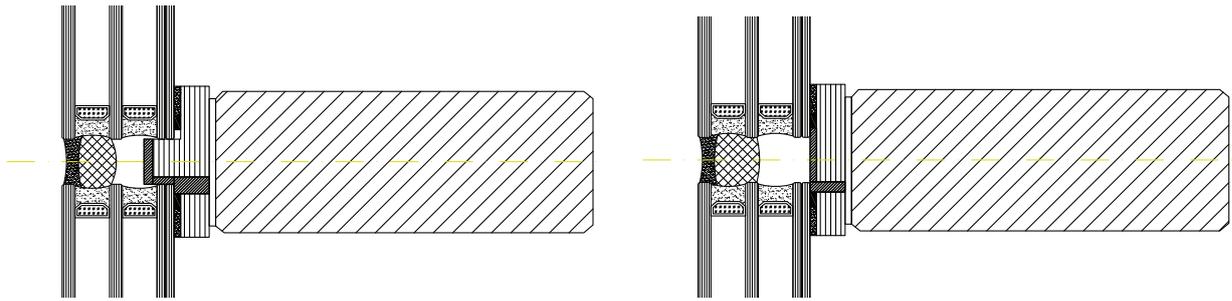


Abb. 117 Neoprenbänder der beiden Koppelleisten als Tauwasserschutz der Oberflächen

müssen. Schon anhand der Tabelle 73 ist ersichtlich, dass ohne der Anwendung eines thermisch optimierten Abstandhalters ein Kondensat im Hohlraum nachweisbar ist. Im direkten Vergleich der Tabelle 73 der Konstruktionsaufbauten mit und ohne der Neoprenschicht fällt auf, dass ohne der Neoprenlage um  $\Delta T=0,35-0,5^{\circ}K$  höhere Temperaturen erreicht werden. Dies lässt sich nur dadurch begründen, dass der Effekt der Wärmeleitung durch den Stahl gedämpft wird.

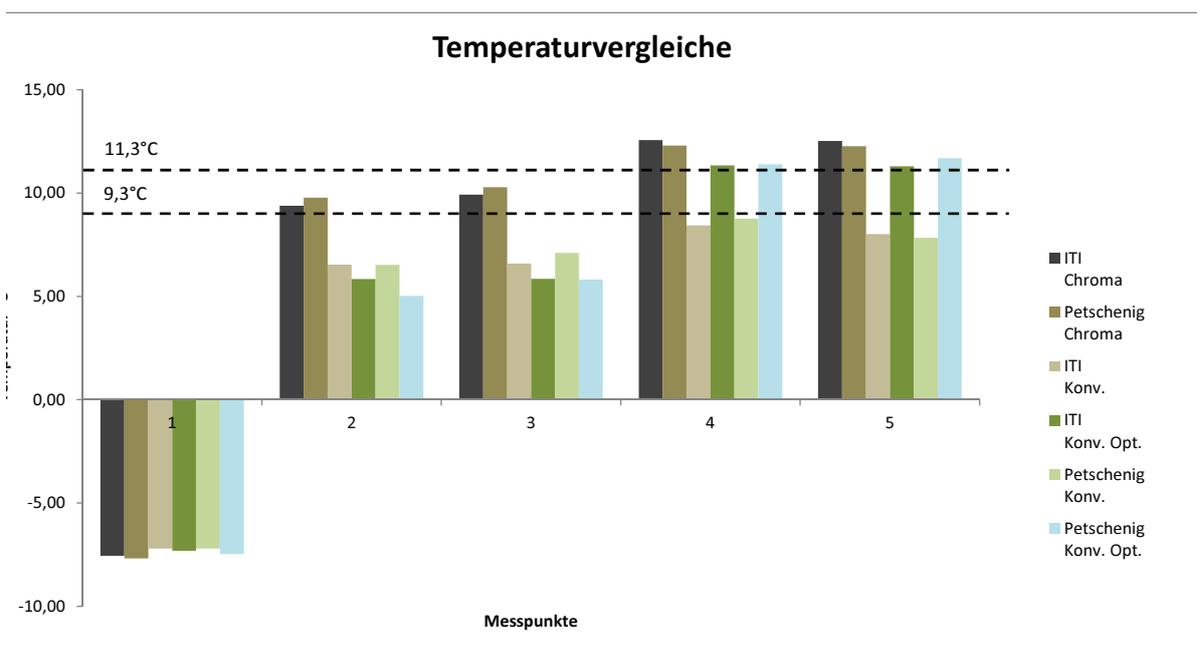
PUNKT	BEZEICHNUNG	°C	ITI	ITI	ITI	ITI	ITI	ITI
			Chroma	Chroma	Konv.	Konv.	Konv. Opt.	Konv. Opt.
1	Aussen - Rahmenmitte	°C	-7,52	-7,48	-7,20	-7,19	-7,31	-7,19
3	Oberfl. Neopren	°C	9,39	x	6,54	x	5,84	x
4	Oberfläche Birkenfurnier	°C	9,92	10,09	6,59	6,78	5,85	5,92
5	Innere Falz links	°C	12,56	13,03	8,44	8,91	11,68	12,02
6	Innere Falz rechts	°C	12,52	12,96	8,01	8,87	11,64	11,95
			Neopren		Neopren		Neopren	

Gefahr  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**9,3 °C**

Innen  
 Tauwasser  
 Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Tab. 73 Vergleich des Neopreneinsatzes an der L-förmigen Koppelleiste

Im Vergleich der Konstruktionen mit der Neopreneinlage ist zu erkennen, dass keine thermische Verbesserung durch das Neopren zu erwarten ist. Allein der optimierte Abstandhalter oder die Überdeckung des Birkenfurniers ermöglichen die erforderlichen Werte für den Innenraum. Das Neopren dient rein der Vermeidung von Kondensat, um eine Oberflächenbelastung der feuchteanfälligen Baustoffe zu gewährleisten.



Diag. 74 Tabelle zum Vergleich der Konstruktionen mit Neoprenband im Hohlraum

## 12 Kurzüberblick - Projekt Ljubljana

Für die einfach-verzahnte Ausführung ist nicht zwingend eine riegelfreie Konstruktion erforderlich, jedoch sind höhere Temperaturen durch die Konsolenausbildung zu verzeichnen, die über der Taupunktgrenze von  $T=9,3^{\circ}\text{C}$  liegen. Das Aluminium verstärkt mit seiner Wärmeleitfähigkeit auch hier das thermische Verhalten der Konstruktion im Hohlraum und in den Falzausbildungen an der inneren Oberfläche. Nur in Verbindung von Edelstahlabstandhaltern ist auf Grund der Tauwassergefahr an der inneren Oberfläche von Aluminiumkonsolen der HGV-Elemente abzuraten.

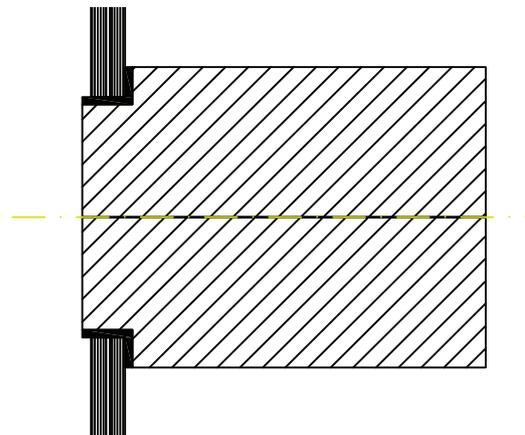
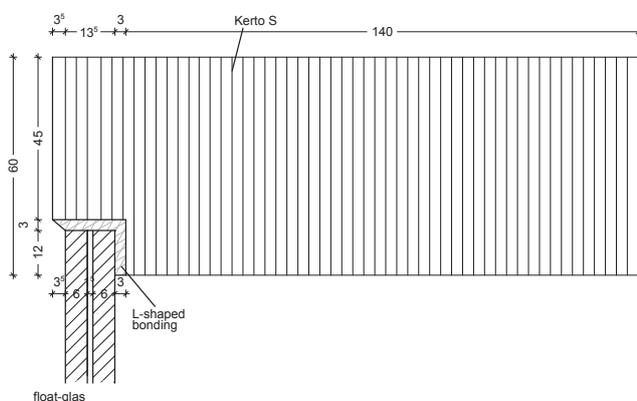
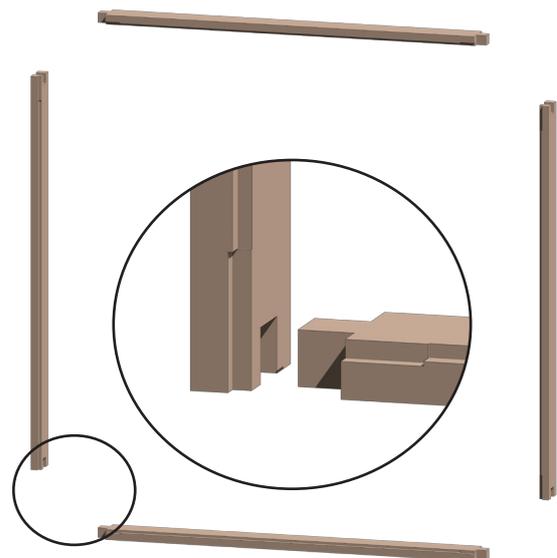


Abb. 118 Umsetzung der Daten des Projektes in das CAD-Programm AutoCAD 2011

Für die Fassadenkonstruktion wird auch eine Holz-Glas-Verbundkonstruktion mit einem Schichtholzrahmen aus 3mm starken Furnieren angedacht. Dieser verweist auf große Festigkeiten in Längsrichtung aus. Auch können Furniere in Querlagen zu einem gewissen Anteil für die Stabilität eingelegt werden. Schichtholz zeichnet sich mit seiner Resistenz gegenüber äußere Umweltbelastungen aus, warum dies für eine sichtbare Anwendung von Holz denkbar wäre. In diesen Untersuchungen ist angeführt, welche Folgen die Durchführung des Rahmens bietet, und wie mit diesen umzugehen ist. An dieser Konstruktion wurden die Simulationen mit der Variante aus Edelstahl-Glasabstandhaltern und mit Warm Edge Hybrid durchgeführt, um die Systematik und die Resultate der Simulationen vergleichen zu können.



### 12.1 Optimierungsvorschläge

Selbst ohne den thermischen Simulationen ergibt sich allein auf den ersten Anblick eine Wärmebrücke über den Anschluss der Glasscheibe an die Konstruktion, die durch die winkelförmige Verklebung nicht gemindert wird. Zudem ist das Ausmaß der Isolierverglasung zu gering, um mit den thermischen Gegebenheiten von  $-10^{\circ}\text{C}$  auskommen zu können.

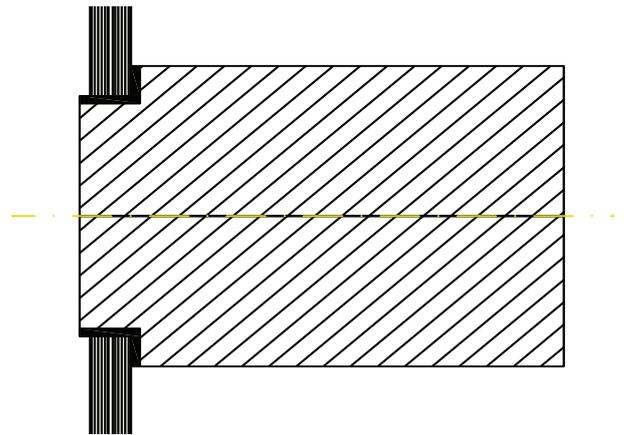


Abb. 119 Originalumsetzung des HGVElements

Aus diesem Grund wurde in der ersten Variante eine Dreischeibenisolierverglasung an Stelle der bisherigen Verglasung aufgesetzt. Das Schichtholz wird in seinen Dimensionen und Ausnehmungen belassen, womit sich durch den Aufsatz der Glaskonstruktion und der Verlängerung der äußersten Glasscheiben in Verbindung mit 2cm Silikon ein Hohlraum für eine Durchlüftung und Kondensatabfuhr ergibt. Dieser wird an den kritischen Punkten an der Dichtung der Glasabstandhalter mit Dämmung gefüllt, wie auch an der Nahtstelle des Silikons zum Aufbringen des Dichtmittels.

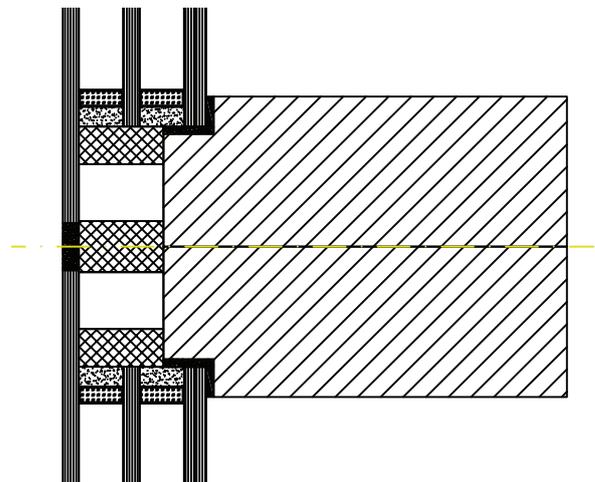


Abb. 120 HGVElement mit aufgesetzter 3-fach Isolierverglasung

Eine weitere Variante ergab sich mit dem Einsetzen der Dreischeibenisolierverglasung, damit diese besser in die Konstruktion eingebettet ist. Am Rand der Glasscheiben und der Abdichtung entlang wird eine thermische Abdichtung angebracht, um den Wärmestrom an dieser Stelle verringern zu können und die Wärmebrücke des Rahmens zu verringern. Die Verglasung ist somit nicht nur eingebettet, sondern auch von der Verklebung und der thermischen Abdichtung umschlossen. Die Masse des Schichtholzes reduziert sich nur um ein geringes Ausmaß von 8,7%.

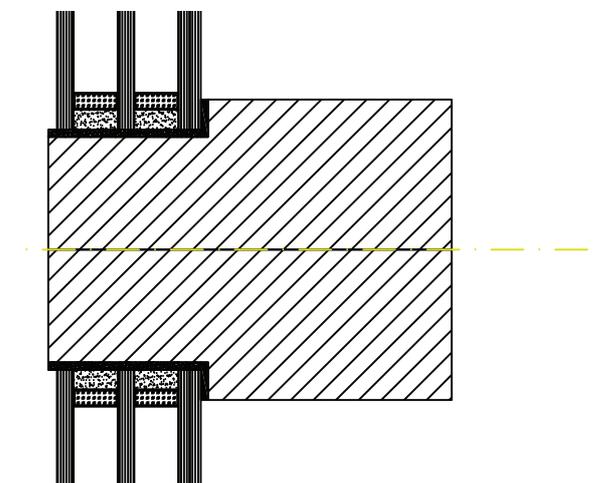


Abb. 121 HGVElement mit eingesetzter 3-fach Isolierverglasung

Weiterführend wurde die Isolierverglasung weiter in das Schichtholzeingebracht, um das Verhalten der Konstruktion bei einem tieferen Einsatz zu analysieren. Die thermische Abdichtung besitzt das gleiche Ausmaß von 6mm, während die Länge der Verklebung mit 10mm zunimmt. Bessere thermische Werte werden erwartet, wenn die Verklebung vom Rand gemessen 10mm beträgt und auch hier ein thermisches Abdichtungsband eingebracht werden kann. Die Reduktion des Schichtholzes würde in diesem Falle 22% betragen.

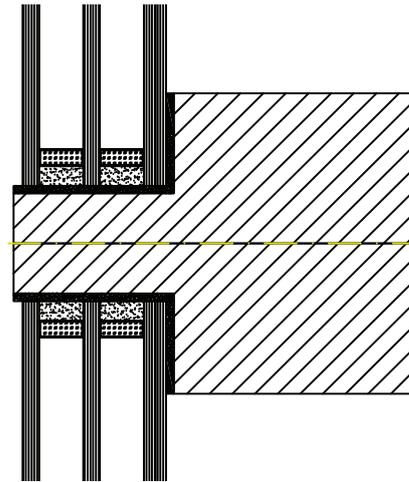


Abb. 122 HGV-Element mit tief eingesetzter 3-fach Isolierverglasung

Um einen Hohlraum innerhalb der Konstruktion zu ermöglichen, wurde die Dicke des Schichtholzes zwischen den Verglasungsebenen um 35mm reduziert. Die äußere Glasscheibe wurde soweit in die Mitte verzogen, um eine Silikonfuge von max. 20mm gewährleisten zu können. Ein Dämmmaterial vorzugsweise XPS, müsste in die Konstruktion eingebracht werden, wobei aus ausführungstechnischen Gründen die Fuge vergrößert werden müsste. Weiters ist hier zu empfehlen, die Verklebung der Scheiben auf das Mindestmaß zu reduzieren und eine thermische Abdichtung über die Ecke zu führen.

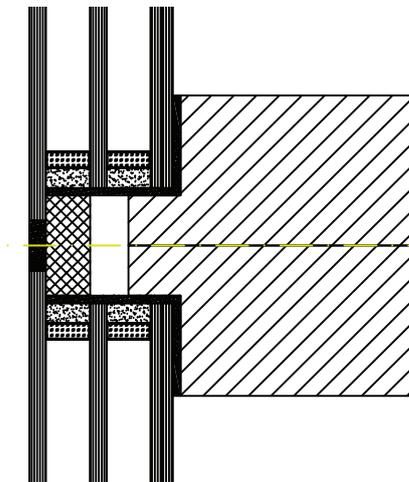


Abb. 123 HGV-Element mit tief eingesetzter 3-fach Isolierverglasung und Silikonfuge

Das Volumen des Schichtholzes ermöglicht eine Einbringung eines Heizelementes in die Konstruktion. Als Heizelement wäre ein Kupferleiter angedacht, der die erforderliche Wärme für die Konstruktion liefert. Der Leiter wird in eine Ausnehmung seitlich, nahe der Verglasung im Holz, angebracht und mit einer Verblendung abgedeckt. Weiters soll durch die thermische Analyse die Leistung der Heizquelle ermittelt werden, die notwendig ist, um die erforderlichen Temperaturen von 10,7 und 11,3°C zu überschreiten.

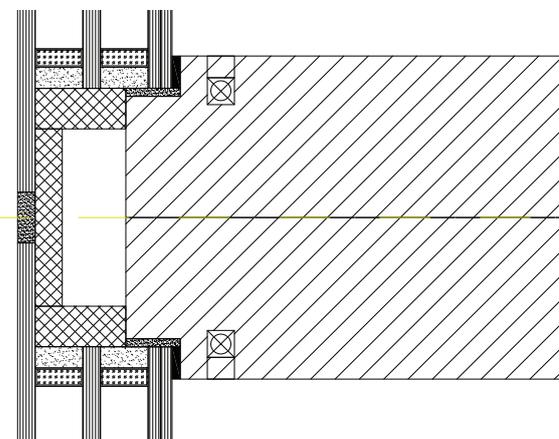


Abb. 124 HGV-Element mit eingesetzter 3-fach Isolierverglasung und Heizelement

## 12.2 Thermische Untersuchungen

All die getätigten Annahmen wurden in das thermische dreidimensionale Simulationsprogramm eingegeben, um die aussagekräftigen Datensätze zu erhalten. Das Ergebnis der verklebten Zweischeibenverglasung ergab kalte Messwerte entlang des Glases, der Verklebung und des Pfostens der Konstruktion. An dem Eckpunkt von Glas und Verklebung beträgt der Messwert 2,7°C für die Oberflächentemperatur, was unweigerlich zu Kondensatbildung und Schädigung der Konstruktion

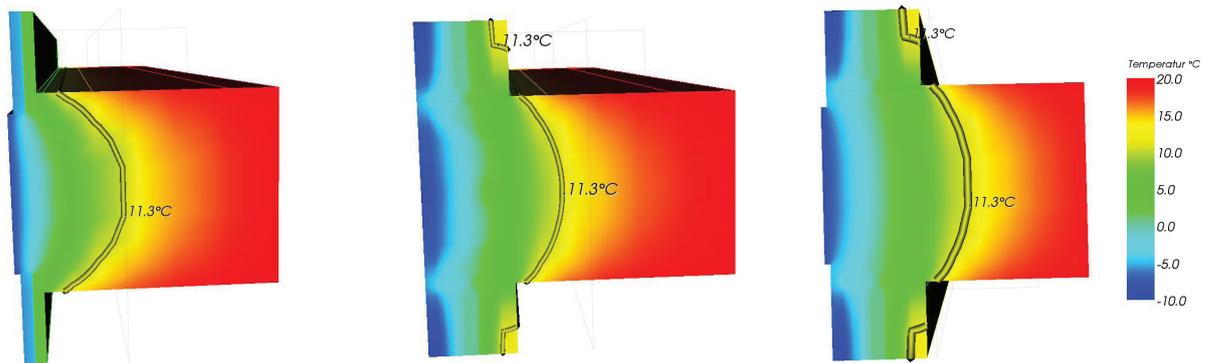


Abb. 125 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 1-3

führt. Die thermischen Ergebnisse der Optimierungen wurden sukzessive simuliert und die daraus resultierenden Datensätze auf den nachstehenden Seiten aufgelistet. Die erste Optimierung mit dem Aufsatz der Dreischeibenisolierverglasung verbesserte die Ergebnisse, eines Temperaturfaktors von 0,47 - 0,54. Durch das Einsetzen der Dreischeibenisolierverglasung wurde der Temperaturfaktor mit 0,56 nicht wesentlich verbessert. Wird die Verglasungsebene hingegen tiefer in die Konstruktion eingesetzt, so ist eine deutliche Verschiebung der erforderlichen 11,3°C- Isotherme zu sehen. Trotz den guten Entwicklungen und den neuen Erkenntnissen wurden durch eine Überdeckung keine besonders positiven Ergebnisse simuliert. Die Überdeckungen erzielten erst bei 28 mm einen Temperaturfaktor von 0,70, was zur Kondensatvermeidung führt, jedoch die Gefahr von Schimmelpilz nicht beseitigt. Anhand dieser Tatsachen wurde in die Holzkonstruktion ein Heizelement von Kupfer eingelegt, das bei 60.000 W/m<sup>3</sup>, einen Temperaturfaktor von 0,73 ergibt, der somit alle Bedingungen für eine normgemäße Ausführung erfüllt.

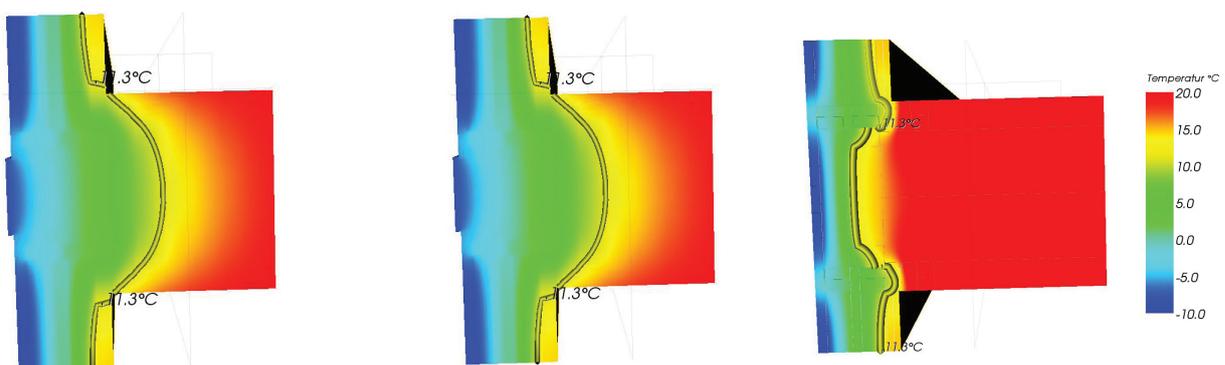


Abb. 126 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 4-6

### 12.3 Simulationen - Edelstahl Glasabstandhalter

Die unten stehenden Datensätze sind in den nachfolgenden Diagrammen festgehalten. Die Messpunkte wurden nach den relevantesten Schnittstellen der Konstruktion gewählt. Bei den Ergebnissen der Schnittstelle der Verklebung ist bei allen Optimierungen zu erkennen, dass die Taupunkttemperatur unterschritten wird, was folglich zu Kondensat im Bauteil an der nächsten angrenzenden Bauteilschicht führt. Somit muss in der Konstruktion mit einem Kondensatanfall

PUNKT	BEZEICHNUNG		1	2	3	4	5	
			Original	Optimierung 1	Optimierung 2	Optimierung 3	Optimierung 4	Optimierung 5
1	Aussen - Rahmenmitte	°C	-7,91	-8,70	-8,48	-8,53	-8,22	-8,54
3	Aussen - Glas	°C	-5,74	-5,71	-5,68	-5,50	-4,80	-3,53
4	Schnittpunkt Klebung	°C	2,70	6,56	6,44	4,77	6,24	17,36
5	Innere Falz	°C	5,33	7,28	7,52	10,69	11,88	14,35
6	Pfosten 5cm	°C	16,87	17,53	17,72	17,35	17,69	22,39
7	fRsi	-	0,47	0,54	0,56	0,69	0,73	0,73
8	aufnehm. Feuchte	%	34,76	40,68	41,88	53,81	59,99	60,00

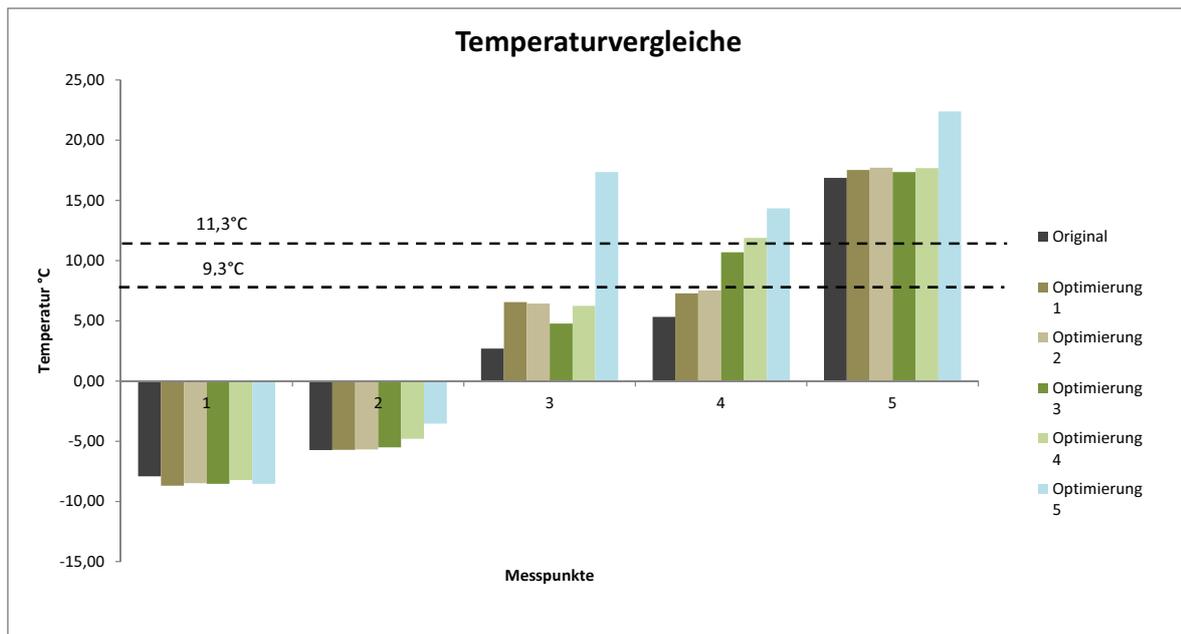
Gefahr  
Tauwasser  
Temp kleiner als :  
**9,3 °C**

Innen  
Tauwasser  
Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

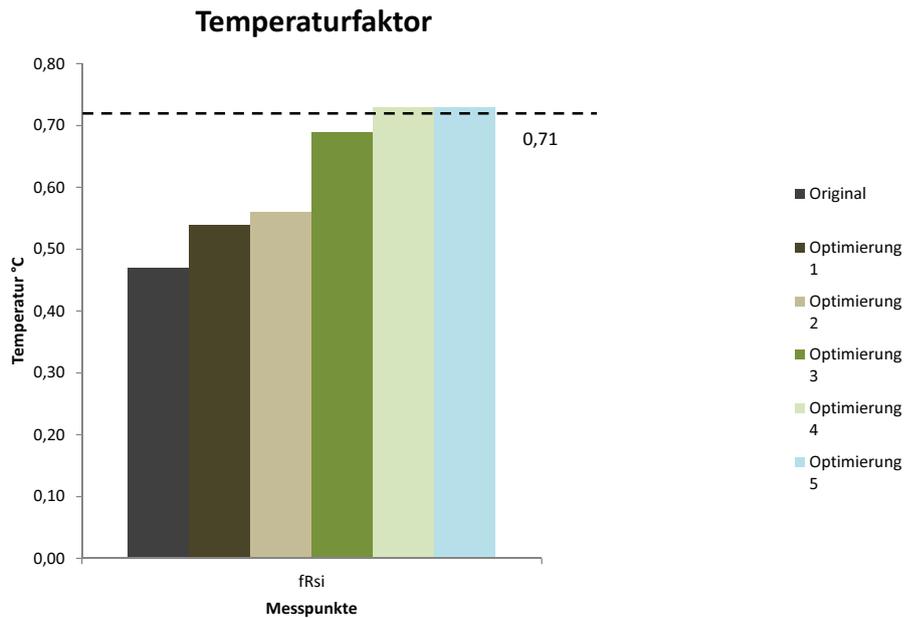
LUB-KONV

Tab. 75 Ergebnisse der thermischen Untersuchungen für die Konstruktionsvarianten, V2A

gerechnet werden. Einzige Ausnahme für die Kondensatgefahr ist jene Optimierung der Konstruktion, in der ein Heizdraht in den Pfosten, bzw. in den Riegel eingelegt wird. Das Gleiche gilt für die Kondensatgefahr auf der inneren Oberfläche der Verklebung, die ebenso erst mit dem Heizelement keine Bedeutung mehr darstellt. Die Optimierung der tief eingesetzten Dreifachisolierverglasung in Kombination mit Edelstahl-Glasabstandhalter mit und ohne Überdeckung erreicht nicht die erforderliche Temperatur von 11,3°C, die für den Temperaturfaktor von 0,71 erforderlich wäre, um eine Temperaturdifferenz von  $\Delta T = 0,61^\circ K$  (Optimierung3) und  $\Delta T = 0,47^\circ K$  (Optimierung 4). Die Temperatur an der Schnittstelle der winkelförmigen Verklebung sinkt mit tieferem Einbinden in die Konstruktion, da die Wärme des warmen Innenraumes eine größere Strecke zurücklegen muss, wie

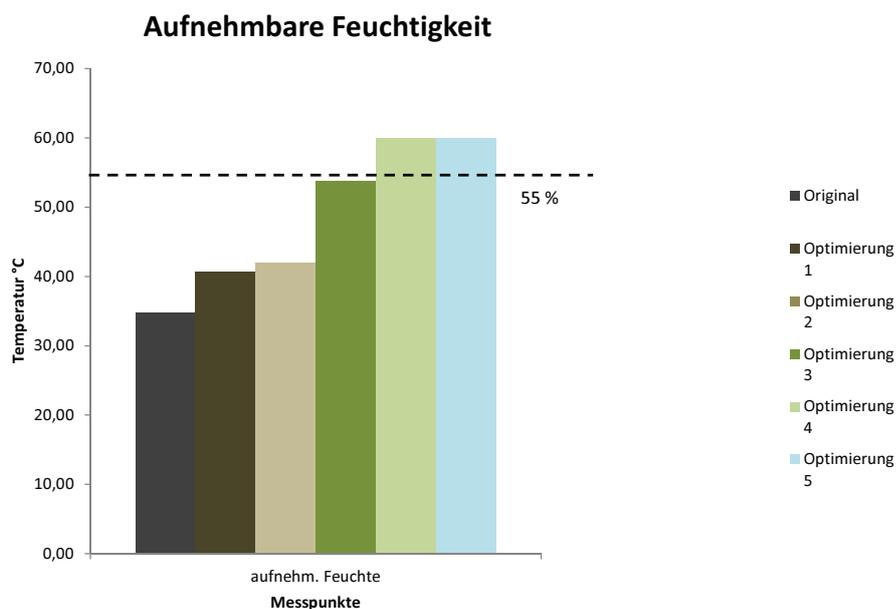


Diag. 76 Messpunkte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, V2A



Diag. 77 Temperaturfaktoren der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, V2A

aber auch die Kälte von Außen. Die Temperaturen der inneren Falzausbildung an der Glasscheibe und der Verklebung unter der Verwendung von konventionellen Glasabstandhaltern zeigten erst eine Erhöhung der Temperatur, als die Isolierverglasung tiefer in die Konstruktion eingesetzt wurde. Gleiche Aussage ist auch über die Darstellungen des Temperaturfaktors und der aufnehmbaren Feuchtigkeit zu treffen, da für diese die innere Falztemperatur als kleinster Faktor maßgebend ist. Das Aufsetzen der Isolierverglasung bedeutet lediglich ein Anstieg von 5% der Luftfeuchtigkeit auf rund 40% der aufzunehmenden Feuchtigkeit, die relativ schnell erreicht werden kann.



Diag. 78 Aufnehmbare Feuchte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten V2A

### 12.4 Simulationen - Warm-Edge-Hybrid

Der Tausch des konventionellen Glasabstandhalters  $\lambda = 3,855 \text{ W/m}$  mit einem Warm-Edge-Hybrid mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,17 \text{ W/m}$  macht sich anhand der Simulationsergebnisse deutlich bemerkbar. Weitgehendst ist bei allen Optimierungen, mit Ausnahme der Anwendung eines Heizdrahtes, Kondensat im Hohlraum und der inneren Oberfläche auszuweisen. Mit dem thermisch besseren Abstandshalter, sind mit allen Optimierungen höhere Temperaturen zu verzeichnen und die Temperaturfaktoren steigern sich um  $\Delta T = 0,15 - 0,18$ , was einen deutlichen Anstieg für die

PUNKT	BEZEICHNUNG		1	2	3	4	5	
			Original	Optimierung 1	Optimierung 2	Optimierung 3	Optimierung 4	Optimierung 5
1	Aussen - Rahmenmitte	°C	-7,91	-8,60	-7,84	-7,98	-8,27	-8,96
3	Aussen - Glas	°C	-5,74	-8,10	-6,80	-6,77	-6,80	-8,90
4	Schnittpunkt Klebung	°C	2,70	10,49	10,50	10,48	10,70	11,93
5	Innere Falz	°C	5,33	12,23	12,16	15,34	15,86	13,22
6	Pfosten 5cm	°C	16,87	18,17	18,20	19,83	18,51	18,28
7	fRsi	-	0,47	0,72	0,72	0,80	0,80	0,77
8	aufnehm. Feuchte	%	34,76	58,46	58,29	67,84	67,76	64,06

LUB-KONV

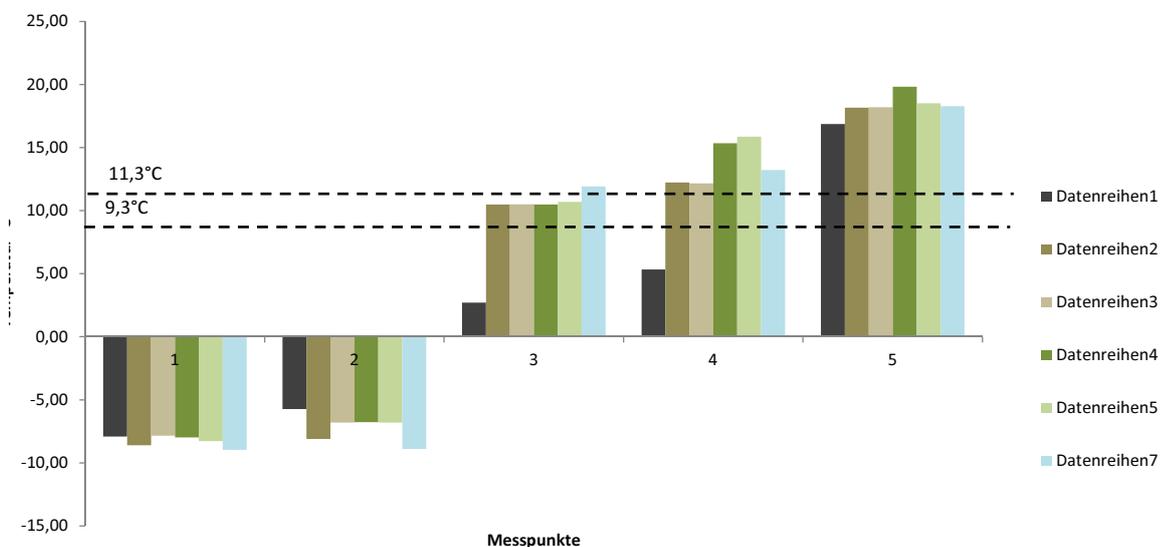
Gefahr  
Tauwasser  
Temp kleiner als : **9,3 °C**

Innen  
Tauwasser  
Temp kleiner als : **10,7 °C**

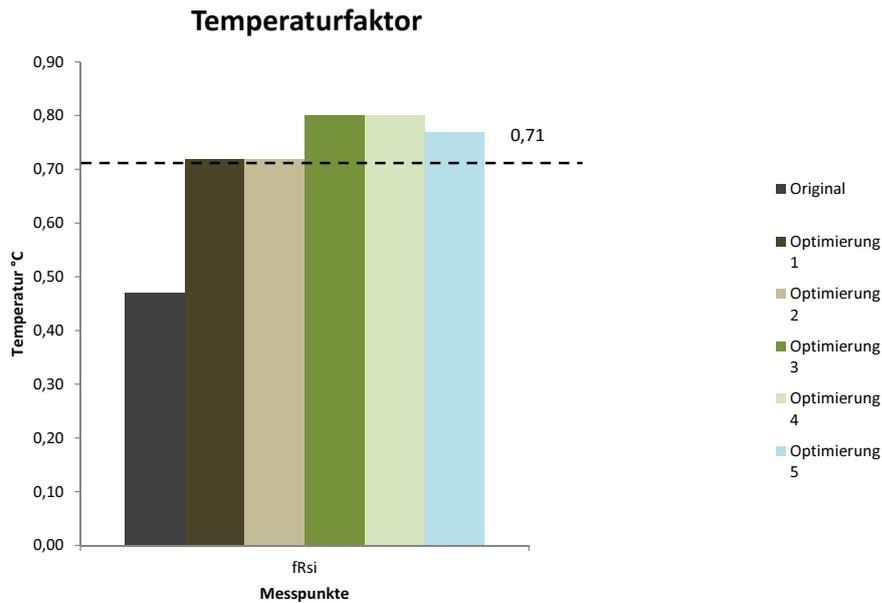
Tab. 79 Ergebnisse der thermischen Untersuchungen für die Konstruktionsvarianten, WEH

Konstruktion bedeutet. Im Diagramm 80 ist schon bei der ersten Optimierung die Erhöhung der Temperatur im inneren Eckbereich der Verklebung um  $\Delta T = 6,9^\circ\text{K}$  zu sehen. Der Unterschied der weiteren Optimierungen zu der Ersten fällt auf Grund der guten Isolierung im Rahmenbereich des Glases mit  $\Delta T = 0,07^\circ\text{K}$  zu gering aus, um dies im Diagramm auslesen zu können. Erst bei der Betrachtung der inneren Falzausbildung von Glasscheibe und Verklebung an der inneren Oberfläche ist zwischen der 2. und der 3. Optimierung eine Differenz von  $\Delta T = 3,18^\circ\text{K}$  auszumachen. Warum bei diesem Messpunkt die letzte Optimierung schlechter ausfällt, ist auf den Verzicht auf das Heizelement zurückzuführen, da dies auf Grund des besseren thermischen Glasabstandhalters für eine positive Ausgabe nicht mehr erforderlich ist. Die höchste Temperatur im ersten 5cm Bereich entlang des

#### Temperaturvergleiche

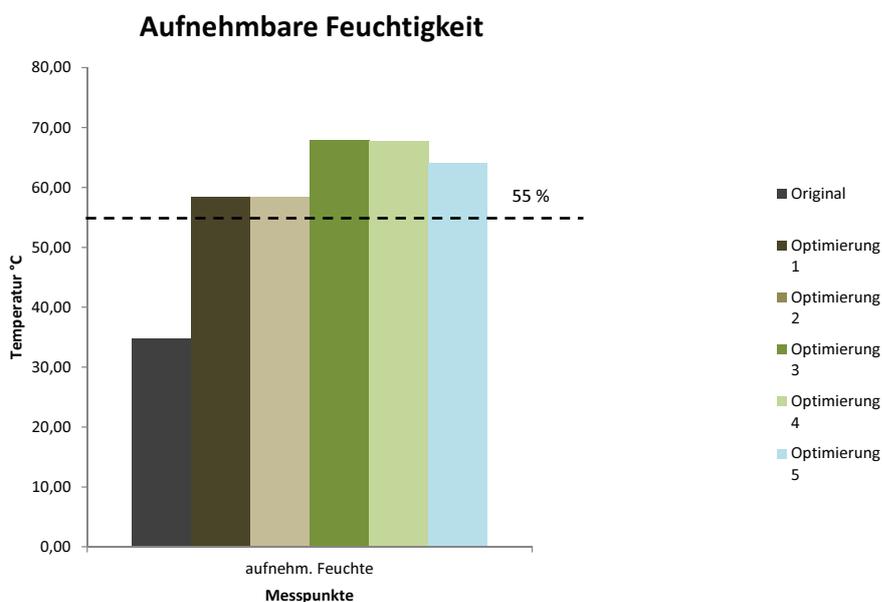


Diag. 80 Messpunkte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, WEH



Diag. 81 Temperaturfaktoren der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, WEH

Pfostens, vom Rahmen weg gemessen, ist mit der tief eingesetzten Dreischiebenisolierverglasung bemessen worden. Auf Grund der Resultate für den Temperaturfaktor und der aufzunehmenden Feuchtigkeit, sind die besten thermischen Optimierungen der Schichtholzkonstruktion mit einem Warm Edge Hybrid und der tief eingesetzten oder tief aufgesetzten Dreischiebenisolierverglasung möglich. Durch das reine Aufsetzen der 3-fach Isolierverglasung werden mit dem besonderen Abstandhalter die Werte erfüllt, stehen aber dem Einsetzen in die Konstruktion um den Faktor 0,08 nach. Für die Anwendung eines thermisch optimierten Abstandhalters wäre ein Verzicht auf das Heizelement mit dessen verringerter Wärmeleitfähigkeit in der Verglasung möglich, was in diesen Simulationen auch getan wurde, um auch einen Heizausfall zu kalkulieren.



Diag. 82 Aufnehmbare Feuchte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, WEH

## 13 Zusammenfassung aller HGV-Konstruktionen

Abschließend werden auf den folgende Seiten alle Holz-Glas-Verbundkonstruktionen und deren thermischen Optimierungsvorschläge aufgezeigt. Es werden die Maßnahmen aufgezeigt, die erforderlich sind, um die normgemäßen Bedingungen hinsichtlich der Kondensatvermeidung und des Schutzes vor Schimmelpilz zu gewährleisten. Die genannten Betrachtungen und das kurze Statement über die verschiedenen Varianten erfolgen für die spitzenteilichen, nicht untypischen Klimabedingungen bei einer Außentemperatur  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und einer Innentemperatur von  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ . Unter diesen Voraussetzungen wird eine Holz-Glas-Verbundkonstruktion geschaffen, die mit Ausnahme der Alpengipfel jedem Wintertief standhalten kann.

Wie angedeutet sind weitere Forschungen für die winterlichen Gebirgshöhen in weiterer Folge interessant, da hier ein regelrechtes Wettrüsten neuer architektonischer Bauten stattfindet, um den Ski-Tourismus und das Image zu fördern. Nicht zuletzt sollte der Einsatz auch für diese Beanspruchungen propagiert werden, um das Potential der Bauweise aufzuzeigen und dies auf ein gutes Licht in der Öffentlichkeit zu rücken. Aus ökologischer, statischer und thermischer Sicht werden die Anforderungen an die Konstruktion erfüllt. Demnach ist es möglich, eine Fassadenkonstruktion der Öffentlichkeit anzubieten, welche ein architektonisch warmes Ambiente anbietet und zugleich die modernen technischen Standards in allen Richtungen erfüllt oder gar übertrifft.

### 13.1 Überblick über die untersuchten Konstruktionen

#### *Holz-Glas-Verbundkonstruktion mit winkelförmig verzahnten Koppelleiste*

- HGV L-förmig verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl
- HGV L-förmig verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl + 24mm Überdeckung
- HGV L-förmig verzahnt mit Abstandhalter aus Warm-Edge-Hybrid
- HGV L-förmig verzahnt mit Abstandhalter aus Warm-Edge-Hybrid + Konsole
- HGV L-förmig verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl + Konsole
- HGV L-förmig verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl + Konsole 24mm Überdeckung
- Konsolenbetrachtungen aus Stahl, Hartplastik und Aluminium

#### *Holz-Glas-Verbundkonstruktion mit einfach verzahnten Koppelleiste*

- HGV einfach verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl
- HGV einfach verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl + 24mm Überdeckung
- HGV einfach verzahnt mit Abstandhalter aus Warm-Edge-Hybrid
- HGV einfach verzahnt mit Abstandhalter aus Warm-Edge-Hybrid + Konsole
- HGV einfach verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl + Konsole
- HGV einfach verzahnt mit Abstandhalter aus Edelstahl + Konsole 24mm Überdeckung
- Konsolenbetrachtungen aus Stahl, Hartplastik und Aluminium

### 13.2 HGV - Winkelförmig verzahnte Koppelleiste

In der unteren Tabelle 83 ist eine kurze Aussage zu sehen, um das Entwicklungspotenzial im Vergleich zur bisherigen Ausführung festzustellen. Mittels eines Edelstahlabstandhalters werden die thermischen Anforderungen der Konstruktion für Spitzenwerte der Außentemperaturen von  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  nicht erfüllt. Es gibt die Möglichkeit, das Birkenfurniersperrholz in den Innenraum zu überdecken und die geometrische Wärmestromlänge von Außen nach Innen zu verlängern. Dadurch wird gewährleistet, dass eine Umsetzung der Konstruktion mit konventionellen Glasabstandhaltern aus Edelstahl möglich ist. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit bietet ein thermisch optimierter Glasabstandhalter aus speziellem Kunststoff und Edelstahlboden (Warm Edge Hybrid), der mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,17 \text{ W/mk}$  den Weg des Wärmestromes über den Abstandhalter

Variante	HGV-Konstruktion	Entwicklung
1	Konventionell <i>Edelstahl-Abstandhalter</i>	0
2	Konventionell + 24mm Überdeckung <i>Edelstahl-Abstandhalter</i>	+
3	Warm Edge Hybrid <i>Chromatech Ultra</i>	+
4	Stahlkonsole ohne Riegel <i>+ Warm Edge Hybrid</i>	++
5	Alu-Konsole ohne Riegel <i>+ Warm Edge Hybrid</i>	++ (+)

Tab. 83 Tabelle zum abschließenden Feedback der Varianten - L-förmig verzahnte Koppelleiste

verlängert. Im Vergleich bietet ein Edelstahl Abstandhalter für den Edelstahl  $\lambda = 15 \text{ W/mK}$  und für das darin enthaltene Silicagel  $\lambda = 0,14 \text{ W/mk}$ . Weitere Untersuchungen der winkelförmigen Koppelleiste mit der Betrachtung des Riegelverzichtes versprechen interessante Resultate. Eine bessere Einstellung der Falztemperaturen ist erwartet worden, da die warme Innenluft eine bessere Konvektion über die Fassade aufweist. Mit dem Ergebnis, dass die notwendige Konsole aus Stahl jedoch höhere Werte im Hohlraum erzielt und sogar geringfügig erhöhte Werte an den Falzausbildungen aufweist, ist anfänglich nicht gerechnet worden. Somit ergeben die Resultate, dass mit einem besseren Wärmeleiter, auch bessere Temperaturbedingungen erreicht wurden, ohne Wärmeverlust. Jedoch weist eine Aluminiumkonsole keine deutlich höheren Temperaturen aus, als die Stahlkonsole

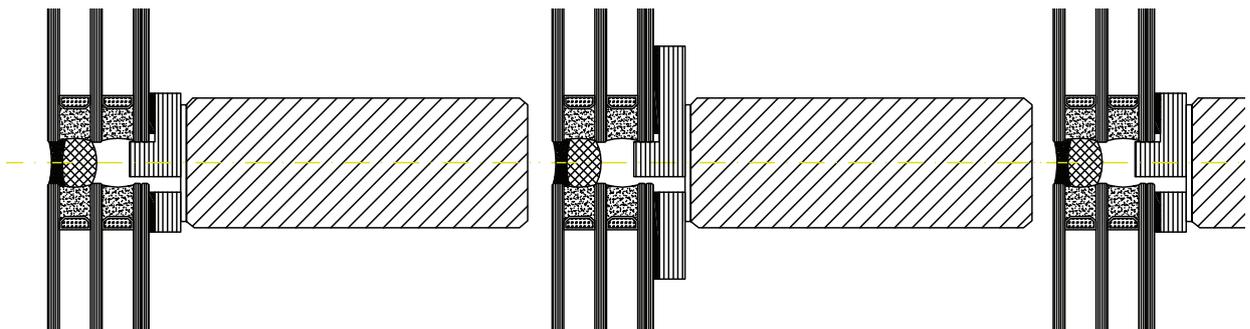


Abb. 127 Ausführung - L-förmig verzahnte BKF-Leiste - Original - Überdeckung - Riegelentfall

Überblick der grafischen Resultate der L-förmig verzahnten Koppelleiste

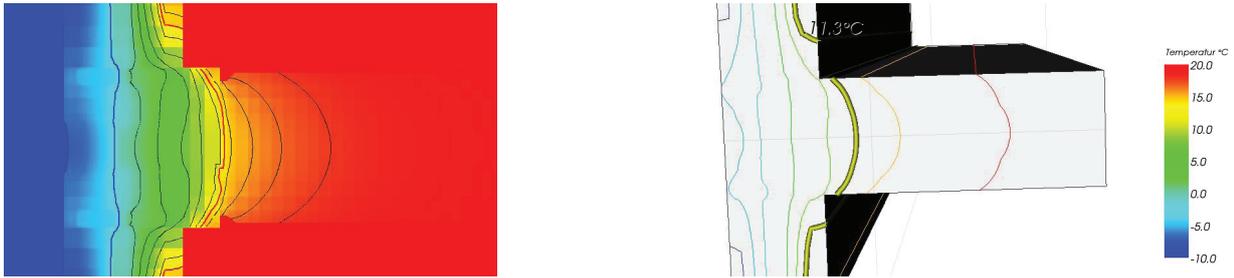


Abb. 128 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter

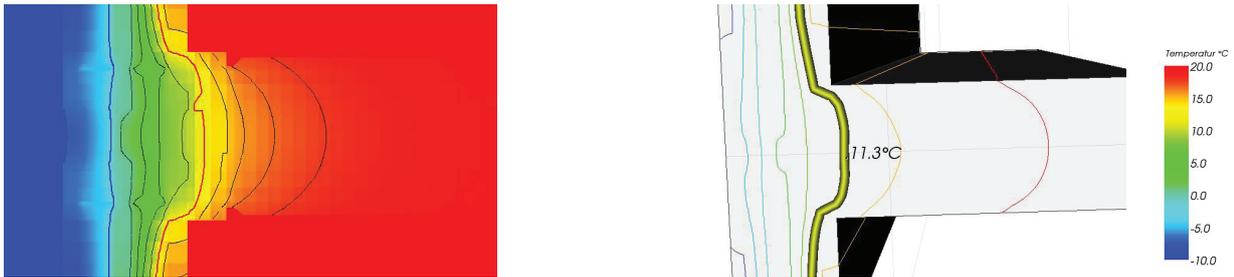


Abb. 129 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid

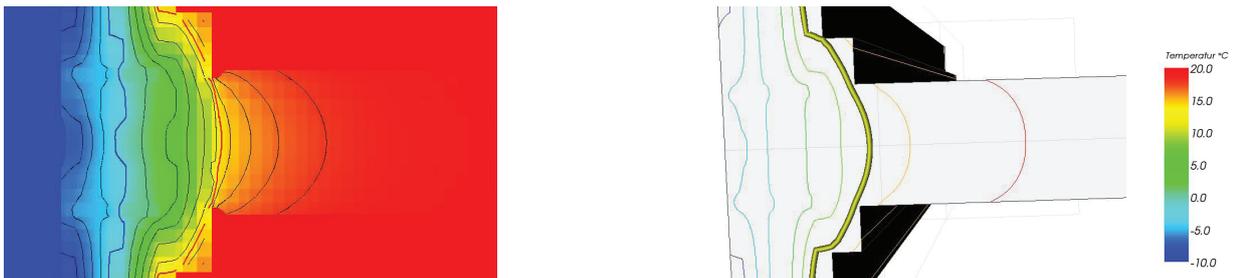


Abb. 130 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter, 24mm Überdeckung BKF

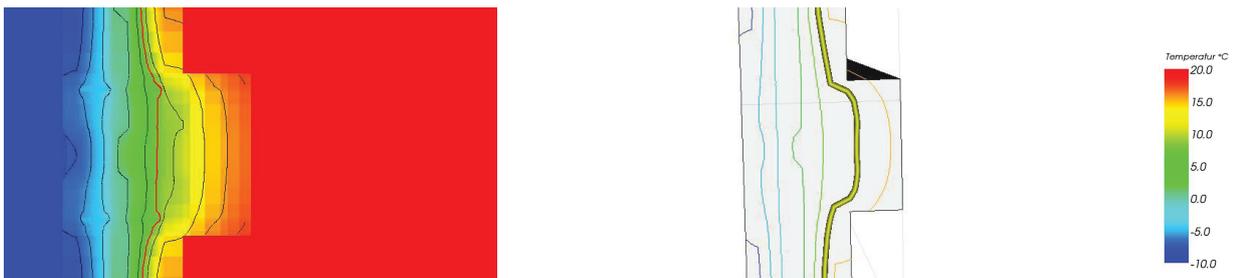


Abb. 131 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid ohne Riegel

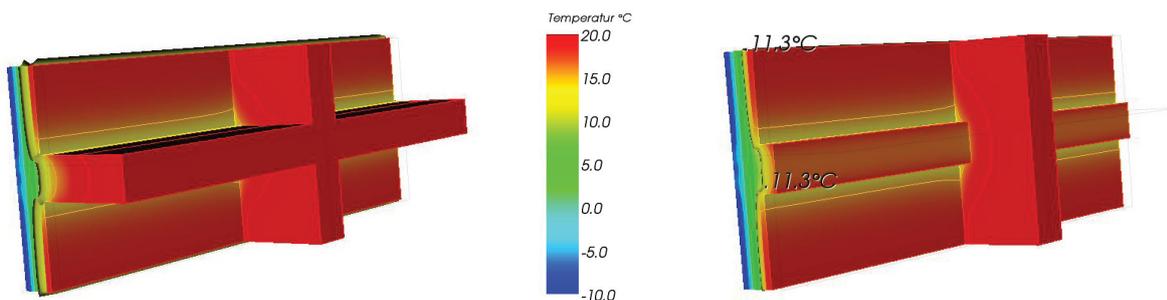


Abb. 132 Auszug Antherm - HGV-Konstruktion, Ecklösung mit Riegel und ohne Riegelbestandteil

### 13.3 HGV - Einfach verzahnte Koppelleiste

Seitens des Herstellers wird die einfach verzahnte Koppelleiste mit dem Chromatech Ultra mit  $\lambda=0,17$  W/mk eingesetzt. Somit wäre die Anwendung eines konventionellen, aber billigeren Abstandhalter aus Edelstahl mit  $\lambda=15$  W/m für den nichtrostenden Stahl und  $\lambda=0,14$  W/mK für das Trocknungsmittel, keine Entwicklung ins Positive. Relativ gleichbedeutend ist die geometrische Optimierung mit der Überdeckung von  $\Delta L = 24$ mm, welche für die Falzausbildung annähernd gleich hohe Werte für die Innenkante ausweist. Dies würde die Verwendung von günstigeren Abstandhaltern in Betracht ziehen, da diese Ersparnis im Vergleich zu den thermischen Abstandhaltern und den in Relation setzenden Kosten für Birkenfurnier, wirtschaftlich bessere Ergebnisse erzielt. Somit ist dies vor

Variante	HGV-Konstruktion	Entwicklung
1	Konventionell <i>Edelstahl-Abstandhalter</i>	-
2	Konventionell + 24mm Überdeckung <i>Edelstahl-Abstandhalter</i>	0
3	Warm Edge Hybrid <i>Chromatech Ultra</i>	0
4	Stahlkonsole ohne Riegel <i>+ Warm Edge Hybrid</i>	(+)
5	Alu-Konsole ohne Riegel <i>+ Warm Edge Hybrid</i>	(+)

Tab. 83 Tabelle zum abschließenden Feedback der Varianten - einfach verzahnte Koppelleiste

allein für den Einfamilien- und Reihenhausmarkt ein Punkt von Interesse. Die Optimierung mittels einer Stahlkonsole weist im Eckbereich noch bessere Werte aus, mit dem Warm Edge Hybrid jedoch bedeutet der Riegelentfall für die einfach verzahnte BKF-Leiste geringere Temperaturen an der Schnittstelle Innenkante von Glas und Verklebung. Anzudenken ist bei dieser Betrachtung, dass eine kombinierte Anwendung einer Riegelkonsole, wie auch des Riegels selbst, besser in thermischen Simulationen abschneidet. Es bleibt jedoch die Auseinandersetzung von Strömungsanalysen, um nicht gleichwertige Werte oder eine doch bessere Temperaturerhöhung feststellen zu können. Ein besserer Wärmeleiter von Aluminium  $\lambda=200$  W/mK als Konsolenelement, statt der Stahlausführung  $\lambda=60$  W/mK, bedeutet in der direkten Gegenüberstellung keine Erhöhung der Temperaturen.

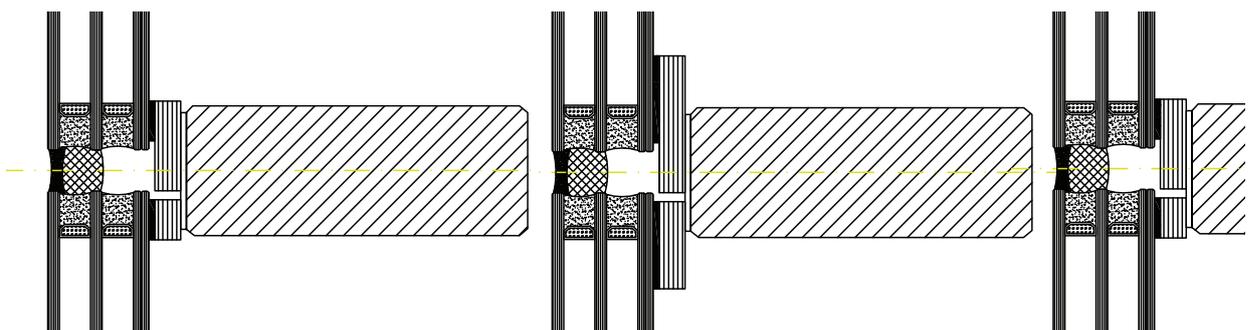


Abb. 133 Ausführung - L-förmig verzahnte BKF-Leiste - Original - Überdeckung - Riegelentfall

Überblick der grafischen Resultate der einfach verzahnten Koppelleiste

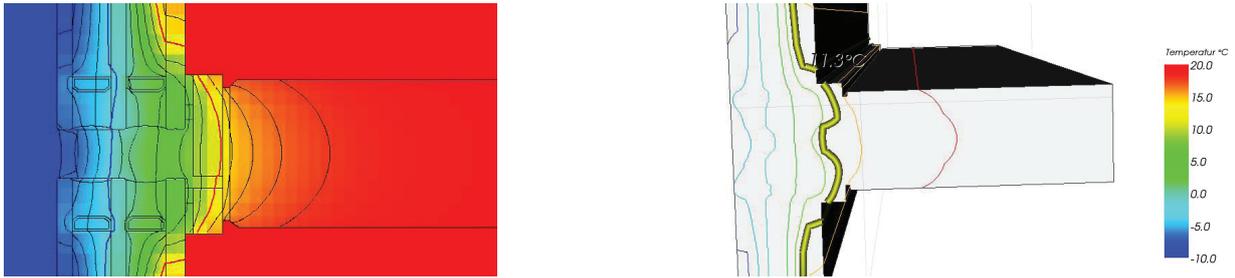


Abb. 134 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter



Abb. 135 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid



Abb. 136 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter, 24mm Überdeckung BKF

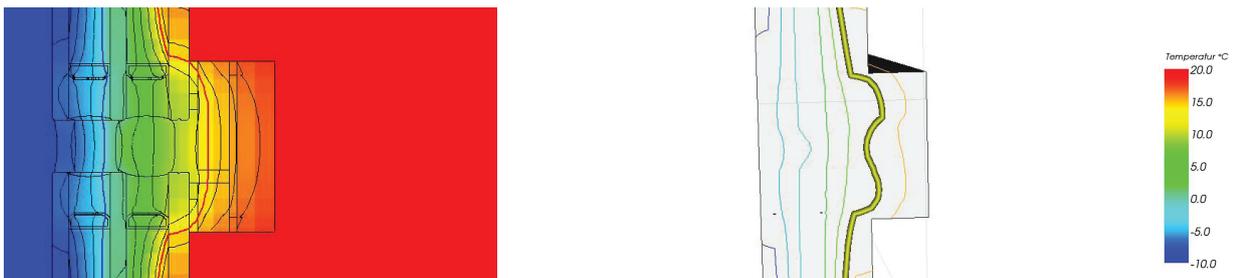


Abb. 137 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid ohne Riegel

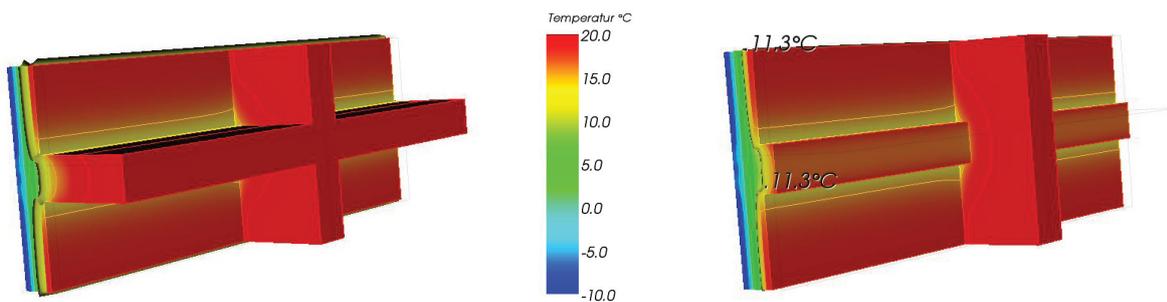


Abb. 138 Auszug Antherm - HGV-Konstruktion, Ecklösung mit Riegel und ohne Riegelbestandteil

### 13.4 HGV - Schichtholzkonstruktion

Die originale Konstruktion erfüllt laut den bekannten Datensätzen nicht die Bedingungen, um den thermischen Anforderungen von einer Außentemperaturen von  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und einer Norminnentemperatur von  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  gerecht zu werden. Interessant werden die Resultate ab dem Einsatz einer Dreischeibenisolierverglasung, wobei hier die Art der Einbringung in die Konstruktion von Bedeutung ist. Verglichen wird erstmals die Anwendung von Edelstahlabstandhaltern. Ist die dreifache Verglasung, gefüllt mit einem Argon-Luft-Gemisch, einfach an die Konstruktion aufgesetzt, oder seitlich in das Schichtholz eingesetzt, so deutet dies auf eine Verbesserung des Bauteils, aber auf keine Erfüllung der Normbedingungen. Wird die genannte Verglasung tiefer in die Konstruktion

Variante	HGV-Konstruktion	mit Warm Edge Hybrid	Entwicklung
1	Schichtholz <i>in originaler Umsetzung</i>		0
2	Optimierung 1 <i>aufgesetzte 3-fach Isolierverglasung</i>		+
3	Optimierung 2 <i>eingesetzte 3-fach</i>		+
4	Optimierung 3 <i>tief eingesetzte 3-fach Isolierverglasung</i>		++
5	Optimierung 4 <i>tief aufgesetzte 3-fach Isolierverglasung</i>		++
6	Optimierung 5 <i>Optimierung 2 mit Heizelement</i>		++ (+)

Tab. 84 Tabelle zum abschließenden Feedback der Varianten - Schichtholzrahmen

eingesetzt, so ergibt sich eine weitere thermische Optimierung dieser Konstruktion, jedoch ist hier die Erbringung der Anforderungen nur knapp nicht erfüllt. Erst mit der tief aufgesetzten Variante werden positive Werte des Temperaturfaktors und der erforderlichen Innentemperatur erfüllt. Alternativ bietet sich auch der Einsatz eines Heizelementes an, wodurch ein einfaches Aufsetzen einer Dreischeibenisolierverglasung ausreicht. Für die Anwendung eines Chromatech Ultra sei kurz gesagt, dass die Optimierungen jeglicher Art eine Erfüllung der Normbedingungen nachweist.

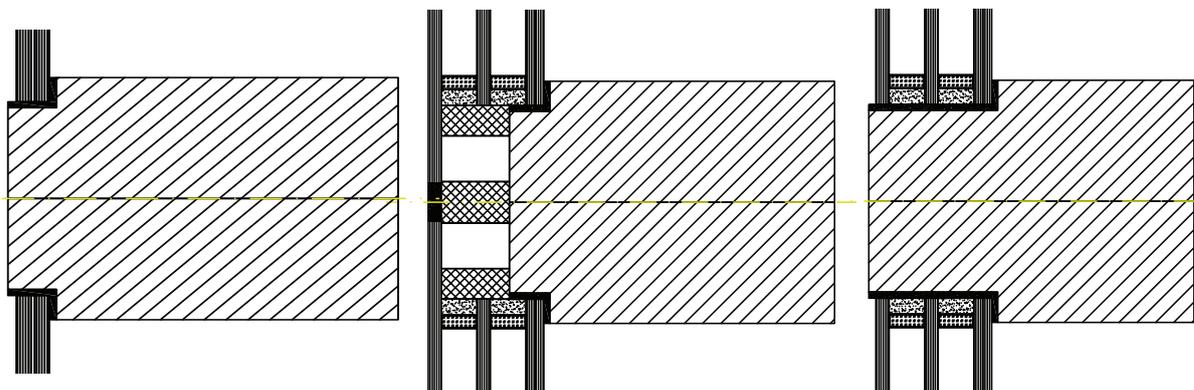


Abb. 139 Ausführung - HGV Schichtholz Original und Optimierung 1 - 2

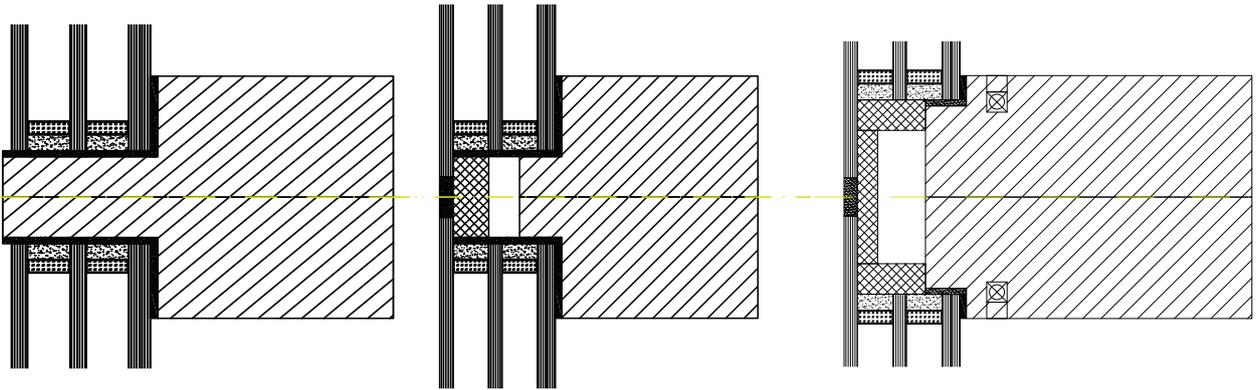


Abb. 140 Ausführung - HGV Schichtholz Optimierungen 3 - 6

Überblick der grafischen Resultate der einfach verzahnten Koppelleiste

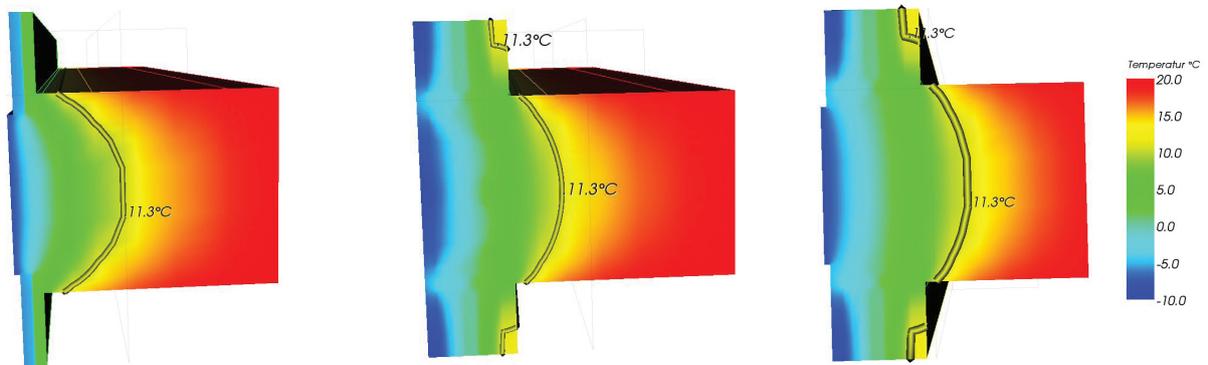


Abb. 141 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 1-3 - mit Edelstahlabstandhalter

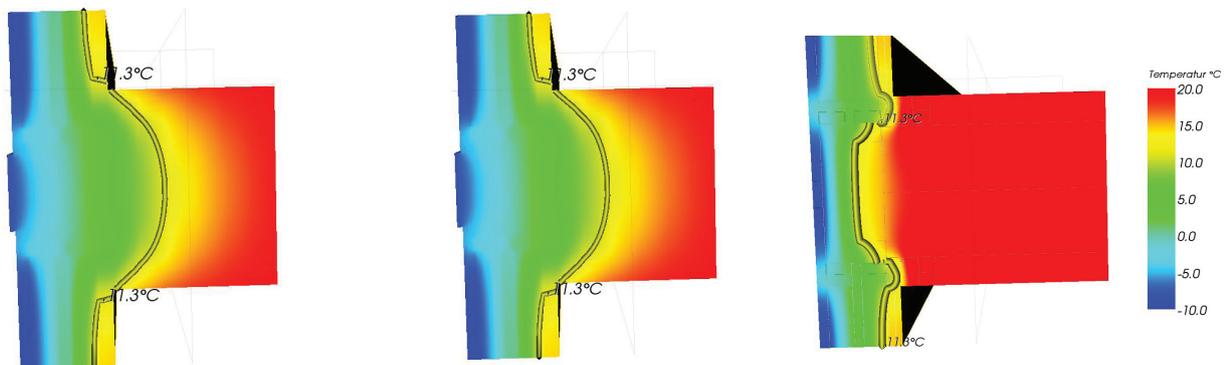


Abb. 142 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 4-6 - mit Edelstahlabstandhalter

## Schlußbilanz im Vergleich zu gewöhnlich thermisch optimierten Fassaden

Diese Gegenüberstellung der bereits seit Jahrzehnten optimierten Aluminium und Stahlkonstruktionen mit der Holz-Glas-Verbundbauweise, erörtert beiderseits die Erfüllung der notwendigen thermischen Anforderungen. Selbst bei niedrigen Außentemperaturen hält die moderne Holz-Glas-Konstruktion den Gegebenheiten stand. Zu bedenken ist jedoch, dass der ressourcenschonende Umgang mit den Baumaterialien für die erörternden Konstruktionen dieser Arbeit verweist und diese als Vorteil anzurechnen ist. Zudem sei der Aufwand der Profilierung der Metallformen mit einem einfachen Zuschnitt des Pfostens gegenüberzustellen. Die Holz-Glas-Verbundkonstruktion ermöglicht selbst mit einem Einfall der Kälteströmung im Pfosten und Riegelbereich die Ausführung unter den starken Bedingungen, wobei das Hauptaugenmerk auf eine ununterbrochene Glasebene gesetzt ist. Somit sind nicht nur wesentliche Schritte gesetzt, um die Nachteile an dieser Stelle beiseite zu räumen, sondern auch die innovativen Verbesserungen der HGV-Bauweise in den Vordergrund zu stellen. Mit den wachsenden ökologischen Anforderungen und dem Drang nach einer transparenten architektonischen Gebäudehülle können die thermisch analysierten Bestandteile ihre Wirkung erzielen. Somit ist das Prinzip des Bauens mit Naturbaustoffen nun in ganzheitlicher Weise für unsere und die nächsten Generationen umzusetzen.

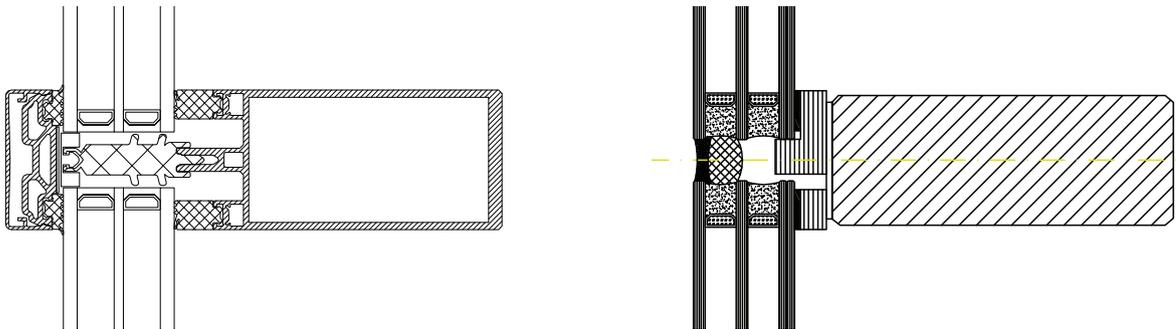


Abb. 143 Konstruktion - Schüco FW60Si (nachgebildet) - HGV mit winkelförmiger Koppelleiste

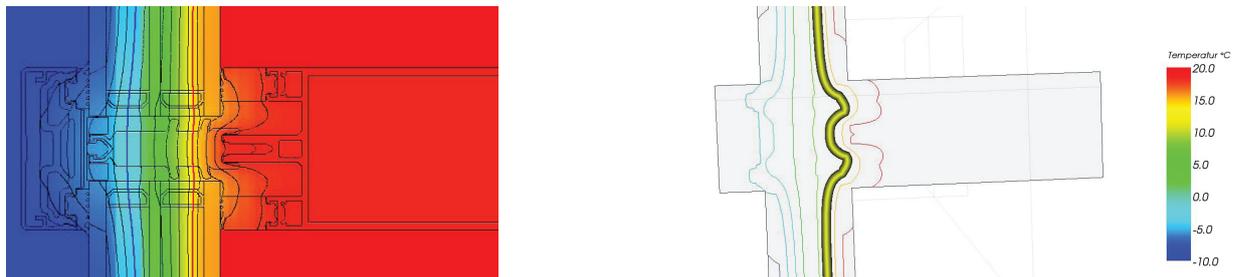


Abb. 144 Thermischer Output - Schüco FW60Si (Winiso - Antherm)



Abb. 145 Thermischer Output - HGV mit winkelförmiger Koppelleiste (Winiso - Antherm)

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 01 - Anteil und Entwicklung der Traibhausgas-Emissionen (Bundesam für Umwelt 2013)	11
Abb. 02 - Einschätzung der Traibhausgas-Emissionen - bis 2050 (Bundesam für Umwelt 2013)	12
Abb. 03 -Angaben starre und elsatische Verklebung (Neuhauser 2011)	15
Abb. 04 -Belastungsergebnisse (Holzforschung Austria, 2011)	15
Abb. 05 - Schubverklebung mit Koppelleiste ( Neubauer - Schober 2008 - bearbeitet Heid 2014)	16
Abb. 06 - Schattensbox mit HGV (Magazin CLIMAPLUSWOOD - Feb. 2013) - bearbeitet Heid	16
Abb. 07 - Fassade Otto Chemie mit HGV-Elementen (www.die-fassade.de) - bearbeitet Heid	16
Abb. 08 - Wärmetransport an einer Wand	17
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	17
Abb. 09 - Elektrisches Analogiemodell der Wand	17
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	17
Abb. 10 - Wärmebrücke an einer Ecke	18
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	18
Abb. 11 - Geometrische Wärmebrücke	18
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	18
Abb. 12 - Metallfensterrahmen	18
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	18
Abb. 13 - Verlauf des Sättigungsdampfdruckes in Verbindung mit der vorhandenen Temperatur	19
Abb. 14 - Abstandhalter zwischen Gläser	19
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	19
Abb. 15 - Wirkung des Abstandhalter	19
(Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	19
Abb. 16 - Feuchtetransport, Mauerbeispiel (Bauphysik Bau & Energie, 2010 Zürcher/Frank)	20
Abb. 17 - Aüszuge aus der DIN EN ISO 10077-1 (Deutsches Institut für Normungen 2009)	21
Abb. X18 - Aüszuge aus der DIN EN ISO 10077-2 (Deutsches Institut für Normungen 2012)	22
Abb. 19 - Aüszuge aus der DIN EN ISO 12631 (Deutsches Institut für Normungen 20012)	23
Abb. 20 - Temperaturfelder Fa. Petschnig Glasbau	26
Abb. 21 Temperaturfelder Diplomant	26
Abb. 22 - Temperaturfelder Fa. Petschnig Glasbau	27
Abb. 23 Temperaturfelder Diplomant	27
Abb. 24 - Auszug der Ergebnisse bezüglich der HGV-Konstruktion	28
Abb. 24 - Darstellung Modellierung Verklebung	28
Abb. 26 - Darstellung der Vorgehensweise zu den thermischen Simulationen	30
Abb. 27 - Auszug aus AutoCAD 2011 mit den HGV-Details	31
Abb. 28 - Darstellung Legende - CAD Zeichnungen	31
Abb. 29 - Darstellung des Converter für WinIso 2D + 3D	32
Abb. 30 - Darstellung wichtiger Programmfunktionen WinIso	33
Abb. 31 - Auszug aus Handbuch - WinIso Gitternetz	33
Abb. 33 - Ausweisung des fRsi und der Oberflächentemperaturen in WinIso	33
Abb. 32 - Auszug WinIso - Materialienzuweisung	33
Abb. 34 - Darstellung der Detaillierung im Falzbereich - WinIso	34
Abb. 35 - Darstellung des Input in Antherm	34
Abb. 36 - Darstellung der Materialüberlappungen	35
Abb. 37 - 3Dimensionale Darstellung der 2D-Ergebnisse	35
Abb. 38 - Darstellung Screenshot der beiden Programmdateien	36
Abb. 39 - Darstellung der Ergebnisse HGV-ITI - Konventionell	37
Abb. 40 - Darstellung der Ergebnisse HGV-ITI - Konventionell Optimiert	37
Abb. 41 Ausführung der Konstruktion Petschenig Glastec	38
Abb.42 Ausführung der Konstruktion des ITI	38
Abb. 44 Winiso - Temperatur mit Chromatech U.	40
Abb. 43 Ausführung der Konstruktion Petschenig Glastec	40
Abb. 45 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.	40
Abb. 47 Winiso - Temperatur ohne Chromatech U.	41
Abb. 46 Ausführung der Konstruktion Petschenig Glastec	41

<i>Abb. 48 Antherm - Temperatur ohne Chromatech U.</i>	41
<i>Abb. 50 WIniso - Temperatur ohne Chromatech U.</i>	42
<i>Abb. 49 Ausführung der Konstruktion des ITI</i>	42
<i>Abb. 51 Antherm - Temperatur ohne Chromatech U.</i>	42
<i>Abb. 53 WIniso - Temperatur mit Chromatech U.</i>	43
<i>Abb. 52 Ausführung der Konstruktion des ITI</i>	43
<i>Abb. 54 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.</i>	43
<i>Abb. 57 Auszug aus Antherm - Schraubungsverbindung 3D</i>	44
<i>Abb. 55 Ausführung - Konstruktion des ITI mit Schraube</i>	44
<i>Abb. 56 Ausführung - Konstruktion des ITI ohne Schraube</i>	44
<i>Abb. 58 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.</i>	46
<i>Abb. 60 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.</i>	46
<i>Abb. 59 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.</i>	46
<i>Abb. 61 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.</i>	46
<i>Abb. 62 Auszug aus WIniso - Temperatur Optimierte Konstr. 12°C Gelb - 0°C Türkis</i>	48
<i>Abb. 64 Auszug aus Datenblatt für Chromatech Ultra (.....)</i>	48
<i>Abb. 63 Auszug aus WIniso - Temperatur Optimierte Konstr. 12°C Gelb - 0°C Türkis</i>	48
<i>Abb. 65 Auszug aus Datenblatt für Chromatech Ultra (.....)</i>	49
<i>Abb. 67 Darstellung der Wärmestromlinien, links ITI, rechts Petschenig</i>	53
<i>Abb. 68 Problemstelle bei konventionellen Glasabstandhalter (ITI &amp; Petschenig)</i>	53
<i>Abb. 70 Ansätze mit Versetzung der GLasabstandhalter (ITI &amp; Petschenig)</i>	54
<i>Abb. 71 Optimierung Abstandhalter ITI</i>	54
<i>Abb. 72 Optimierung Abstandhalter Petschenig</i>	54
<i>Abb. 73 Ansätze mit der Überdeckung des Birkenfurniersperrholzes (ITI &amp; Petschenig)</i>	55
<i>Abb. 74 Optimierung Überdeckung ITI</i>	55
<i>Abb. 75 Optimierung Überdeckung Petschenig</i>	55
<i>Abb. 76 WIniso - Temperatur ohne Chromatech U.</i>	56
<i>Abb. 78 WIniso - Optimierung mit Überdeckung</i>	56
<i>Abb. 77 Antherm - Temperatur ohne Chromatech U.</i>	56
<i>Abb. 79 Antherm - Temperatur mit Überdeckung</i>	56
<i>Abb. 80 WIniso - Temperatur mit Chromatech U.</i>	60
<i>Abb. 82 WIniso - Temperatur mit Überdeckung</i>	60
<i>Abb. 81 Antherm - Temperatur mit Chromatech U.</i>	60
<i>Abb. 83 Antherm - Temperatur mit Überdeckung</i>	60
<i>Abb. 84 WIniso - Temperatur mit Überdeckung</i>	64
<i>Abb. 86 WIniso - Temperatur mit Überdeckung</i>	64
<i>Abb. 85 Antherm - Temperatur mit Überdeckung</i>	64
<i>Abb. 87 Antherm - Temperatur mit Überdeckung</i>	64
<i>Abb. 88 Ansätze der Überdeckung des Birkenfurniersperrholzes beider Koppelleisten</i>	68
<i>Abb. 89 Eckgestaltung mit der ermittelten Optimierung +24mm BKF-Leiste</i>	69
<i>Abb. 90 Gegenüberstellung der Flächenaufstellungen der Fassadenansichten</i>	70
<i>Abb. 91 Darstellung der Überdeckung bei Lichteinfall Winter (18°)</i>	71
<i>Abb. 92 Darstellung der Überdeckung bei Lichteinfall Durchschnitt (45°)</i>	71
<i>Abb. 93 Darstellung der Überdeckung bei Lichteinfall Sommer (60°)</i>	71
<i>Abb. 94 Darstellung eines Einsatzmodules mit und ohne Riegel der Konstruktion</i>	72
<i>Abb. 95 Thermische Temperaturfelder mit und ohne des Riegels an der Konstruktion</i>	73
<i>Abb. 95 WIniso - HGV - mit Riegel - L-Koppelleiste.</i>	74
<i>Abb. 97 Antherm - HGV-mit Riegel - L-Koppelleiste.</i>	74
<i>Abb. 96 WIniso - HGV - ohne Riegel - L-Koppelleiste.</i>	74
<i>Abb. 98 WIniso - HGV-mit Riegel - L-Koppelleiste.</i>	74
<i>Abb. 99 Konsolendarstellung der HGV-Elemente (Weissensteiner-2013)</i>	82
<i>Abb. 100 Horizontal- und Vertikalschnitt der Konsole (Rosliakova - 2012)</i>	83
<i>Abb. 101 Bestandteile der Konsole für die HGV-Elemente (Rosliakova - 2012)</i>	83
<i>Abb. 102 Ansicht der gezahnten Koppelleiste bei Mittel- und Endstoß (Weissensteiner - 2013)</i>	84

<i>Abb. 103 Konsolenentwicklung nach thermischer Studie - Mittelstoß</i>	85
<i>Abb. 104 Konsolenaufbau der einzelnen Bestandteile beim Mittelstoß</i>	86
<i>Abb. 105 Konsolenschraubung ohne Stahl - Profilschnitt</i>	87
<i>Abb. 106 Konsolenschraubung mit Stahl - Profilschnitt</i>	87
<i>Abb. 107 Konsole bei Birkenfurnierleiste - Profilschnitt</i>	87
<i>Abb. 108 Darstellung der Messpunkte an der Konsole, der BKF-Leiste und dem Nadelholz</i>	88
<i>Abb. 109 Auszug aus Antherm für den Riegelentfall und der Konsolenanwendung</i>	88
<i>Abb. 110 Darstellung des Tauwassertransport durch Neoprenbänder</i>	106
<i>Abb. 111 Tauwasseranfall nur mehr auf Neoprenoberfläche / Neopren als saugendes Bauteil</i>	106
<i>Abb. 113 Konsolenelemente</i>	107
<i>Abb. 112 Übersicht eines HGV-Elementes</i>	107
<i>Abb. 114 Profilschnitt durch Konsolenschraubung</i>	107
<i>Abb. 115 Eingabe des Neoprenbandes in das thermische Simulationsprogramm</i>	108
<i>Abb. 117 Neoprenbänder der beiden Koppelleisten als Tauwasserschutz der Oberflächen</i>	109
<i>Abb. 118 Umsetzung der Daten des Projektes in das CAD-Program AutoCAD 2011</i>	110
<i>Abb. 119 Originalumsetzung des HGV-Elements</i>	111
<i>Abb. 120 HGV-Element mit aufgesetzter 3-fach Isolierverglasung</i>	111
<i>Abb. 121 HGV-Element mit eingesetzter 3-fach Isolierverglasung</i>	111
<i>Abb. 122 HGV-Element mit tief eingesetzter 3-fach Isolierverglasung</i>	112
<i>Abb. 123 HGV-Element mit tief eingesetzter 3-fach Isolierverglasung und Silikonfuge</i>	112
<i>Abb. 124 HGV-Element mit eingesetzter 3-fach Isolierverglasung und Heizelement</i>	112
<i>Abb. 125 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 1-3</i>	113
<i>Abb. 126 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 4-6</i>	113
<i>Abb. 127 Ausführung - L-förmig verzahnte BKF-Leiste - Original - Überdeckung - Riegelentfall</i>	119
<i>Abb. 128 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter</i>	120
<i>Abb. 129 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid</i>	120
<i>Abb. 130 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter, 24mm Überdeckung BKF</i>	120
<i>Abb. 131 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid ohne Riegel</i>	120
<i>Abb. 132 Auszug Antherm - HGV-Konstruktion, Ecklösung mit Riegel und ohne Riegelbestandteil</i>	120
<i>Abb. 133 Ausführung - L-förmig verzahnte BKF-Leiste - Original - Überdeckung - Riegelentfall</i>	121
<i>Abb. 134 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter</i>	122
<i>Abb. 135 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid</i>	122
<i>Abb. 136 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Edelstahlabstandhalter, 24mm Überdeckung BKF</i>	122
<i>Abb. 137 WinIso / Antherm - HGV-Konstruktion mit Warm Edge Hybrid ohne Riegel</i>	122
<i>Abb. 138 Auszug Antherm - HGV-Konstruktion, Ecklösung mit Riegel und ohne Riegelbestandteil</i>	122
<i>Abb. 139 Ausführung - HGV Schichtholz Original und Optimierung 1 - 2</i>	123
<i>Abb. 141 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 1-3 - mit Edelstahlabstandhalter</i>	124
<i>Abb. 142 Thermische Ergebnisse der Konstruktionen 4-6 - mit Edelstahlabstandhalter</i>	124
<i>Abb. 140 Ausführung - HGV Schichtholz Optimierungen 3 - 6</i>	124
<i>Abb. 143 Konstruktion - Schüco FW60Si - HGV mit winkelförmiger Koppelleiste</i>	125
<i>Abb. 144 Thermischer Output - Schüco FW60Si (Winiso - Antherm)</i>	125
<i>Abb. 145 Thermischer Output - HGV mit winkelförmiger Koppelleiste (Winiso - Antherm)</i>	125

## Tabellen und Diagramme

Diag. 01 - Marktanteil der Rohstoffe von Fensterrahmen (Angaben lt. Interconnection Consulting)	13
Tab. 02 Randbedingungen - Temperatur für Programmeingabe	39
Tab. 03 Randbedingungen - Wärmeübergangswiderstände für Programmeingabe	39
Tab. 04 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für Petsch.ChromaTech Ultra	40
Tab. 05 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für Petsch.konv. Abstandshalter	41
Tab. 06 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für ITI konv. Abstandshalter	42
Tab. 07 Vergleichende Daten - WinIso / Antherm für ITI ChromaTech Ultra	43
Diag. 09 Diagramm zum Vergleich der HGV-Konstruktion mit & ohne Verschraubung	45
Tab. 08 Darstellung der Ergebnisse der Messpunkte für den Vergleich der Verschraubung	45
Tab. 10 Daten der Messpunkte für den Vergleich der Abstandhalter für die HGV-Konstruktion	47
Tab. 11 Diagramm der Temperaturen zum Vergleich der Abstandhalter	47
Diag. 12 Vergleich mit Chromatech Ultra oder Optimierung konv. Abstandhalter (V2A)	52
Tab. 13 Ergebnisse der thermischen Simulationen zur Überdeckung (ITI)	57
Diag. 14 Vergleich der Überdeckungen anhand des Temperaturfaktors	57
Diag. 15 Vergleich der Überdeckungen anhand der kleinsten Innentemperatur	58
Diag. 16 Vergleich der Überdeckungen anhand der aufnehmbaren Feuchtigkeit	58
Tab. 17 Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen Falz und Hohlraum (ITI)	59
Tab. 18 Vergleich der Überdeckungen anhand der kleinsten inneren Oberflächentemperatur	59
Tab. 19 Ergebnisse der thermischen Simulationen zur Überdeckung (Petschenig)	61
Diag. 20 Vergleich der Überdeckungen anhand des Temperaturfaktors	61
Diag. 21 Vergleich der Überdeckungen anhand der inneren Oberflächentemperatur	62
Diag. 22 Vergleich der Überdeckungen anhand der aufnehmbaren Feuchtigkeit	62
Tab. 23 Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen Falz und Hohlraum (Petschenig)	63
Diag. 24 Vergleich der Überdeckungen anhand der kleinsten inneren Oberflächentemperatur	63
Diag. 25 Vergleich $t_{min,si}$ der L-förmig verzahnten Koppelleiste und einfach verzahnten Leiste	65
Diag. 26 Feuchte der L-förmig verzahnte Koppelleiste und der einfach verzahnten Koppelleiste	65
Diag. 27 Vergleich der Oberflächentemperaturen und Hohlraumtemperaturen der Koppelleisten	66
Tab.28 Vergleich der Messtemperaturen beider Varianten der Koppelleisten	67
Tab. 29 Darstellung des zu erwartenden Mehraufwandes der Optimierungen	68
Tab. 30 Flächenaufstellung der Ansichtsfläche des Glases vor und nach der Überdeckung	70
Tab.31 Vergleichende Daten mit Riegel (oben) und bei Verzicht auf Riegel (unten)	73
Diag. 32 Vergleich der Oberflächentemperatur - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)	75
Diag. 32 Vergleich der aufnehmbaren Feuchtigkeit - Riegelentfall (blau) / mit Riegel (rot)	76
Diag. 33 Vergleich der Oberflächentemp. und Hohlraumtemp. - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)	77
Diag. 34 Vergleich der Messtemperaturen - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (grau)	77
Diag. 35 Vergleich der Oberflächentemperatur - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)	78
Diag. 36 Vergleich der Oberflächentemperatur - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)..??	79
Tab. 37 Vergleich der Oberflächentemp. und Hohlraumtemp. - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (rot)	80
Tab. 38 Vergleich der Messtemperaturen - Riegelentfall (grün) / mit Riegel (grau)	80
Tab. 39 Messergebnisse der Konsolensimulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH	89
Diag. 40 Konsolenpunkte der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH	90
Diag. 41 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH	90
Diag. 42 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, WEH	91
Tab. 43 Tabelle zur Übersicht der Vergleiche von hybriden Konsolenelementen, WEH	91
Diag. 44 Vergleich der Konsolenmesspunkten mit hybriden Konsolen, WEH	92
Diag. 45 Vergleich der Ergebnissen der Innenkanten mit hybriden Konsolen, WEH	92
Diag. 46 Vergleich der Ergebnissen der Holzoberfläche mit hybriden Konsolen, WEH	93
Tab. 47 Messergebnisse der Konsolensimulation für einfach verzahnte Koppelleiste, WEH	93
Diag. 48 Konsolenpunkte der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, WEH	94
Diag. 49 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, WEH	94
Diag. 50 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, WEH	95
Tab. 51 Messergebnisse der Konsolensimulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A	95
Diag. 52 Konsolenpunkte der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A	96
Diag. 53 Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A	96
Diag. 54 Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A	97

<i>Tab. 56</i>	<i>Tabelle zur Übersicht der Vergleiche von hybriden Konsolenelementen, V2A</i>	<i>97</i>
<i>Diag. 57</i>	<i>Vergleich der Konsolenmesspunkten mit hybriden Konsolen, V2A</i>	<i>98</i>
<i>Diag. 58</i>	<i>Vergleich der Ergebnissen der Innenkanten mit hybriden Konsolen, V2A</i>	<i>98</i>
<i>Diag. 59</i>	<i>Vergleich der Ergebnissen der Holzoberfläche mit hybriden Konsolen, V2A</i>	<i>99</i>
<i>Tab. 60</i>	<i>Messergebnisse der Konsolensimulation für einfach verzahnte Koppelleiste, V2A</i>	<i>99</i>
<i>Diag. 61</i>	<i>Konsolenpunkte der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, V2A</i>	<i>100</i>
<i>Diag. 62</i>	<i>Ergebnisse der Innenkanten der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, V2A</i>	<i>100</i>
<i>Diag. 63</i>	<i>Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation für die einfach verzahnte Koppelleiste, V2A</i>	<i>101</i>
<i>Tab. 64</i>	<i>Messergebnisse der Aluminiumkonsole der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A</i>	<i>101</i>
<i>Diag. 65</i>	<i>Vergleich einer Aluminiumkonsole der L-förmig verzahnten Koppelleiste</i>	<i>102</i>
<i>Diag. 66</i>	<i>Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A</i>	<i>102</i>
<i>Diag. 67</i>	<i>Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-förmig verzahnten Koppelleiste, V2A</i>	<i>103</i>
<i>Tab. 68</i>	<i>Messergebnisse der Aluminiumkonsole der einfach verzahnten Koppelleiste, V2A</i>	<i>103</i>
<i>Diag. 69</i>	<i>Vergleich einer Aluminiumkonsole der einfach verzahnten Koppelleiste</i>	<i>104</i>
<i>Diag. 70</i>	<i>Ergebnisse der Innenkanten der Simulation der einfach verzahnten Koppelleiste</i>	<i>104</i>
<i>Diag. 71</i>	<i>Ergebnisse der Holzoberfläche der Simulation der L-einfach verzahnten Koppelleiste</i>	<i>105</i>
<i>Tab. 72</i>	<i>Datensätze für den Einsatz von Neoprenbänder im Hohlraum</i>	<i>108</i>
<i>Tab. 73</i>	<i>Vergleich des Neopreneinsatzes an der L-förmigen Koppelleiste</i>	<i>109</i>
<i>Diag. 74</i>	<i>Tabelle zum Vergleich der Konstruktionen mit Neoprenband im Hohlraum</i>	<i>109</i>
<i>Tab. 75</i>	<i>Ergebnisse der thermischen Untersuchungen für die Konstruktionsvarianten, V2A</i>	<i>114</i>
<i>Diag. 76</i>	<i>Messpunkte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, V2A</i>	<i>114</i>
<i>Diag. 77</i>	<i>Temperaturfaktoren der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, V2A</i>	<i>115</i>
<i>Diag. 78</i>	<i>Aufnehmbare Feuchte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten V2A</i>	<i>115</i>
<i>Tab. 79</i>	<i>Ergebnisse der thermischen Untersuchungen für die Konstruktionsvarianten, WEH</i>	<i>116</i>
<i>Diag. 80</i>	<i>Messpunkte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, WEH</i>	<i>116</i>
<i>Diag. 81</i>	<i>Temperaturfaktoren der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, WEH</i>	<i>117</i>
<i>Diag. 82</i>	<i>Aufnehmbare Feuchte der Thermischen Untersuchungen der Konstruktionsvarianten, WEH</i>	<i>117</i>
<i>Tab. 83</i>	<i>Tabelle zum abschließenden Feedback der Varianten - L-förmig verzahnte Koppelleiste</i>	<i>119</i>
<i>Tab. 83</i>	<i>Tabelle zum abschließenden Feedback der Varianten - L-förmig verzahnte Koppelleiste</i>	<i>121</i>
<i>Tab. 84</i>	<i>Tabelle zum abschließenden Feedback der Varianten - L-förmig verzahnte Koppelleiste</i>	<i>123</i>

## Literaturverzeichnis

### *Buch- und Schriftstücke*

Weller Bernhard; Silke Tasche (2014): SET Glasbau 2013 und 2014. Glasbau 2014. Basel: Birkhäuser GmbH Verlag

Achilles Andreas; Diane Navratil (2008): Basics Glasbau. Dresden: Ernst & Sohn Verlag.

Moro, Jose Luis (2008): Baukonstruktion. Vom Prinzip zum Detail, Band 1 Grundlagen. Mitarbeit Matthias Rottner, Bernes Alihodzic, Matthias Weißbach, Jörg Schlaich. 2.Auflage 2009. Stuttgart: Springer Verlag.

Siebert, Gerald (2001): Entwurf und Bemessung von tragenden Bauteilen aus Glas. München: Ernst & Sohn Verlag.

Pech, Anton; Klaus Jens (2005): Heizung und Kühlung. Mitarbeit von Johann Harm. Wien: Springer Verlag.

Zürcher, Christoph; Thomas Frank (2010): Bauphysik. Bau & Energie. Mitarbeit von Kurt Eggen-schwiler, Karim Ghazi Wakili, Erich Hugi, Lubos Krajci, Hans Simmler und Thomas Stahl. 3. Auflage 2010. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

Willems, Wolfgang M.; Kai Schild, Simone Dinter, Diana Stricker (2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wärmeschutz - Feuchteschutz - Klima - Akkustik - Brandschutz. 2. Auflage 2010. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Riccabona, Christof; Thomas Bednar (2013): Baukonstruktionslehre 4. Bauophysik. Wien: Manz Verlag.

Weller, Bernhard; Michael Engelmann, Felix Nicklisch und Thorsten Weimar (2013): Glasbau-Praxis. Konstruktion und Bemessung. 3. Auflage 2013. Berlin: Beuth Verlag.

Werner, Johann Dietrich; Andreas Fink, Jens Schneider (2001): Glasbau Grundlagen, Berechnung, Konstruktion mit 75 Tabellen. Berlin: Springer Verlag.

### *Magazine oder Hochschulschriften*

Winter Wolfgang (2012): Tragende Holz-Glas Klebeverbindungen Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. Wien.

Schwaner, Kurt: Zukunft Holz. Statusbericht zum aktuellen Stand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen und Evaluierung künftiger Entwicklungspotenziale. Mitarbeit Johannes Sessing, Karen Spanninger, Stefanie Roßbach, Timo Beutel, Volkper Knopp, Peter Merk und Peter Kaufmann. Bericht. Hochschule Biberach. Institut für Holzbau. Biberach 2009.

BMG Engineering AG (Hrsg.) (2009): Energie-Kennzahlen. Sammlung der BMG Engineering AG. August 2009. Schlieren.

Edl, Thomas: Entwicklung von wandartigen verklebten Holz-Glas-Verbundelementen und Beurteilung des Tragverhaltens als Aussteifungsscheibe. Diss. Technische Universität Wien. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. Wien 2008.

Neubauer, Georg (20011): Entwicklung und Bemessung von statisch wirksamen Holz-Glas-Verbundkonstruktionen zum Einsatz im Fassadenbereich. Diss. Technische Universität Wien. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. Wien 2011.

Kornblum, Wolfgang: Ökologische Bewertung von großflächigen Glasfassaden. Vergleich von verschiedenen Befestigungskonstruktionen von Holz-Glas-Klebeverbindungen mit metallischen Klemmsystemen. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. Wien 2013.

Weissensteiner, Franz: Holz-Glas-Verbundkonstruktionen im Einsatz an thermischen Pufferzonen. Prototypischer Einsatz am Beispiel eines Anbaus. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. Wien 2013.

### *Normungen*

DIN EN ISO - 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten ( ISO 10077-1:2006 + Cor. 1:2009). Ausgabe Mai 2010.

DIN EN ISO - 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenster, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO 10077-2:2012). Ausgabe Juni 2012.

DIN EN ISO - 12631: Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ( ISO 12631:2012). Ausgabe Januar 2013.

ÖN B 8110: Wärmeschutz im Hochbau. Teil 1: deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Ausgabe 2011-11-01.

ÖN B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau. Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz. Ausgabe: 2003-07-01.

ÖN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen ( ISO 10211:2007). Ausgabe 2008

### *Internetquellen*

Fenzi (2011): Fenzi Group: Summary Analysis of different families of Warm Edge Spacers available on the Market. Guide to making an informed choice. Online im Internet: URL: [http://www.fenzi-group.com/portals/0/pdf/News3\\_11\\_WarmEdge\\_ENG.pdf](http://www.fenzi-group.com/portals/0/pdf/News3_11_WarmEdge_ENG.pdf) (Stand 23.9.2014).

Wirtschaftskammer Österreich (Hrsg) (2013): FAQ zur Bauproduktenrichtlinie. Online im Internet: URL: [http://wko.at/unternehmensservice/ce-kennzeichnung/faq\\_bau.asp](http://wko.at/unternehmensservice/ce-kennzeichnung/faq_bau.asp) (Stand 21.6.2014).

Umweltbundesamt (Hrsg) (2013): Klimaschutzbericht 2013. Online im Internet: URL: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0420.pdf> (Stand 21.6.2014).

Rolltech A/S (2014): Angaben zum Glas-Abstandhalter CHromatech Ultra mit Link zu Datenblättern und weiteren Informationen. Online im Internet: URL: <http://www.rolltech.dk/de/produkten/chromatech-ultra.html> (Stand 15.9.2014).

Interconnection Consulting (Hrsg) (2014): Marktanteile von Fensterrahme nach Material. Online im Internet: URL: <http://www.interconnectionconsulting.com/index.php?lang=de&adhoc=new-markets#market-analysis> (Stand 21.9.2014).

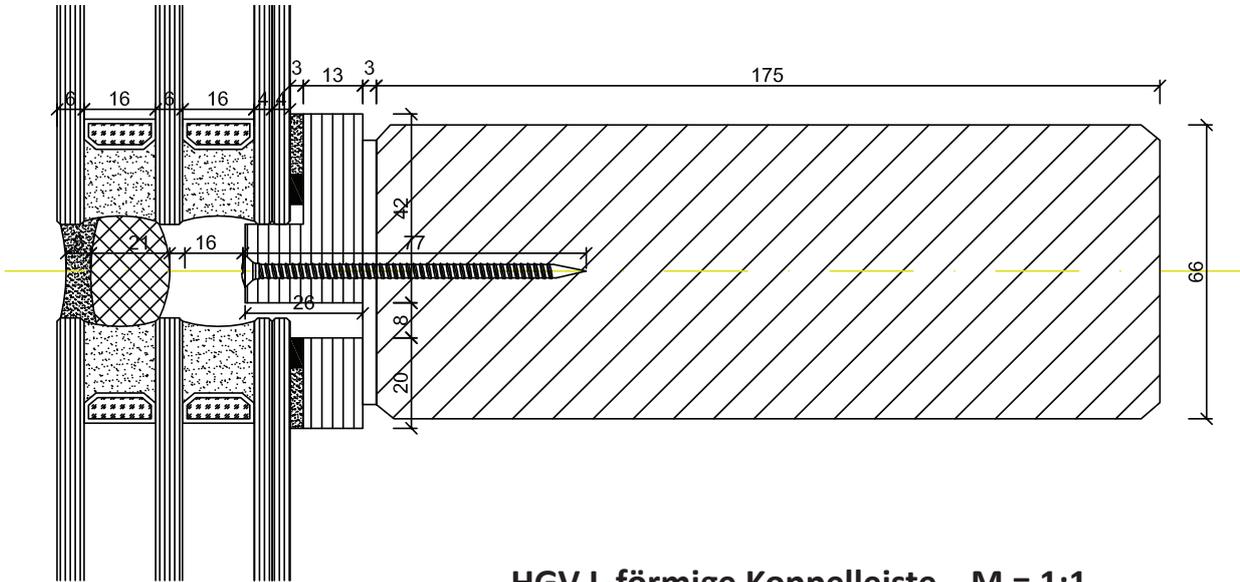
### *Sonstige Angaben*

*Vorlesung, Projektentwicklung. Vortragender: Christoph M. Achammer 2013.*

*Besprechungen im Rahmen der Masterarbeit mit Prof. Winter / Prof Fadai*

**Anhang**

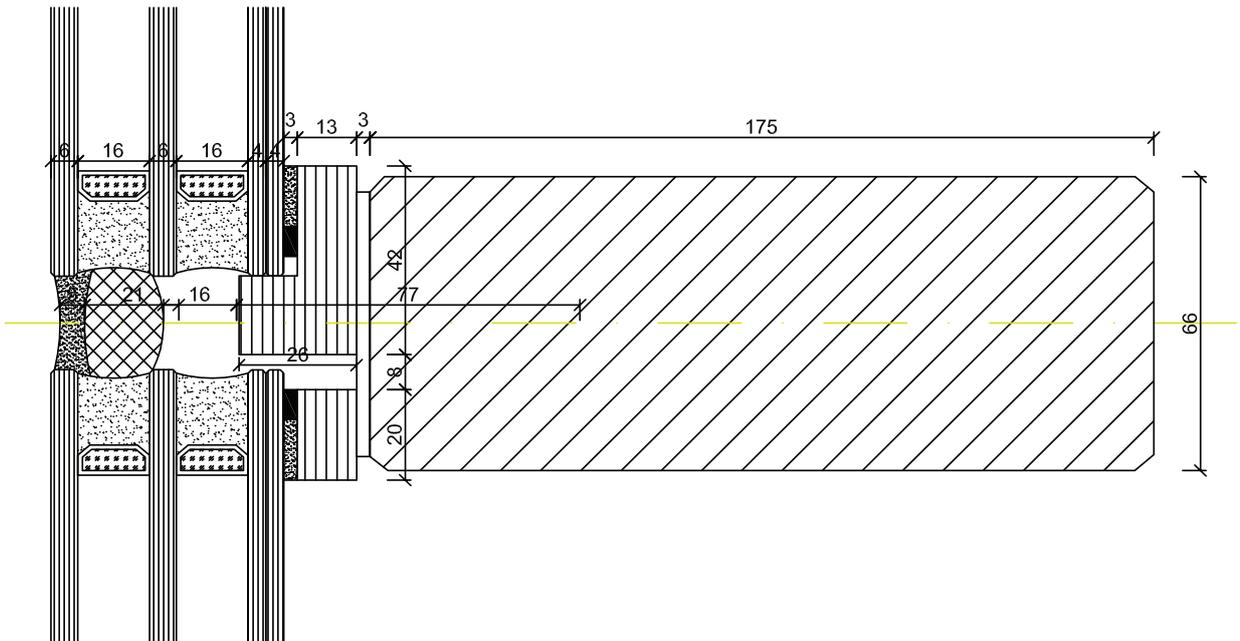
**Anhänge - Konstruktionsdarstellungen**

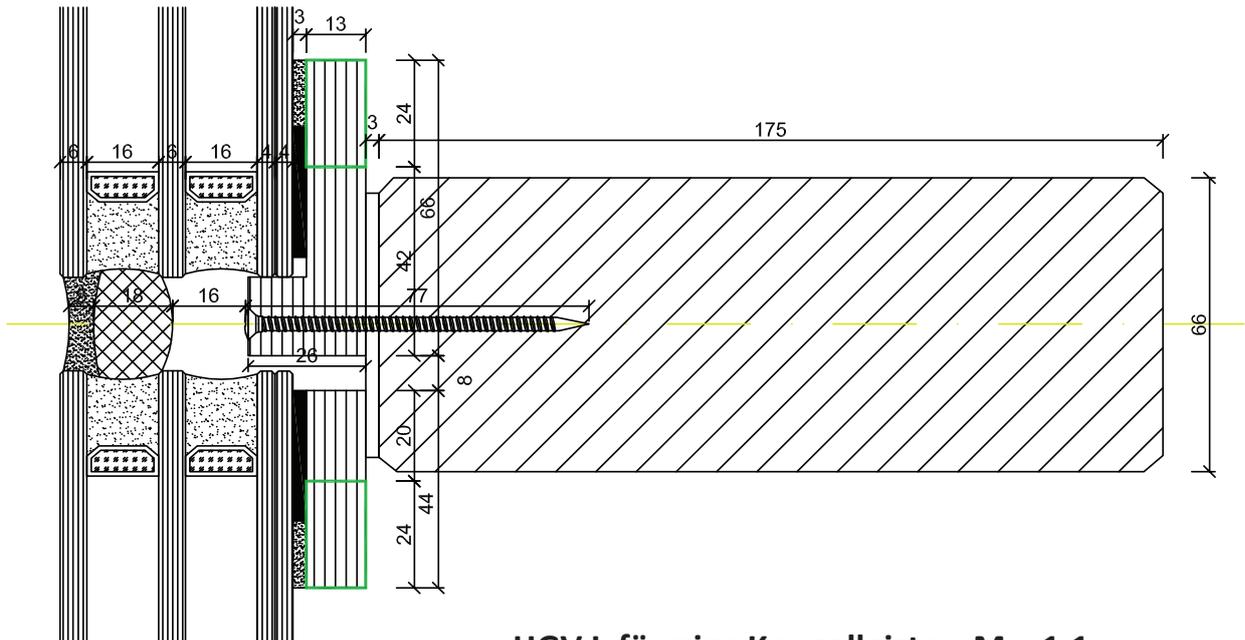


**HGV L-förmige Koppelleiste M = 1:1  
mit Schraube  
mit Chromatech Ultra**

-  FLOATGLAS e=0.03
-  SILIKAGEL / TROCKENMITTEL
-  2-KOMPONENTENSILIKON
-  OTTO-SEAL S7
-  BIRKENFURNIER-SPERRHOLZ
-  TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK
-  THERMALBOND
-  OTTO COLL S680

**HGV L-förmige Koppelleiste M = 1:1  
ohne Schraube  
mit Chromatech Ultra**

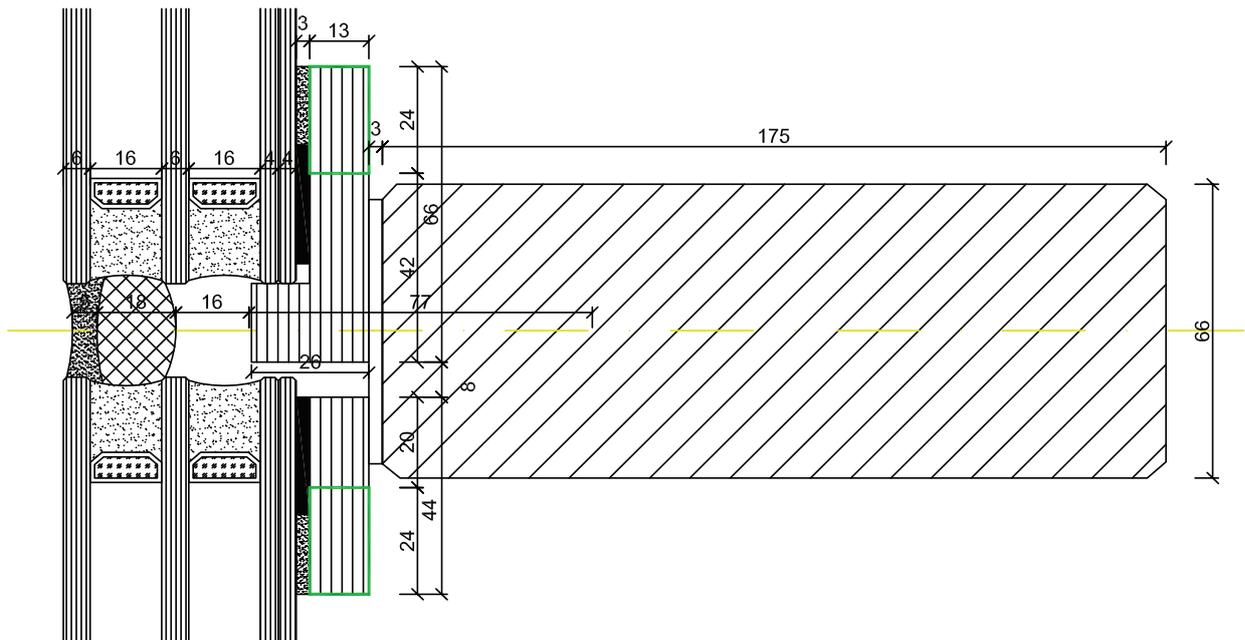


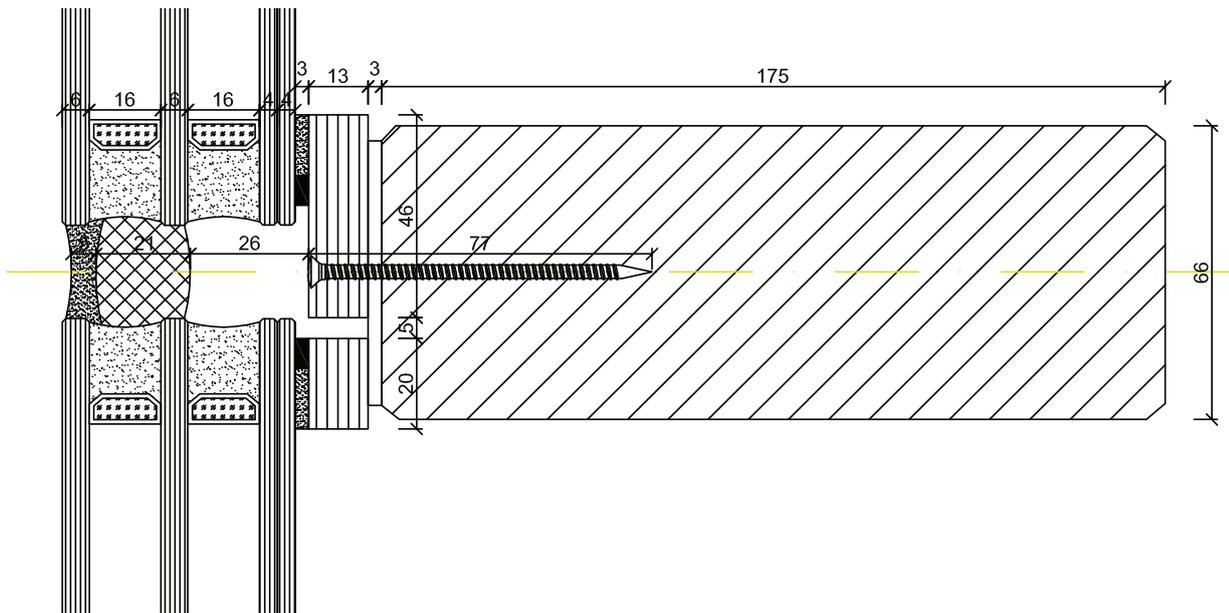


**HGV L-förmige Koppelleiste M = 1:1  
mit Schraube  
mit Edelstahl-Abstandhalter**

-  FLOATGLAS  $e=0.03$
-  SILIKAGEL / TROCKENMITTEL
-  2-KOMPONENTENSILIKON
-  OTTO-SEAL S7
-  BIRKENFURNIER-  
SPERRHOLZ
-  TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK
-  THERMALBOND
-  OTTO COLL S660

**HGV L-förmige Koppelleiste M = 1:1  
ohne Schraube  
mit Edelstahl-Abstandhalter**

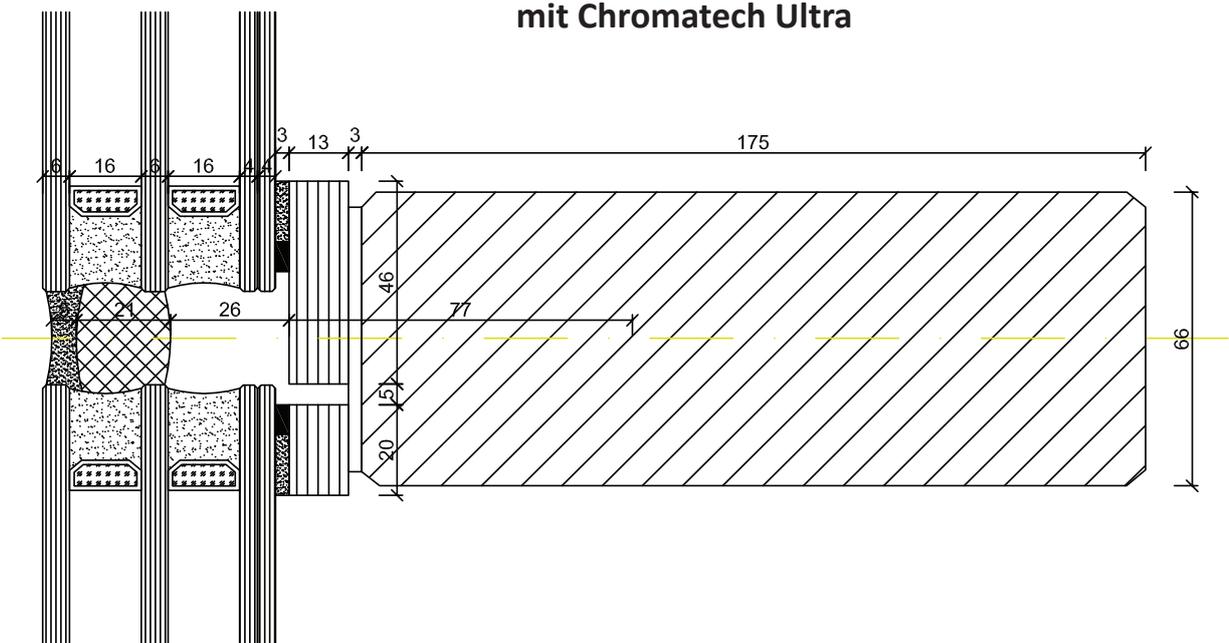


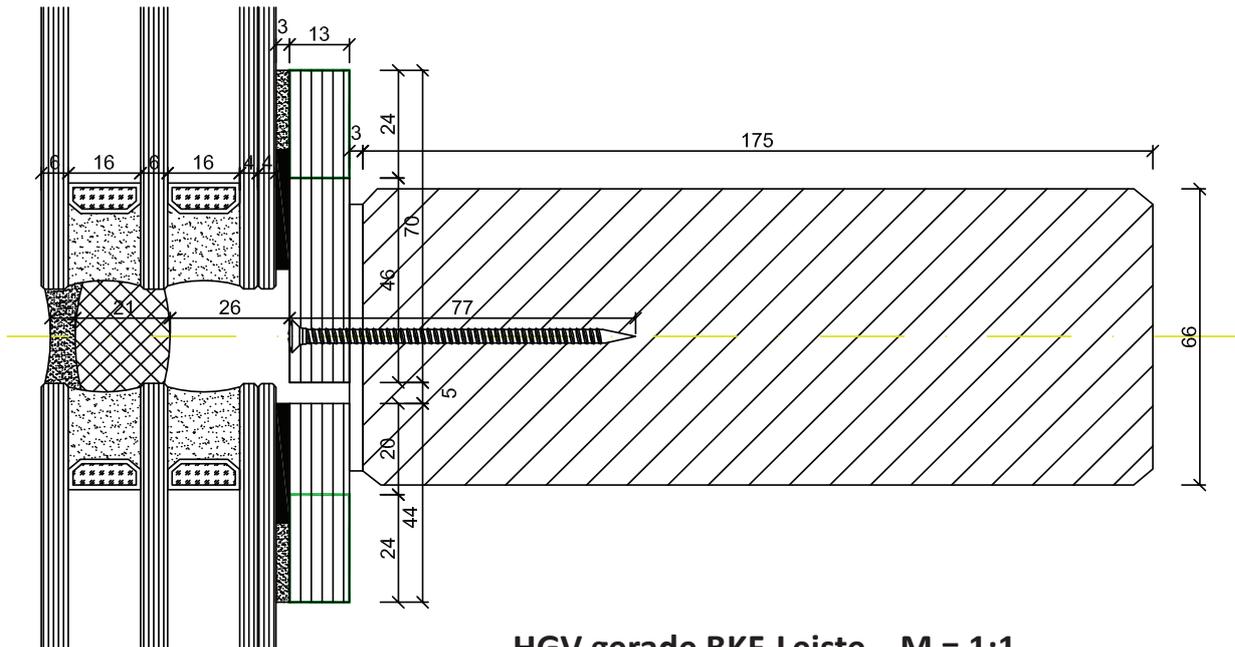


-  FLOATGLAS e=0.03
-  SILIKAGEL / TROCKENMITTEL
-  2-KOMPONENTENSILIKON
-  OTTO-SEAL S7
-  BIRKENFURNIER-SPERRHOLZ
-  TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK
-  THERMALBOND
-  OTTO COLL S660

**HGV gerade BKF-Leiste M = 1:1  
mit Schraube  
mit Chromatech Ultra**

**HGV gerade BKF-Leiste M = 1:1  
ohne Schraube  
mit Chromatech Ultra**

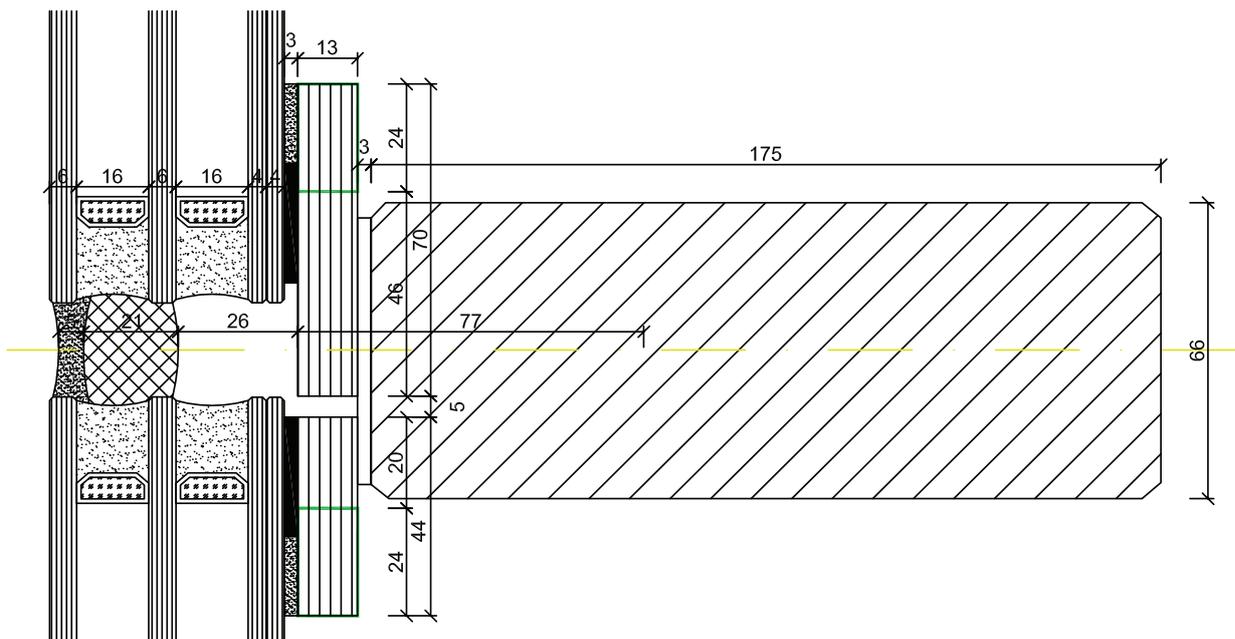




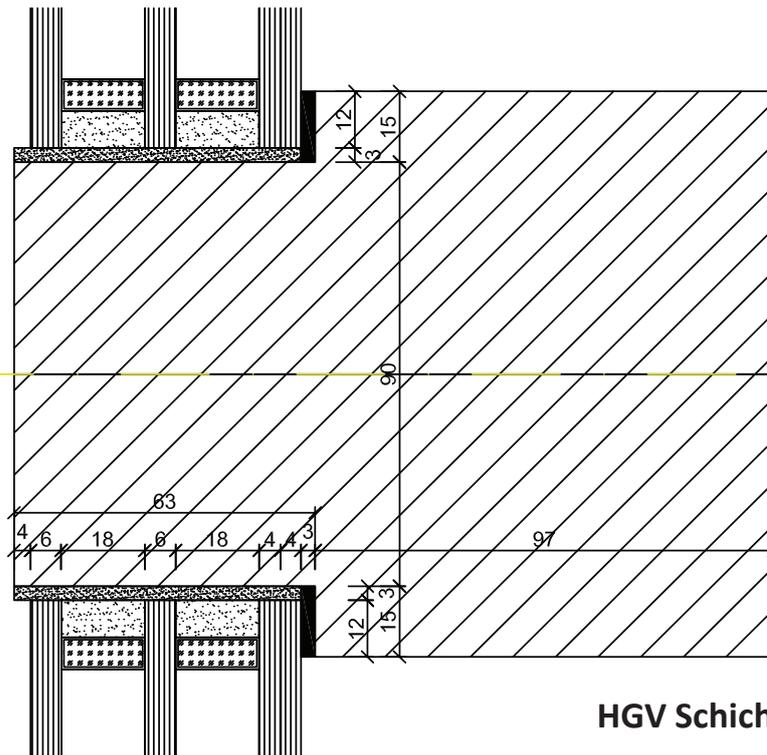
**HGV gerade BKF-Leiste M = 1:1  
mit Schraube  
mit Edelstahl-Abstandhalter**

-  FLOATGLAS e=0.03
-  SILIKAGEL / TROCKENMITTEL
-  2-KOMPONENTENSILIKON
-  OTTO-SEAL S7
-  BIRKENFURNIER-SPERRHOLZ
-  TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK
-  THERMALBOND
-  OTTO COLL S660

**HGV gerade BKF-Leiste M = 1:1  
ohne Schraube  
mit Edelstahl-Abstandhalter**



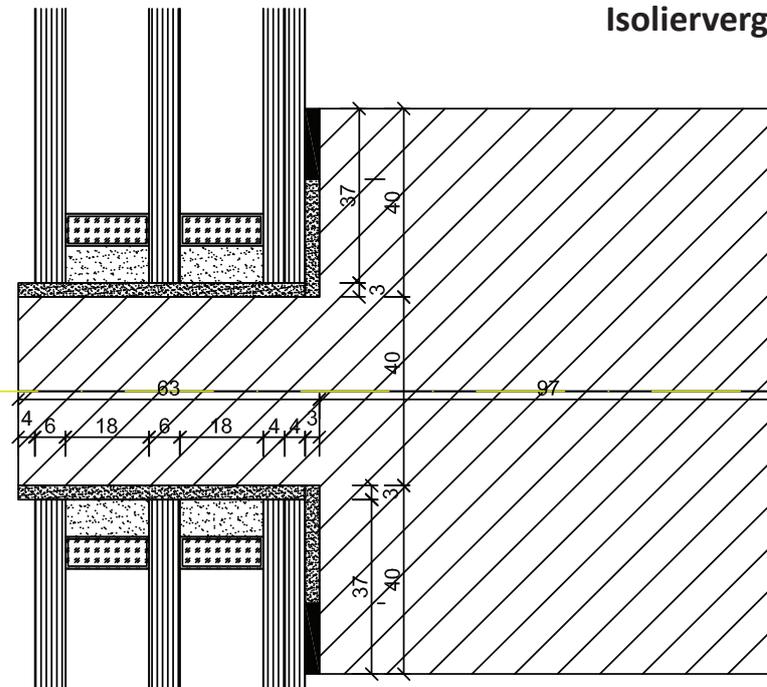


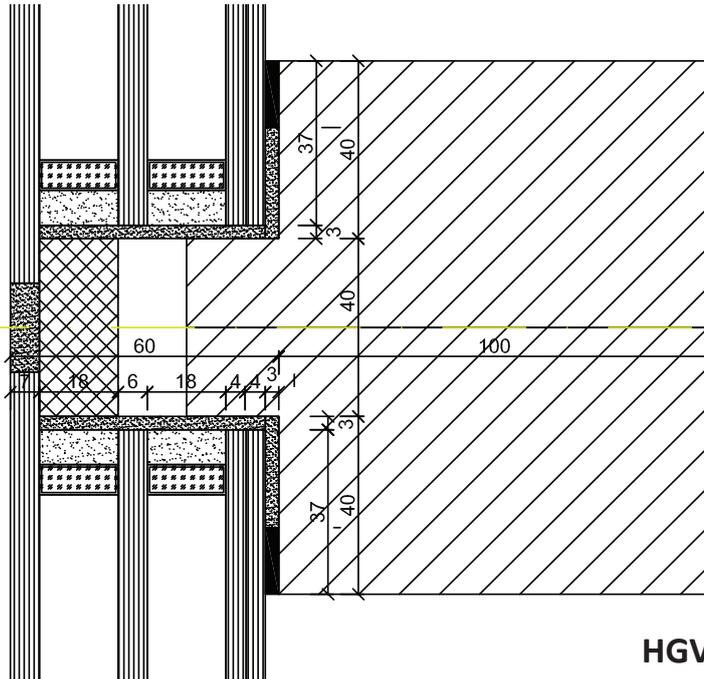


**HGV Schichtholz M = 1:1**  
**eingesetzte 3-fach**  
**Isolierverglasung**

- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| FLOATGLAS e=0.03          | BIRKENFURNIER-SPERRHOLZ    |
| SILIKAGEL / TROCKENMITTEL | TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK |
| 2-KOMPONENTENSILIKON      | THERMALBOND                |
| OTTO-SEAL S7              | OTTO COLL S660             |

**HGV Schichtholz M = 1:1**  
**tief eingesetzte 3-fach**  
**Isolierverglasung**





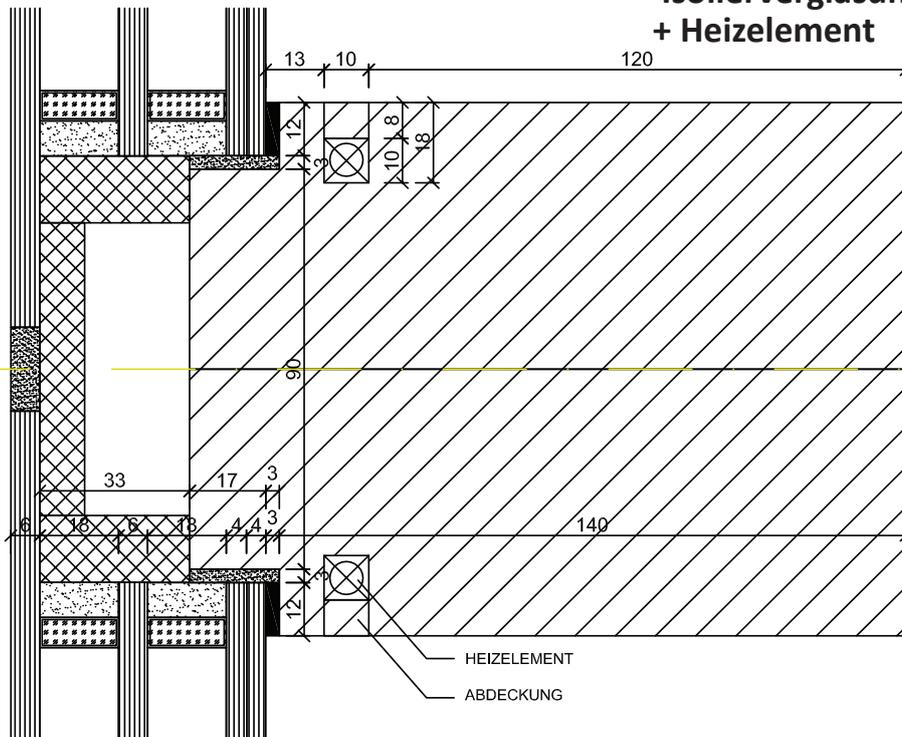
HGV Schichtholz M = 1:1

tief aufgesetzte 3-fach  
Isolierverglasung

- |  |                           |  |                             |
|--|---------------------------|--|-----------------------------|
|  | FLOATGLAS $\sigma=0.03$   |  | BIRKENFURNIER-<br>SPERRHOLZ |
|  | SILIKAGEL / TROCKENMITTEL |  | TRAGHOLZ / BSH NACH STATIK  |
|  | 2-KOMPONENTENSILIKON      |  | THERMALBOND                 |
|  | OTTO-SEAL S7              |  | OTTO COLL S660              |

HGV Schichtholz M = 1:1

aufgesetzte 3-fach  
Isolierverglasung  
+ Heizelement



- HEIZELEMENT
- ABDECKUNG

## Anhänge - Messdaten

PUNKT	BEZEICHNUNG	mm						10,00	12,00
		0	2	4	6	8,00	10,00		
1	Silikon - Außen	-7,23	-7,23	-7,30	-7,33	-7,36	-7,39	-7,41	°C
2	Silikon - Dämmung	-6,26	-6,24	-6,34	-6,39	-6,43	-6,47	-6,50	°C
3	Dämmung - Hohlraum	1,61	1,60	1,38	1,26	1,15	1,06	0,97	°C
4	Hohlraum - Birkenfurnier	4,92	4,91	4,63	4,49	4,37	4,26	4,16	°C
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	6,54	6,53	6,25	6,12	5,99	5,87	5,75	°C
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	6,53	6,53	6,20	6,06	5,94	5,83	5,72	°C
AU	Aussenraum	-5,27	-5,27	-5,35	-5,41	-5,45	-5,49	-5,54	°C
7	Glas - Abstandhalter	-3,53	-3,53	-3,65	-3,72	-3,77	-3,83	-3,88	°C
8	Abstandhalter - Glas	-0,58	-0,58	-0,73	-0,82	-0,91	-0,98	-1,06	°C
9	Glas - Abstandhalter	1,91	1,90	1,71	1,60	1,50	1,40	1,30	°C
10	Abstandhalter - Glas	4,74	4,74	4,52	4,38	4,25	4,13	3,99	°C
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	7,77	7,77	8,29	8,77	9,12	9,46	9,78	°C
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	7,65	7,65	8,16	8,50	8,80	9,12	9,55	°C

### AUSFÜHRUNG MIT RIEGELKONSTRUKTION

fRsi	=	0,58	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,65
t, min_e	=	-9,43	-9,44	-9,44	-9,45	-9,46	-9,46	-9,44
t, max_e	=	-4,62	-4,62	-4,78	-4,88	-4,97	-5,03	-5,10
t, min_i	=	7,48	7,48	7,94	8,28	8,64	9,01	9,38
t, max_i	=	19,95	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	44,28	44,27	45,68	46,76	47,93	49,14	50,38

PUNKT	BEZEICHNUNG	14	16	18	20	22	24	chroma
1	Silikon - Außen	-7,44	-7,46	-7,47	-7,50	-7,53	-7,51	-7,65
2	Silikon - Dämmung	-6,53	-6,56	-6,58	-6,62	-6,66	-6,63	-6,76
3	Dämmung - Hohlraum	0,89	0,81	0,75	0,64	0,51	0,61	3,40
4	Hohlraum - Birkenfurnier	4,06	3,98	3,90	3,77	3,62	3,74	7,97
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	5,65	5,56	5,48	5,34	5,22	5,36	10,06
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	5,63	5,54	5,46	5,33	5,14	5,28	9,94
AU	Aussenraum	-5,57	-5,60	-5,63	-5,68	-5,72	-5,68	-7,62
7	Glas - Abstandhalter	-3,93	-3,98	-4,02	-4,08	-4,13	-4,08	-7,21
8	Abstandhalter - Glas	-1,12	-1,19	-1,24	-1,34	-1,41	-1,34	1,79
9	Glas - Abstandhalter	1,21	1,14	1,06	0,94	0,86	0,95	2,37
10	Abstandhalter - Glas	3,89	3,79	3,70	3,55	3,43	3,54	10,90
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	10,11	10,46	10,74	11,31	11,57	12,11	12,29
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	9,96	10,20	10,55	11,11	11,01	11,66	12,03

**AUSFÜHRUNG MIT RIEGELKONSTRUKTION**

fRsi	=	0,66	0,67	0,68	0,70	0,70	0,71	0,73
t, min_e	=	-9,45	-9,46	-9,46	-9,48	-9,49	-9,48	-9,47
t, max_e	=	-5,15	-5,19	-5,23	-5,29	-5,34	-5,30	-6,51
t, min_i	=	9,73	10,07	10,39	10,97	10,80	11,40	11,86
t, max_i	=	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96	19,97
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	51,58	52,76	53,90	56,05	55,40	57,64	60,00

PUNKT	BEZEICHNUNG	0mm	2mm	4mm	6mm	8mm	10mm	12mm
		°C						
1	Silikon - Außen	-7,17	-7,17	-7,25	-7,29	-7,32	-7,35	-7,38
2	Silikon - Dämmung	-6,18	-6,18	-6,27	-6,33	-6,37	-6,41	-6,45
3	Dämmung - Hohlraum	1,90	1,91	1,63	1,49	1,37	1,26	1,15
4	Hohlraum - Birkenfurnier	5,40	5,40	5,04	4,88	4,74	4,61	4,49
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	7,13	7,13	6,76	6,60	6,45	6,31	6,17
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	7,13	7,13	6,71	6,56	6,40	6,27	6,14
AU	Aussenraum	-5,16	-5,18	-5,27	-5,33	-5,38	-5,42	-5,48
7	Glas - Abstandhalter	-3,39	-3,39	-3,54	-3,61	-3,67	-3,74	-3,80
8	Abstandhalter - Glas	-0,38	-0,38	-0,56	-0,67	-0,77	-0,85	-0,95
9	Glas - Abstandhalter	2,16	2,16	1,92	1,79	1,68	1,56	1,45
10	Abstandhalter - Glas	5,04	5,04	4,76	4,60	4,45	4,31	4,16
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	8,10	8,10	8,64	8,92	9,26	9,60	9,88
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	8,18	8,18	8,42	8,66	9,08	9,34	9,67
13	Riegel-Ersatz (Mitte)	14,70	14,71	14,45	14,37	14,28	14,21	14,13

**AUSFÜHRUNG OHNE RIEGELKONSTRUKTION**

fRsi	=	0,59	0,59	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65
t, min_e	=	-9,42	-9,42	-9,44	-9,45	-9,45	-9,46	-9,43
t, max_e	=	-4,50	-4,50	-4,69	-4,80	-4,89	-4,96	-5,03
t, min_i	=	7,79	7,79	8,17	8,48	8,81	9,15	9,49
t, max_i	=	16,82	16,82	16,79	16,61	16,82	16,85	16,88
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	45,23	45,23	46,41	47,40	48,49	49,61	50,75

PUNKT	BEZEICHNUNG	14mm	16mm	18mm	20mm	22mm	24mm	chroma
1	Silikon - Außen	-7,40	-7,43	-7,45	-7,48	-7,52	-7,50	-7,62
2	Silikon - Dämmung	-6,49	-6,52	-6,55	-6,60	-6,64	-6,61	-6,70
3	Dämmung - Hohlraum	1,06	0,97	0,88	0,74	0,60	0,70	3,64
4	Hohlraum - Birkenfurnier	4,37	4,27	4,17	4,00	3,83	3,69	8,36
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	6,05	5,94	5,83	5,65	5,52	5,66	10,53
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	6,02	5,91	5,81	5,63	5,43	5,59	10,42
AU	Aussenraum	-5,51	-5,55	-5,59	-5,65	-5,70	-5,66	-7,58
7	Glas - Abstandhalter	-3,86	-3,91	-3,69	-4,04	-4,10	-4,05	-7,16
8	Abstandhalter - Glas	-1,02	-1,09	-1,17	-1,28	-1,37	-1,30	1,97
9	Glas - Abstandhalter	1,34	1,25	1,16	1,01	0,90	0,99	2,55
10	Abstandhalter - Glas	4,04	3,92	3,80	3,61	3,47	3,58	11,18
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	10,19	10,46	10,78	11,24	11,50	12,00	12,54
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	10,00	10,28	10,55	11,08	10,92	11,95	12,56
	Riegel-Ersatz (Mitte)	14,08	14,01	13,95	13,85	13,77	14,10	15,96

**AUSFÜHRUNG OHNE RIEGELKONSTRUKTION**

°C	fRsi	=	0,66	0,67	0,68	0,70	0,69	0,71	0,74
°C	t, min_e	=	-9,44	-9,45	-9,46	-9,48	-9,48	-9,48	-9,47
°C	t, max_e	=	-5,09	-5,14	-5,19	-5,26	-5,32	-5,28	-6,45
°C	t, min_i	=	9,81	10,12	10,41	10,93	10,73	11,30	12,14
°C	t, max_i	=	16,92	16,96	17,01	17,11	17,17	17,50	17,99
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
-10°C Aussenraum	rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
+20°C Aussenraum	rel. Feuchte i	=	51,35	52,93	53,97	56,13	55,13	59,25	61,24

PUNKT	BEZEICHNUNG	mm											
		0	2	4	6	8,00	10,00	12,00					
1	Silikon - Außen	-7,32	-7,35	-7,50	-7,59	-7,61	-7,64	-7,65	°C				
2	Silikon - Dämmung	-6,44	-6,48	-6,69	-6,80	-6,83	-6,87	-6,89	°C				
3	Dämmung - Hohlraum	-0,94	-1,03	-1,54	-1,58	-1,62	-1,71	-1,76	°C				
4	Hohlraum - Birkenfurnier	10,12	10,00	9,23	9,31	9,23	9,17	9,11	°C				
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	7,96	7,83	7,04	7,14	7,06	6,97	6,90	°C				
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	7,85	7,71	6,86	6,99	6,90	6,79	6,71	°C				
AU	Aussenraum	-4,92	-5,03	-5,34	-5,41	-5,47	-5,52	-5,56	°C				
7	Glas - Abstandhalter	-3,01	-3,11	-3,52	-3,58	-3,63	-3,74	-3,79	°C				
8	Abstandhalter - Glas	-0,78	-0,89	-1,40	-1,43	-1,49	-1,58	-1,63	°C				
9	Glas - Abstandhalter	2,03	1,92	1,26	1,28	1,21	1,06	1,00	°C				
10	Abstandhalter - Glas	4,34	4,22	3,44	3,49	3,40	3,27	3,20	°C				
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	7,43	8,83	8,98	9,24	9,60	9,94	10,42	°C				
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	8,01	8,99	9,07	9,34	9,68	10,05	10,54	°C				

**AUSFÜHRUNG MIT RIEGELKONSTRUKTION**

fRsi	=	0,63	0,63	0,63	0,64	0,65	0,66	0,68
t, min_e	=	-9,36	-9,38	-9,42	-9,44	-9,45	-9,46	-9,47
t, max_e	=	-4,60	-4,69	-5,01	-5,09	-5,13	-5,20	-5,23
t, min_j	=	8,95	8,49	8,76	9,24	9,60	9,94	10,26
t, max_j	=	20,00	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	48,94	47,42	48,29	49,91	51,13	52,30	53,44

PUNKT	BEZEICHNUNG	14	16	18	20	22	24	chroma
1	Silikon - Außen	-7,67	-7,68	-7,70	-7,71	-7,72	-7,73	-7,68
2	Silikon - Dämmung	-6,90	-6,92	-6,95	-6,96	-6,98	-6,99	-6,83
3	Dämmung - Hohlraum	-1,81	-1,85	-1,93	-1,97	-2,00	-2,03	-0,55
4	Hohlraum - Birkenfurnier	9,05	9,00	8,88	8,84	8,81	8,77	12,82
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	6,84	6,78	6,61	6,57	6,54	6,50	11,20
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	6,64	6,57	6,49	6,43	6,38	6,33	10,32
AU	Aussenraum	-5,59	-5,62	-5,67	-5,69	-5,70	-5,72	-7,56
7	Glas - Abstandhalter	-3,83	-3,86	-3,94	-3,97	-3,99	-4,00	-7,24
8	Abstandhalter - Glas	-1,68	-1,72	-1,84	-1,87	-1,90	-1,92	1,58
9	Glas - Abstandhalter	0,94	0,88	0,71	0,68	0,64	0,61	2,04
10	Abstandhalter - Glas	3,13	3,06	2,84	2,80	2,76	2,73	10,50
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	10,79	10,93	10,80	11,22	11,62	11,69	11,94
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	10,83	10,99	11,13	11,59	11,76	11,79	11,81

**AUSFÜHRUNG MIT RIEGELKONSTRUKTION**

fRsi	=	0,69	0,70	0,69	0,70	0,71	0,72	0,71
t, min_e	=	-9,48	-9,49	-9,49	-9,50	-9,50	-9,51	-9,48
t, max_e	=	-5,27	-5,29	-5,35	-5,37	-5,39	-5,40	-6,50
t, min_i	=	10,57	10,86	10,67	10,96	11,24	11,50	11,34
t, max_i	=	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,97
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	54,54	55,60	54,91	56,00	57,04	58,85	57,43

PUNKT	BEZEICHNUNG	0mm	2mm	4mm	6mm	8mm	10mm	12mm	°C
1	Silikon - Außen	-7,44	-7,47	-7,51	-7,54	-7,57	-7,59	-7,62	°C
2	Silikon - Dämmung	-6,60	-6,65	-6,69	-6,73	-6,77	-6,80	-6,83	°C
3	Dämmung - Hohlraum	-1,09	-1,19	-1,29	-1,39	-1,47	-1,56	-1,63	°C
4	Hohlraum - Birkenfurnier	10,11	10,01	9,90	9,78	9,64	9,53	9,45	°C
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	8,21	8,00	7,82	7,67	7,52	7,39	7,30	°C
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	8,04	7,84	7,67	7,51	7,36	7,22	7,11	°C
AU	Aussenraum	-4,87	-4,99	-5,13	-5,24	-5,33	-5,41	-5,47	°C
7	Glas - Abstandhalter	-3,06	-3,21	-3,29	-3,39	-3,49	-3,57	-3,63	°C
8	Abstandhalter - Glas	-0,86	-0,98	-1,12	-1,23	-1,33	-1,43	-1,50	°C
9	Glas - Abstandhalter	1,89	1,73	1,63	1,51	1,39	1,28	1,20	°C
10	Abstandhalter - Glas	4,16	4,03	3,87	3,74	3,61	3,48	3,39	°C
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	7,85	8,02	8,44	8,52	8,88	9,13	9,46	°C
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	7,95	7,90	8,42	8,60	8,83	9,11	9,50	°C
13	Riegel-Ersatz (Mitte)	16,45	16,36	16,24	16,12	16,00	15,95	15,91	°C

**AUSFÜHRUNG OHNE RIEGELKONSTRUKTION**

fRsi	=	0,59	0,59	0,60	0,62	0,63	0,64	0,65
t, min_e	=	-9,36	-9,37	-9,39	-9,41	-9,42	-9,43	-9,45
t, max_e	=	-4,62	-4,74	-4,84	-4,94	-5,01	-5,08	-5,13
t, min_i	=	7,59	7,76	8,10	8,46	8,80	9,15	9,50
t, max_i	=	17,70	17,59	17,53	17,49	17,46	17,41	17,41
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	44,61	45,15	46,20	47,33	48,45	49,58	50,69

PUNKT	BEZEICHNUNG	14mm	16mm	18mm	20mm	22mm	24mm	chroma
		°C						
1	Silikon - Außen	-7,64	-7,67	-7,69	-7,71	-7,74	-7,69	-7,72
2	Silikon - Dämmung	-6,87	-6,90	-6,93	-6,96	-6,99	-6,93	-6,88
3	Dämmung - Hohlraum	-1,73	-1,81	-1,88	-1,94	-2,04	-1,87	-0,56
4	Hohlraum - Birkenfurnier	9,00	8,91	8,85	8,74	8,62	8,56	12,23
5	Hohlraum - Thermalbond - langes Element	7,15	7,04	6,94	6,84	6,62	6,99	11,29
6	Hohlraum - Thermalbond - kurzes Element	6,95	6,84	6,73	6,63	6,50	6,86	10,56
AU	Aussenraum	-5,53	-5,59	-5,64	-5,68	-5,73	-5,65	-7,63
7	Glas - Abstandhalter	-3,71	-3,83	-3,89	-3,94	-4,03	-3,91	-7,32
8	Abstandhalter - Glas	-1,59	-1,69	-1,76	-1,82	-1,97	-1,79	1,32
9	Glas - Abstandhalter	1,08	0,92	0,83	0,75	0,55	0,78	1,77
10	Abstandhalter - Glas	3,25	3,10	3,00	2,90	2,63	2,91	10,89
11	Glas - Silikon (Innenraum) langes Element	9,74	10,15	10,37	10,68	10,95	11,35	12,23
12	Glas - Silikon (Innenraum) kurzes Element	9,73	10,12	10,34	10,62	10,93	11,45	11,89
	Riegel-Ersatz (Mitte)	15,85	15,78	15,63	15,54	15,50	15,47	17,49

**AUSFÜHRUNG OHNE RIEGELKONSTRUKTION**

fRsi	=	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,73
t, min_e	=	-9,46	-9,47	-9,48	-9,49	-9,50	-9,49	-9,49
t, max_e	=	-5,19	-5,26	-5,31	-5,35	-5,37	-5,33	-6,57
t, min_i	=	9,77	10,07	10,34	10,60	10,93	11,30	11,83
t, max_i	=	17,49	17,51	17,52	17,55	17,59	18,10	18,34
rel. Feuchte e	=	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
rel. Feuchte i	=	51,73	52,77	53,74	54,67	55,54	57,01	59,30

PUNKT	BEZEICHNUNG	1		2		3		4		5	
		mit Riegel	ohne Riegel ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon					
1	Konsolenpunkt - 1 außen	7,88	8,33	9,79	8,38	8,35					
2	Konsolenpunkt - 2 außen	7,49	7,98	9,85	8,04	7,89					
3	Konsolenpunkt - 3 außen	6,96	7,40	10,09	7,37	7,29					
4	Konsolenpunkt - 4 außen	8,77	9,18	10,39	8,61	8,55					
5	Konsolenpunkt - 5 außen	12,70	13,01	10,84	13,33	13,32					
6	Konsolenpunkt - 6 außen	7,48	7,97	9,84	8,03	7,97					
7	Konsolenpunkt - 7 außen	7,87	8,32	9,79	8,37	8,34					
8	Konsolenpunkt - 8 außen	9,30	9,70	10,58	9,41	9,34					
9	Konsolenpunkt - 9 außen	13,55	13,81	11,17	14,13	14,11					
10	Konsolenpunkt - 1 innen	11,62	12,53	12,33	12,54	12,55					
11	Konsolenpunkt - 2 innen	11,19	12,17	12,05	12,16	12,18					
12	Konsolenpunkt - 3 innen	10,50	11,31	11,62	11,30	11,31					
13	Konsolenpunkt - 4 innen	11,53	12,01	12,12	12,18	12,20					
14	Konsolenpunkt - 5 innen	14,26	14,60	13,51	14,72	14,73					
15	Konsolenpunkt - 6 innen	11,18	12,16	12,05	12,15	12,17					
16	Konsolenpunkt - 7 innen	11,62	12,52	12,33	12,53	12,55					
17	Konsolenpunkt - 8 innen	11,82	12,35	12,22	12,44	12,45					
18	Konsolenpunkt - 9 innen	15,06	15,35	13,96	15,46	15,47					
19	Innenkante - Riegel	12,90	13,26	13,34	13,29	13,29					
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,51	12,91	13,03	12,93	12,93					
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,00	12,41	12,50	12,44	12,44					
22	Innenkante Pfosten	9,76	10,50	12,50	10,45	10,50					
23	Riegel Feldmitte	14,60	16,03	16,03	16,03	16,03					
24	Riegel Konsolenbeginn	14,44	15,96	15,92	15,97	15,97					
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,70	15,46	15,53	15,45	15,46					



Gefahr

Tauwasser

Temp kleiner als :  
**9,3 °C**



Innen

Tauwasser

Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Mit Hilfe der  
Stahlkonsole bildet  
sich an dem  
Birkenfurnier kein  
Kondensat.

**Kommentar** Bei Entfall des Riegels ist nicht nur eine Verbesserung der Luftströmung anzunehmen, sondern es wurde eine Verbesserung der Temperaturen simuliert. Dies lässt sich in den thermischen Auswertungen dadurch erklären, dass die warme Luft näher an die Rahmenkonstruktion herankommt und bessere Einflüsse erzielt, selbst wenn sich dies nur in einem Bereich von 0,5 - 2 °C beschränkt.

Anhang - Messdaten - Konsole mit Warm Edge Hybrid, einfache-Koppelleiste

PUNKT	BEZEICHNUNG	1		2		3		4		5	
		mit Riegel	ohne Riegel ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon	mit Riegel	ohne Riegel ohne Konsole	Konsole Stahl	Konsole PVC-hart	Konsole Carbon
1	Konsolenpunkt - 1 außen	7,95	8,27	9,82	8,35						x
2	Konsolenpunkt - 2 außen	7,56	7,92	9,88	8,04						x
3	Konsolenpunkt - 3 außen	7,00	7,35	10,13	7,43						x
4	Konsolenpunkt - 4 außen	8,94	9,18	10,42	8,67						x
5	Konsolenpunkt - 5 außen	12,92	13,00	10,88	13,34						x
6	Konsolenpunkt - 6 außen	7,54	7,91	9,88	8,03						x
7	Konsolenpunkt - 7 außen	7,94	8,26	9,81	8,34						x
8	Konsolenpunkt - 8 außen	9,52	9,74	10,62	9,46						x
9	Konsolenpunkt - 9 außen	13,76	13,81	11,21	14,14						x
10	Konsolenpunkt - 1 innen	11,88	12,56	12,38	12,57						x
11	Konsolenpunkt - 2 innen	11,43	12,21	12,09	12,20						x
12	Konsolenpunkt - 3 innen	10,71	11,26	11,67	11,26						x
13	Konsolenpunkt - 4 innen	11,73	12,11	12,15	12,21						x
14	Konsolenpunkt - 5 innen	14,47	14,60	13,53	14,73						x
15	Konsolenpunkt - 6 innen	11,42	12,20	12,09	12,19						x
16	Konsolenpunkt - 7 innen	11,87	12,56	12,38	12,57						x
17	Konsolenpunkt - 8 innen	12,01	12,36	12,25	12,47						x
18	Konsolenpunkt - 9 innen	15,27	15,35	13,98	15,47						x
19	Innenkante - Riegel	13,20	13,26	13,34	13,29						x
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,80	12,91	13,05	12,95						x
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,26	12,41	12,52	12,46						x
22	Innenkante Pfosten	10,73	11,05	11,15	10,52						x
23	Riegel Feldmitte	14,76	16,04	16,05	16,05						x
24	Riegel Konsolenbeginn	14,60	15,97	15,94	15,94						x
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,85	15,47	15,56	15,48						x



Gefahr  
Tauwasser

Temp kleiner als :  
**9,3 °C**



Innen  
Tauwasser

Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Mit Hilfe der  
Stahlkonsole bildet  
sich an dem  
Birkenfurnier kein  
Kondensat.

**Kommentar**  
Bei Entfall des Riegels ist nicht nur eine Verbesserung der Luftströmung anzunehmen, sondern es wurde eine Verbesserung der Temperaturen simuliert. Dies lässt sich in den thermischen Auswertungen dadurch erklären, dass die warme Luft näher an die Rahmenkonstruktion herankommt und bessere Einflüsse erzielt, selbst wenn sich dies nur in einem Bereich von 0,5 - 2 °C beschränkt.

Petsch.-Chroma.

PUNKT	BEZEICHNUNG	Temperaturwerte				
		1 mit Riegel	2 ohne Riegel ohne Konsole	3 Konsole Stahl	4 Konsole PVC-hart	5 Konsole Carbon
1	Konsolenpunkt - 1 außen	4,18	4,76	5,72	4,80	x
2	Konsolenpunkt - 2 außen	3,64	4,25	5,68	4,36	x
3	Konsolenpunkt - 3 außen	3,09	3,62	5,64	3,78	x
4	Konsolenpunkt - 4 außen	2,50	2,91	5,53	2,73	x
5	Konsolenpunkt - 5 außen	8,89	9,25	6,21	9,69	x
6	Konsolenpunkt - 6 außen	3,61	4,22	5,67	4,33	x
7	Konsolenpunkt - 7 außen	4,16	4,75	5,71	4,79	x
8	Konsolenpunkt - 8 außen	2,82	3,22	5,84	3,38	x
9	Konsolenpunkt - 9 außen	10,45	10,76	6,77	11,19	x
10	Konsolenpunkt - 1 innen	8,26	9,55	9,17	9,55	x
11	Konsolenpunkt - 2 innen	7,64	9,01	8,68	9,03	x
12	Konsolenpunkt - 3 innen	6,79	7,70	7,84	7,82	x
13	Konsolenpunkt - 4 innen	7,36	8,04	8,20	8,25	x
14	Konsolenpunkt - 5 innen	11,03	11,43	10,10	11,67	x
15	Konsolenpunkt - 6 innen	7,61	8,98	8,66	9,00	x
16	Konsolenpunkt - 7 innen	8,25	9,54	9,16	9,53	x
17	Konsolenpunkt - 8 innen	7,66	8,27	8,27	8,52	x
18	Konsolenpunkt - 9 innen	12,42	12,75	10,89	12,97	x
19	Innenkante - Riegel	12,19	12,32	12,02	12,06	x
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	10,50	11,48	10,99	11,08	x
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	10,72	10,94	10,76	10,94	x
22	Innenkante Pfosten	12,76	13,19	12,55	13,31	x
23	Riegel Feldmitte	12,37	14,69	14,69	14,69	x
24	Riegel Konsolenbeginn	12,14	14,57	14,47	14,58	x
25	Anschluß Pfosten Riegel	11,04	13,60	13,61	13,63	x

 Gefahr  
Tauwasser  
Temp kleiner als :  
**9,3 °C**

 Innen  
Tauwasser  
Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Weiters wird eine Lösung gesucht, da sich im Zwischenraum der Konstruktion Tauwasser bilden kann und wird.

 Bessere Werte im Innenraum erreichbar..!

**Kommentar** Die Ausführung mittels der konventionellen Glasabstandhalter ist mit der Überdeckung des Birkenfurnieres möglich. Jedoch zeichnet sich in den Eckpunkten eine Verlagerung der Kälte in den Hohlraum, da dieser nicht mehr durch den Warm-Edge-Hybrid geschützt wird. Hier kommt es durch den Temperaturabfall zu Kondensat am Birkenfurnier, bzw. an der Konsole.

ITI-Konv.Opt.

PUNKT	BEZEICHNUNG					
		1	2	3	4	5
		ITI Pfosten-Riegel	ITI - Chroma Stahl	ITI - Chroma Alu	ITI - Konv Stahl	ITI - Konv Alu
1	Konsolenpunkt - 1	7,88	9,79	10,23	5,72	5,78
2	Konsolenpunkt - 2	7,49	9,85	10,27	5,68	5,77
3	Konsolenpunkt - 3	6,96	10,09	10,39	5,64	5,77
4	Konsolenpunkt - 4	8,77	10,39	10,52	5,53	5,74
5	Konsolenpunkt - 5	12,70	10,84	10,68	6,21	5,96
6	Konsolenpunkt - 6	7,48	9,84	10,27	5,67	5,77
7	Konsolenpunkt - 7	7,87	9,79	10,23	5,71	5,78
8	Konsolenpunkt - 8	9,30	10,58	10,58	5,84	5,86
9	Konsolenpunkt - 9	13,55	11,17	10,79	6,77	6,17
10	Konsolenpunkt - 1	11,62	12,33	12,55	9,17	9,19
11	Konsolenpunkt - 2	11,19	12,05	12,31	8,68	8,72
12	Konsolenpunkt - 3	10,50	11,62	11,84	7,84	7,92
13	Konsolenpunkt - 4	11,53	12,12	12,25	8,20	8,26
14	Konsolenpunkt - 5	14,26	13,51	13,64	10,10	10,00
15	Konsolenpunkt - 6	11,18	12,05	12,31	8,66	8,71
16	Konsolenpunkt - 7	11,62	12,33	12,55	9,16	9,18
17	Konsolenpunkt - 8	11,82	12,22	12,24	8,27	8,21
18	Konsolenpunkt - 9	15,06	13,96	13,77	10,89	10,61
19	Innenkante - Riegel	12,90	13,34	13,47	12,02	8,27
20	Innenkante - Riegel / Pfostennähe	12,51	13,03	13,20	10,99	7,64
21	Innenkante Pfosten-Riegel / Eck	12,00	12,50	12,67	10,76	7,18
22	Innenkante Pfosten	9,76	12,50	17,36	12,55	8,25
23	Riegel Feldmitte	14,60	16,03	16,07	14,69	14,69
24	Riegel Konsolenbeginn	14,44	15,92	16,02	14,47	14,48
25	Anschluß Pfosten Riegel	13,70	15,53	15,65	13,61	13,63



Gefahr

Tauwasser

Temp kleiner als :  
**9,3 °C**



Innen

Tauwasser

Temp kleiner als :  
**10,7 °C**

Mit Hilfe der  
Stahlkonsole bildet  
sich an dem  
Birkenfurnier kein  
Kondensat.





## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende

### **Diplomarbeit / Master Thesis**

ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin und keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

---

(Ort und Datum)

---

(Unterschrift)