

Technische Universität Graz  
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

# Thermische Analyse einer Multifunktionalen Plug & Play Fassade

Masterarbeit  
von

**Holper Stefan**

Eingereicht am

**Institut für Hochbau**

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs  
der Studienrichtung Konstruktiver Ingenieurbau – Bauingenieurwissenschaften

Begutachter und Betreuer:

**Univ.-Prof. Dr.techn. Dr.iur. Peter Kautsch**

Graz, im Oktober 2013



## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Ich versichere, dass ich diese Masterarbeit bisher weder im In- noch im Ausland einer Beurteilerin oder einem Beurteiler in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe. Ich versichere, dass diese Masterarbeit bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht wurde.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift



## Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei allen Personen, die mich bei der Verfassung dieser Masterarbeit und während meiner gesamten Studienzeit unterstützt und motiviert haben.

Ein großes Dankeschön für die hervorragende Betreuung gilt Prof. DDr. Peter Kautsch, der sich immer Zeit für die Beantwortung jeglicher Frage genommen hat. Weiters möchte ich mich beim gesamten Institut für Hochbau bedanken, allen voran Dipl.-Ing. Vlad Silvestru und DI Dr.techn. Manfred Zellinger, die immer ein offenes Ohr hatten.

Für die ausgezeichnete Zusammenarbeit danke ich dem Unternehmen Hans Höllwart - Forschungszentrum für integrales Bauwesen AG. Im Speziellen möchte ich DI Dr.techn. Architekt Michael Grobbauer für die wissenschaftliche als auch persönliche Unterstützung danken.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, vor allem meinen Eltern Christine und Franz sowie meinem Bruder Philipp, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind. Besonderer Dank gilt meiner Freundin Marina für die Unterstützung und die unendliche Geduld, die sie aufgebracht hat.

Zuletzt möchte ich allen meinen Freunden danken, die mich durch diesen wichtigen Abschnitt meines Lebens begleitet und für unvergessliche Momente gesorgt haben.



## Kurzfassung

Das Forschungsprojekt MPPF, Multifunktionale Plug & Play Fassade, setzte sich die Entwicklung einer Fassade mit Integration aller wesentlichen Haustechnikbestandteile (Multifunktionalität) und einfacher Austauschbarkeit der Einzelkomponenten (Plug & Play Fähigkeit) zum Ziel. Aufgrund der zahlreichen Funktionen, die im Prototypen der Fassade vereint werden, ist die Konstruktion äußerst komplex. Im Grundprinzip handelt es sich jedoch um eine Metall-Vorhangfassade. Metallfassaden sind durch die hohen Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Metalle, die als Wärmebrücken und Kühlrippen wirken können, mit einfachen Mitteln thermisch schwierig zu beschreiben. Eine genaue Betrachtung bedarf zwei- und dreidimensionaler Wärmestromberechnungen mit geeigneter Software.

In dieser Arbeit wird mithilfe der Software AnTherm das thermische Verhalten des realisierten Prototypen II der multifunktionalen Fassade untersucht. Dabei werden sowohl in der Heizperiode auftretende Wärmeverluste in Form von Wärmedurchgangskoeffizienten ermittelt, als auch an den Innenoberflächen entstehende Temperaturen auf ein etwaiges Risiko zu Schimmelpilz- und Kondensatbildung untersucht. Neben den normativen Nachweisen werden dazu, am Teststand der FIBAG – *Hans Höllwart Forschungszentrum für integrals Bauwesen AG* – aufgezeichnete, Messdaten ausgewertet. Die im Zuge der Bearbeitung gewonnenen Erkenntnisse werden gesammelt und zu Optimierungsvorschlägen weiterentwickelt.



## **Abstract**

The aims of the research project MPPF, Multifunctional Plug & Play Façade, have been to develop a façade which integrates all essential building services (multifunctionality) and provides opportunities for simple exchangeability of single components or whole structural elements (plug & play ability). This combination of many different functionalities leads to highly complex building elements. Nevertheless the concept is a curtain wall with a bearing structure made of metal. Due to high thermal conductivity of metal structures, two- and three-dimensional calculation with adequate software is needed to get a proper picture of the thermal performance of such façades.

The objective of this Master Thesis is the thermal analysis of the realised prototype II of the Multifunctional Plug & Play Façade with the software AnTherm. For this purpose all necessary values for the thermal transmittance are calculated. Furthermore the internal surface of the façade is examined for low surface temperatures to avoid critical surface humidity and condensate formation. In addition to the normative calculations, measurement data for critical internal surface temperatures from the prototype which was installed at the building of the FIBAG – *Hans Höllwart Forschungszentrum für integrals Bauwesen AG* – is evaluated. Finally findings are summarised and recommendations for thermal optimisations are formulated.



---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Hintergrund und Motivation.....	1
1.2	Aufgabenstellung.....	2
1.3	Vorgehensweise .....	2
2	MPPF – Das Projekt .....	3
2.1	Multifunktionalität.....	3
2.2	Plug & Play Fähigkeit.....	3
2.3	Prototyp I & II.....	4
3	MPPF – Der Fassadenprototyp II.....	7
3.1	Mittlere Funktionsebene.....	8
3.1.1	Brüstungsträger .....	8
3.1.2	Raumbildendes Element – opakes Element .....	12
3.1.3	Raumbildendes Element – Türelement.....	13
3.1.4	Raumbildendes Element – Lüftungs-, Heizungs- und Kühlungsgerät.....	13
3.1.5	Raumbildendes Element – weitere Elementarten .....	14
3.2	Äußere Funktionsebene.....	14
3.2.1	Prallscheibe mit Sonnen- und Blendschutz.....	15
3.2.2	Photovoltaik .....	15
3.2.3	Solarthermie .....	16
3.2.4	Gestaltungsmöglichkeit.....	16
3.3	Innere Funktionsebene .....	16
3.3.1	Vorsatzschale Metall.....	17
3.3.2	Vorsatzschale Holz.....	17
4	Randbedingungen und Modellierung .....	19
4.1	Klimatische Randbedingungen .....	19
4.1.1	Temperaturbedingungen .....	19

---

---

4.1.2	Wärmeübergangswiderstände .....	19
4.2	Werkzeug .....	20
4.3	Modellierung .....	21
4.3.1	Anordnung der Schnittebenen .....	21
4.3.2	Bauteilvereinfachungen .....	21
4.4	Diskretisierung .....	24
4.5	Bauteil- und Materialeigenschaften .....	27
4.5.1	Aluminiumprofil .....	27
4.5.2	Verglasung .....	30
5	Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade .....	31
5.1	Methode.....	31
5.2	Ergebnisse eindimensionaler Berechnungen .....	36
5.3	Ergebnisse zweidimensionaler Berechnungen.....	37
5.3.1	Horizontalschnitte raumbildender Elemente.....	37
5.3.2	Vertikalschnitt Kämpfer .....	42
5.3.3	Vertikalschnitte Träger .....	43
5.3.4	Vernachlässigbarkeit der Stahlbetondecke .....	52
5.4	Ergebnisse dreidimensionaler Berechnungen.....	53
5.4.1	$\psi$ -Wert Ermittlungen – thermische Trennung im Brüstungsträger .....	53
5.4.2	$\psi$ -Wert Ermittlungen – vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern.....	60
5.4.3	$\chi$ -Wert Ermittlungen – Konsolen .....	65
5.4.4	$\chi$ -Wert Ermittlungen – Rohrdurchführungen.....	68
5.5	Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Fassade .....	71
6	Untersuchung der Oberflächentemperaturen und Oberflächenluftfeuchtigkeit .....	77
6.1	Methode.....	77
6.2	Horizontalschnitte raumbildender Elemente.....	79
6.2.1	Horizontalschnitt opakes Element zu Tür.....	79
6.2.2	Horizontalschnitt opakes Element zu Oberlichte .....	83

---

---

6.2.3	Horizontalschnitte gleicher raumbildender Elemente .....	86
6.3	Vertikalschnitt Kämpfer .....	90
6.4	Vertikalschnitte Brüstungsträger .....	91
6.4.1	Brüstungsträger mit Türelement.....	92
6.4.2	Brüstungsträger mit opakem Element.....	98
6.5	Messdatenauswertung.....	103
6.5.1	Türelement .....	106
6.5.2	Opakes Element und Brüstungsträger .....	109
6.6	Oberflächentemperaturen und Oberflächenluftfeuchtigkeit – Zusammenfassung	113
7	Erkenntnisse und Optimierungspotential.....	115
8	Zusammenfassung .....	119
Anhang I	Ergebnisse eindimensionaler Berechnungen .....	
Anhang II	Ergebnisse zweidimensionaler Berechnungen.....	
Anhang III	Ergebnisse dreidimensionaler Berechnungen.....	
Anhang IV	Umrechnung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des unterteilten Brüstungsträgers .....	
Anhang V	Ergebnisse zu den Berechnungen der Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten..	
Anhang VI	Detailpläne .....	
Anhang VII	Auszug aus den Ausgabeberichten von AnTherm für den Horizontalschnitt der vertikalen Fuge zwischen opakem Element und Tür mit Vorsatzschale aus Metall .....	
Anhang VIII	Messdatenauswertung .....	

---

---

---

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Motivation

Das Bauwesen ist, wie kein anderer Industriezweig, von Herstellungsprozessen direkt am Errichtungsort geprägt, wobei Professionisten verschiedener Gewerke parallel oder in zeitlicher Abfolge am selben Bauwerk tätig sind. Dadurch entstehen unter anderem ein hoher Koordinationsaufwand, längere Bauzeiten und Qualitätsverluste. Durch einen hohen Grad an werksmäßiger Vorfertigung von Bauteilen oder ganzen Bauelementen kann einer Vielzahl an Problemen entgegengewirkt werden.

Um einen Vorfertigungsgrad gemäß dem Stand der Technik zu erreichen, darf die Fassade nicht, wie bisher üblich, nur als Gebäudehülle angesehen werden. Neben Neubauten ist hier vor allem im Bereich der Gebäudesanierung die Integration von Haustechnik und energieerzeugenden Systemen in die Gebäudehülle selbst ein Schritt in Richtung eines neuen Verständnisses für Anforderungen an moderne Fassaden.

Die Integration von allen, für den Gebäudebetrieb notwendigen Funktionen in der Fassade ist ein integraler Bestandteil des Konzeptes der Multifunktionalen Plug & Play Fassade (MPPF). So bietet die Multifunktionale Fassade die Möglichkeit sowohl energieerzeugende Komponenten, wie Photovoltaik und Solarthermie, als auch alle nötigen Installationen für zentrale und dezentrale Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungstechnik beliebig anzuordnen. Die Plug & Play-fähige Ausführung bietet die Möglichkeit einer beliebigen Anordnung und eines Austausches der Komponenten, je nach den Wünschen und Erfordernissen des Nutzers.

Das Forschungsprojekt Multifunktionale Plug & Play Fassade stellt mit den zahlreichen Projektpartnern eine Verbindung der Einzelkomponenten her und zeigt, innerhalb der eher geringen Forschungsbereitschaft des Bauwesens, die Möglichkeiten, Vorteile und Chancen einer gewerkeübergreifenden Vorfertigung.

Diese Arbeit soll einen Beitrag zur Leistungssteigerung des Wärmeschutzes dieses neuentwickelten Fassadensystems darstellen und somit eine höhere Energieeffizienz des zukünftigen Gebäudebestandes ermöglichen.

---

## 1.2 Aufgabenstellung

Thema dieser Arbeit ist das thermische Verhalten des, im Rahmen des Forschungsprojektes MPPF erzeugten, Prototypen II. Die vielfältigen Funktionen, die in der Multifunktionalen Plug & Play Fassade zusammengefasst werden, führen zu einer umfangreichen Bauteilstruktur. Das Grundsystem bildet eine Vorhangfassade, dessen feingliedrige Struktur und große Anzahl metallischer Bauteile mit hohen Wärmeleitfähigkeiten, eine genaue Betrachtung nur mit geeigneter Software möglich macht. In dieser Arbeit soll mithilfe der Software AnTherm, in Form von zwei- und dreidimensionalen Berechnungen, das thermische Verhalten der multifunktionalen Fassade untersucht und insbesondere folgende Punkte bearbeitet werden:

- Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten für den Prototypen II
- Untersuchung auf kritische, raumseitige Oberflächentemperaturen
- Erarbeitung von Vorschlägen zur thermischen Verbesserung für zukünftige Projekte

## 1.3 Vorgehensweise

- Als erster Schritt wird die Fassadengeometrie erfasst und in modellierbare Bereiche unterteilt, wobei auf eine Multiplizierbarkeit der Ergebnisse geachtet wird.
- Im zweiten Schritt werden die thermischen Verluste durch Ermittlung von flächen-, linien- und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile sowie des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade normkonform berechnet.
- Im dritten Schritt werden die inneren Raumbooberflächen auf kritische Oberflächentemperaturen untersucht, um etwaige Schimmelpilz- und Kondensatbildungsrisiken aufzuzeigen. Dazu werden neben den Nachweisen der zurzeit gültigen Normen auch am Prototypen erfasste Messdaten ausgewertet.
- Im vierten Schritt werden aus den gewonnenen Erkenntnissen der vorangegangenen Schritte Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungspotentiale aufgezeigt und beschrieben.

## 2 MPPF – Das Projekt

Informationen in den Kapiteln 2 und 3 sind dem, noch nicht veröffentlichten, finalen Endbericht des K-Projektes MPPF [1] und der Erfindungsmeldung, Multifunktionsfassade in Modulbauweise mit „Plug and Play – Fähigkeit“, [2] entnommen.

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes MPPF – Multifunctional Plug & Play Facade – welches im COMET-Programm (Competence Centres for Excellent Technologies) der FFG (österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) als K-Projekt (FFG-Projekt Number: 815075) stattfand. Beginn des fünf Jahre andauernden Projektes war April 2008. Die Projektgemeinschaft setzte sich aus 14 wirtschaftlichen- und 4 universitären Partnern zusammen.

Die im Vordergrund stehenden Ziele des Projektes waren unter anderem die Steigerung von **Multifunktionalität** in Fassadenbauteilen und Entwicklung einer **Plug & Play** fähigen Vorhangfassade. Um dies zu erreichen war auch eine Weiterentwicklung der, in die Fassade zu integrierenden, Einzelkomponenten nötig.

Während der Projektlaufzeit wurden zwei Prototypen entwickelt und am Standort der FIBAG (Forschungszentrum für integrales Bauwesen AG) in das bestehende Gebäude integriert und vermessen. Diese Arbeit untersucht die thermischen Eigenschaften des Prototypen II.

### 2.1 Multifunktionalität

Multifunktionalität bedeutet eine Vereinigung von statischen und bauphysikalischen Anforderungen mit Integration von Haustechnik und energiegewinnenden Elementen in ein Bauteilkonzept, um eine Gesamtlösung für den Fassadeneinsatz zu erzeugen. So wurden energieerzeugende Elemente, wie Photovoltaik und Solarthermie, raumkonditionierende und raumversorgende Element, wie Heizung, Kühlung, Belichtung und Elektrifizierung sowie deren Versorgungsleitungen in die multifunktionale Fassade integriert.

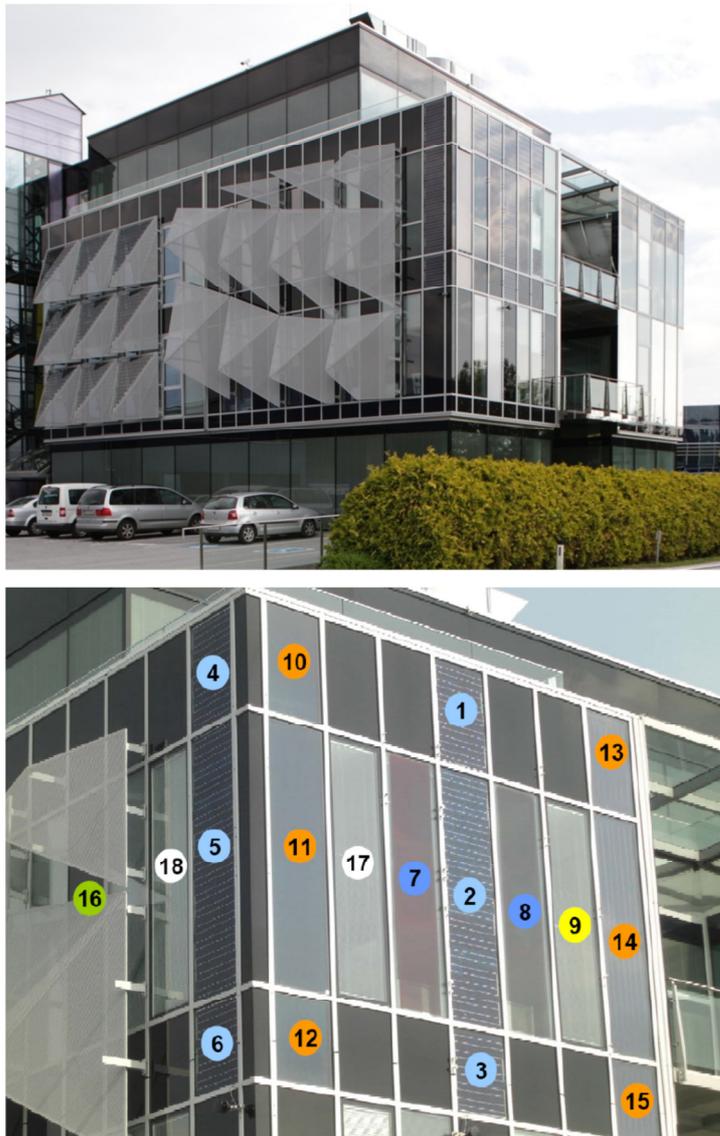
### 2.2 Plug & Play Fähigkeit

Einerseits ist unter Plug & Play Fähigkeit die einfache Montage und Verbindung der einzelnen vorgefertigten Elemente bei der Herstellung der Fassade zu verstehen. Andererseits ist auch Entfernung oder Austausch einzelner Komponenten ohne Beeinträchtigung des Gesamtsystems und Demontage anderer Elemente ein wichtiger Faktor.

---

## 2.3 Prototyp I & II

Bereits in einer frühen Phase des Projekts wurde der Prototyp I verwirklicht. Dabei wurden zukunftsweisende Technologien in Form von Paneelen in einen Teil der bereits bestehenden Pfosten-Riegelkonstruktion des Gebäudes der FIBAG eingebaut. Im Fassadenprototyp I wurden unter anderem verschiedene Photovoltaik- (1-9) und Solarthermie-Systeme (10-15), eine dezentrale Haustechnikanlage (16) zur Heizung und Kühlung sowie elektrochrome Verglasungen (17-18) umgesetzt und getestet (siehe Abb. 1).



**Abb. 1 Multifunktionale Plug & Play Fassade – Prototyp I: oben Gebäudeansicht, unten Ausschnitt des Bereichs mit Prototypen I [1]**

Im Gegensatz zum Prototyp I wurde im Prototyp II ein komplett neues Grundsystem entwickelt. Das Prinzip eines an der Stahlbetondecke befestigten Brüstungsträgers, an dem

die raumbildenden Elemente angebracht werden, wurde hierbei aufgegriffen. Die gesamten Versorgungsleitungen können im Brüstungsträger vorgefertigt an die Baustelle geliefert und so als Plug & Play-Module montiert werden. Eine Trennung der äußeren und inneren Funktionsebene von den Brüstungsträgern und raumbildenden Elementen erzeugt einen dreischichtigen Aufbau, welcher eine einfache Demontage einzelner Komponenten gewährleistet, ohne das Gesamtsystem zu beeinträchtigen und so die Plug & Play-Fähigkeit der Multifunktionsfassade weiter steigert.



**Abb. 2** Links im Bild die zweigeschossige Testfassade des Prototypen II [1]

Wie auch im Prototypen I wurden im Prototypen II verschiedene zukunftsweisende Technologien zur Energieerzeugung umgesetzt und mit entsprechender Messtechnik versehen, wobei diese Elemente in der äußeren Funktionsebene untergebracht sind. So wurden aus den, durch die neuartige, multifunktionale Fassade entstandenen, Anforderungen auch neue Produktentwicklungen angeregt.

Die Montage erfolgte an derselben Fassade am Standort der FIBAG, wobei der Prototyp I mit der Fassade des darunterliegenden Geschoßes demontiert und der Prototyp II zweigeschossig realisiert wurde. Der gelungene Fassadenwechsel ist somit auch die praktische Bestätigung der Eignung für Sanierungsfälle.

---

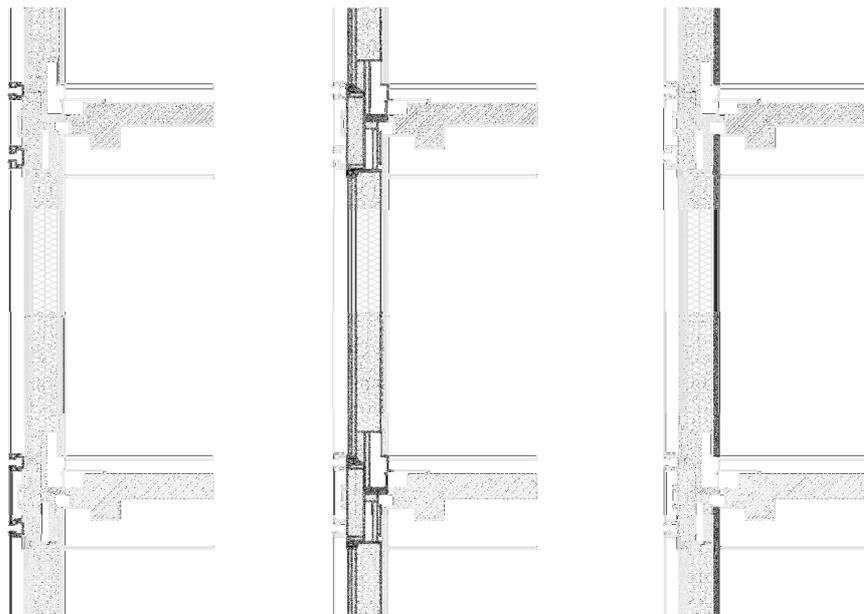
### 3 MPPF – Der Fassadenprototyp II

Die Grundlage für die hier angeführte Beschreibung und in weiterer Folge den Berechnungen, stellen die zur Verfügung gestellten Ausführungspläne des Unternehmens FIBAG dar. Die Pläne der daraus entwickelten Modellierung sind in Anhang VI zusammengefasst.

Die Fassade kann in drei Funktionsebenen unterteilt werden, welche unterschiedliche Aufgaben übernehmen (siehe Abb. 3):

- Die äußere Funktionsebene, welche Schutzfunktionen erfüllt und energieerzeugende Elemente aufnimmt.
- Die mittlere Funktionsebene, welche unter anderem die thermische Hülle bildet und die Lastabtragung bewerkstelligt.
- Die innere Funktionsebene, welche die innere Ansichtsfläche bildet und Platz für weitere Einbauten bietet.

Dieses dreiteilige Konzept resultiert auch aus dem vorrangigen Ziel des Projektes, eine einfache Austauschbarkeit, also eine Plug & Play-Fähigkeit, der einzelner Komponenten zu ermöglichen. So sind die einzelnen Elemente der äußeren und inneren Funktionsebene unabhängig voneinander demontierbar, sei es durch die Notwendigkeit eines Defektes, durch Leistungssteigerung der Anlage infolge neuer Technologien, oder durch Umnutzung der Fassadenfläche.



**Abb. 3** Vertikalschnitte durch äußere, mittlere und innere Funktionsebene der Fassade

---

## 3.1 Mittlere Funktionsebene

Das Kernstück der Fassade bildet die mittlere Funktionsebene, die zahlreiche Funktionen, wie

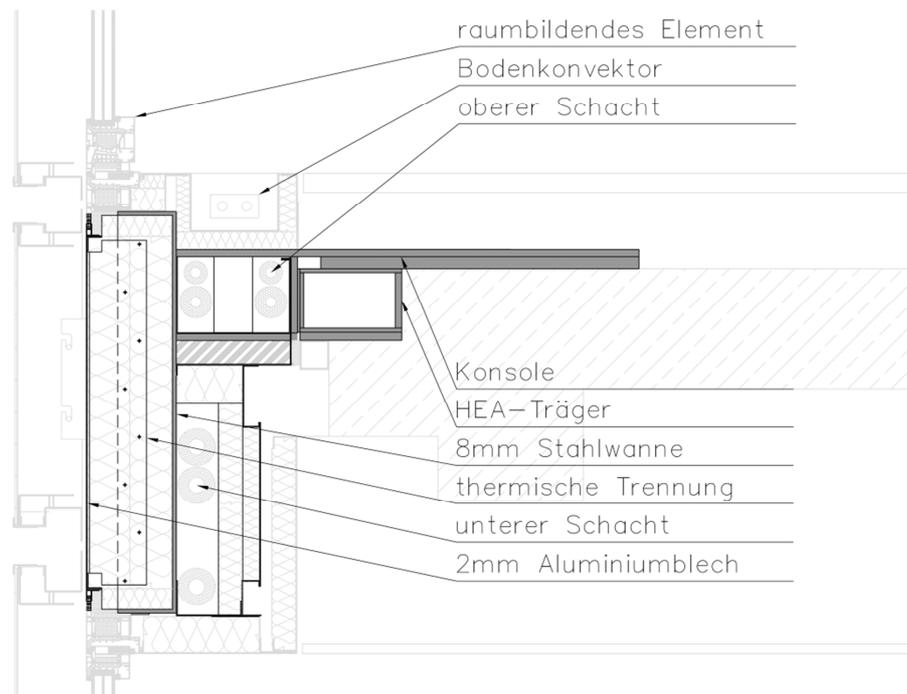
- statische Lastabtragung,
- Wärmeschutz,
- Feuchteschutz,
- Schlagregenschutz,
- Schallschutz und
- Brandschutz

übernimmt. Diese Ebene besteht aus zwei Hauptbauelementen, den Brüstungsträgern, die an der Geschoßdecke befestigt werden, und den raumbildenden Elementen, welche die Öffnung zwischen den Brüstungsträgern schließen. Die raumbildenden Elemente können in verschiedenen Arten ausgeführt werden, wobei im Rahmen der Testfassade des Prototypen II opake Elemente, Türelemente mit Oberlichte und ein opakes Element mit Lüftungsgesicht verwirklicht wurden.

Die Schlagregendichtheit zwischen den Elementen wird durch ein außenliegendes Dichtungssystem der Firma Schüco sichergestellt. Die durchgängige Luftdichtheit der inneren Ebene wird durch Verklebungen der Fugen zwischen den einzelnen Metallblechen mittels Folien erreicht.

### 3.1.1 Brüstungsträger

Der Brüstungsträger besteht aus einer 8 mm starken, stehenden Stahlwanne mit 2480 mm Breite und 838 mm Höhe (siehe Abb. 4 und Abb. 5). Belastungen werden über drei Konsolen an die Stahlbetondecke abgegeben. Die Konsolen sind direkt an die Stahlwanne geschweißt und bilden Träger mit oberen und unteren Flanschen. Der obere Flansch ist länger ausgebildet und ermöglicht so eine Befestigung an der Deckenoberseite. Horizontale Lasten aus Wind und ausmittiger Eigenlast werden direkt über die Konsole in die Stirnseite der Stahlbetondecke eingeleitet. Die Konsole ist justierbar konzipiert, um Bauwerkstoleranzen aufnehmen zu können. Die Stahlbetondecke der Testfassade am Gelände des Unternehmens FIBAG ist für unterschiedlichste Fassadenaufbauten konzipiert, daher sind Adaptionen zur herkömmlichen Konsolenmontage erforderlich. So ist ein zusätzliches kurzes Stück HEA-Profil mit zwei Kopfplatten eingebaut, um die zuvor beschriebenen Horizontallasten von der Konsole in die Stahlbetondecke einleiten zu können.

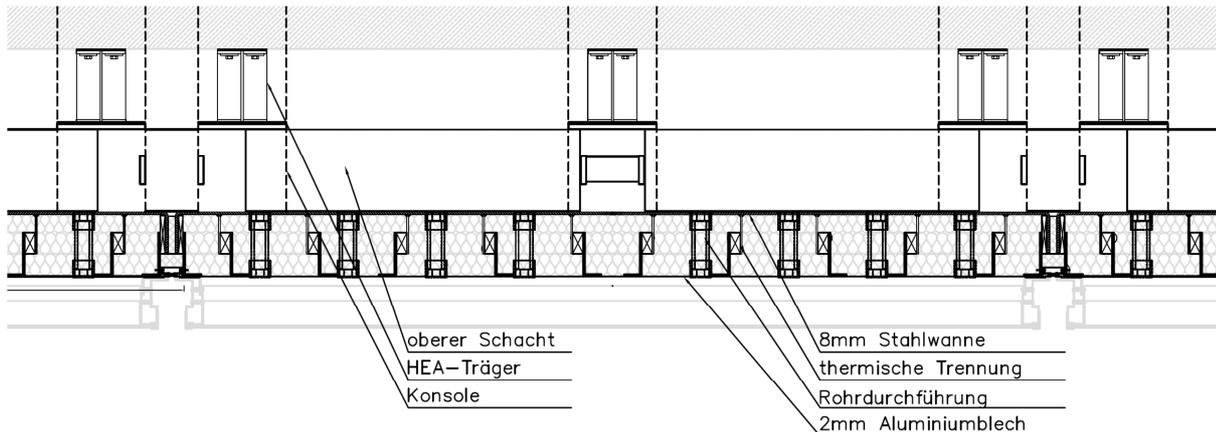


**Abb. 4 Vertikalschnitt durch Brüstungsträger und Konsole**

Die äußere Fläche des Brüstungsträgers bildet ein 2 mm starkes, pulverbeschichtetes Aluminiumblech, welches mittels thermischen Trennungen mit der Stahlwanne verbunden ist. Der dazwischenliegende Hohlraum wird von Steinwollgedämmung (176 mm) eingenommen. Die thermische Trennung besteht aus einem inneren und äußeren, jeweils voneinander versetzten, Metallblech. Das innere Stahlblech ist an die Wanne angeschweißt. Das äußere Blech wird durch einen Aluminiumwinkel gebildet, worauf das äußere Aluminiumblech befestigt wird. Durch den Winkel ist auch eine einfache, nachträgliche Montage äußerer Elemente an die thermische Trennung möglich, ohne das äußere Blech zu belasten. Die Trennung bzw. Kraftübertragung der thermischen Trennung erfolgt durch einen Polyamidquader, der mittels Schrauben aus nichtrostendem Stahl einen dreidimensional belastbaren Verbund zwischen den beiden Metallblechen herstellt.

Zur Lasteinleitung aus der äußeren Funktionsebene sind kleine Konsolen an der Außenseite des Brüstungsträgers angebracht, die direkt mit den Aluminiumwinkeln der thermischen Trennung verbunden sind. So wird eine direkte Lasteinleitung in die thermische Trennung gewährleistet und das äußere Aluminiumblech nicht belastet. Die thermischen Trennungen wurden mit einem Rasterabstand von 250 mm verwirklicht, was am Prototypen II eine nachträgliche Montage von unterschiedlich großen äußeren Funktionselementen ermöglicht. Die umlaufende Fuge zwischen innerer Stahlwanne und äußerem Aluminiumblech des Brüstungsträgers wird durch eine Folie dampfdicht verschlossen. Die Fugen zwischen

zwei Brüstungsträgern sowie die Fugen zu anschließenden raumbildenden Elementen werden mittels vorkomprimierten Dichtbändern verfüllt. Das Überkleben der Innenseite der Fuge mit dampfdichter Folie sorgt für eine luftdichte Hülle und verhindert das Eindringen von Wasserdampf in die Konstruktion. Der äußere luft- und schlagregendichte Anschluss wird durch ein Dichtungssystem des Herstellers Schüco bewerkstelligt.



**Abb. 5 Horizontalschnitt durch Brüstungsträger in Höhe des oberen Schachtes (Darstellung ohne Leitungseinbauten)**

An der Innenseite der Stahlwanne befinden sich die Ebenen für die horizontalen Leitungsführungen. In Höhe der inneren Konsolen verlaufen die Leitungen für die Heizung und Kühlung des anschließenden oberen Raumes. Darüber findet, bei einer Tür als raumbildendes Element, ein Bodenkonvektor Platz, über den eine Revision der Leitungen möglich ist. Bei Anschluss eines raumbildenden Elements als opakes Element ist darüber ein zusätzlicher Raum für Installationen oder Leitungen vorgesehen über den ebenfalls eine Revision des oberen Schachtes möglich ist.

Unter den Konsolen befindet sich der untere horizontal verlaufende Schacht für die Leitungsführungen der Solarthermie. Dieser reicht bis zum unteren Rand des Brüstungsträgers. Neben Vor- und Rücklauf der Solarthermie ist im selben Schacht Platz für eine Leitung zur Versorgung einer Sprinkleranlage vorgesehen. Dieser Schacht ist vom Innenraum bzw. von der inneren Funktionsebene durch gedämmte Metallbleche getrennt. Die Dämmung ist aufgrund der Abwärme der Solarthermieleitungen notwendig. An heißen Tagen mit hoher solarer Einstrahlung und hohen Außenlufttemperaturen ist der Innenraum bereits stark belastet. Durch die, genau an diesen Tagen, auftretenden hohen Leitungstemperaturen der Solarthermie, kann es zusätzlich zu hohen Innenraumoberflächentemperaturen am Brüstungsträger kommen. Durch Dämmung des Schachtes

können diese vermieden und eine bessere Behaglichkeit im Innenraum erzielt werden. Zugänge zum Schacht sind über den Innenraum im Sturzbereich eines jeden Geschoßes durch Revisionsöffnungen hinter der inneren Vorsatzschale leicht möglich. Für die Führung der Elektroleitungen sind an der raumzugewandten Seite des unteren Schachtes eigens Nischen angedacht. Der Zugang ist hier besonders einfach, durch Abnehmen der inneren Funktionsebene, gewährleistet und bedingt kein Öffnen der Schächte.

Um im Sommer bei übermäßiger Wärmeabgabe der Solarthermieleitungen im unteren Schacht eine unzumutbare Wärmeabgabe in den Raum zu verhindern, ist der untere Schacht, neben der beschriebenen Ausführung mit Dämmung, zusätzlich mit dem Außenraum verbunden um den Schacht mit Umgebungsluft spülen zu können. Die Zu- und Abluftschächte verlaufen vertikal über die gesamte Gebäudehöhe, wodurch ein Kamineffekt entsteht. Reicht die natürliche Durchströmung nicht aus, kann durch zusätzlich montierte Ventilatoren der Luftwechsel erhöht werden. Die vertikalen Schächte verlaufen in den inneren Metallpaneelen des opaken Elements bzw. neben der Testfassade und sind mit Klappen abschließbar, um ungewollte Luftströmungen in der Heizperiode zu verhindern.

Die beiden Schächte sind aufgrund der wasserführenden Leitungen mit Auffangwannen und entsprechender Entwässerung ausgestattet. Die Entwässerung führt über vertikale Schächte zwischen den raumbildenden Elementen bis ins unterste Geschoß. Somit kommt es zu keinen Schäden infolge Leckagen von wasserführenden Leitungen.

Zwischen dem oberen Schacht für Heizung und Kühlung und dem unteren Schacht für Solarthermie befindet sich eine Ebene aus mehreren Gipskartonplatten, die einen Brandüberschlag ins nächste Geschoß verhindern soll. Zusätzlich wird dadurch die Schallübertragung minimiert. Diese Ebene ist zwischen jedem raumbildenden Element durch die dort angeordneten vertikalen Schächte unterbrochen.

Zur Verbindung der energieerzeugenden Außenebene mit den Sammelleitungen an der Innenseite des Brüstungsträgers sind Rohrdurchführungen erforderlich. Insgesamt sind zwölf Stück am unteren Ende jedes Brüstungsträgers eingebaut und führen in den unteren Schacht. Dazu werden Bohrungen durch das 2 mm starke äußere Aluminiumblech und das 8 mm starke innere Stahlblech vorgenommen. In den jeweiligen Innenseiten werden kurze Rohrstücke aus Metall angeschweißt. Durch einen Kunststoffschlauch aus EPDM, der mit den Rohrstücken verklebt wird, wird eine Verbindung zwischen Schacht und Außenraum hergestellt. Durch die Verklebung ist ein dichter Abschluss zum Brüstungsträgerinnenraum mit der Steinwollefüllung gewährleistet. Der Kunststoffschlauch ist kürzer als die Trägertiefe ausgeführt, um an Innen- und Außenseite einem Rohrdurchführungssystem Platz zu bieten.

Mit der durchzuführenden Leitung bildet das Rohrdurchführungssystem sowohl innen als auch außen einen gas- und schlagregendichten Abschluss.

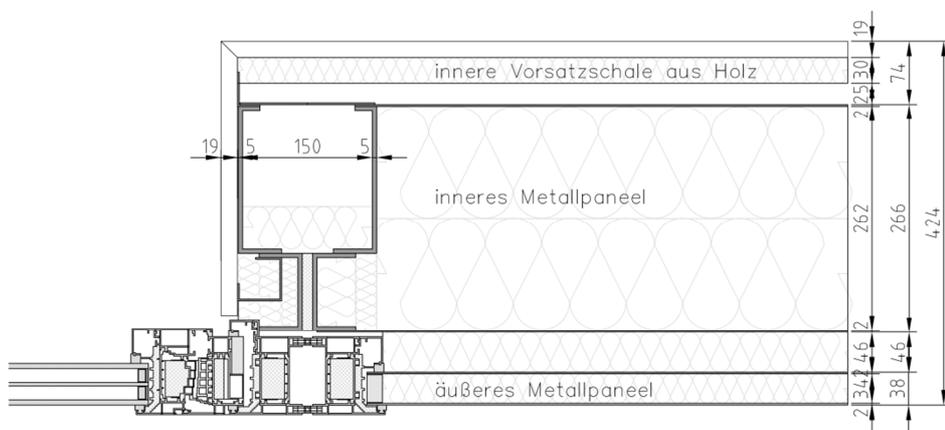
Die hier beschriebenen Komponenten eines Brüstungsträgers werden werksmäßig vorgefertigt und als ein Element montiert.

### 3.1.2 Raumbildendes Element – opakes Element

Die raumbildenden Elemente bestehen aus thermisch getrennten Aluminiumrahmenprofilen, Schüco AWS 90.SI, mit den Außenabmessungen von 1230 mm Breite und 3144 mm Höhe. Die Montage erfolgte im System des Prototypen II von außen, wobei diese oben und unten mit innenseitigen Stahlwinkeln an die Stahlwanne des Brüstungsträgers befestigt werden. Für spätere Projekte ist eine Montage vom Innenraum aus angedacht.

Bei Ausführung eines opaken Elements wird in dieses Rahmenprofil ein Metallpaneel mit 34 mm Steinwollekern geklemmt (äußeres Metallpaneel). Nach Montage am Gebäude wird innen ein dickeres Metallpaneel ebenfalls mit Steinwollekern (262 mm) angebracht (inneres Metallpaneel). Der entstehende Zwischenraum beinhaltet Dämmung zur Schall- und Wärmeverlustreduktion und wird mit Sprühkleber vor Montage des inneren Metallpaneels am äußeren Paneel befestigt.

Der seitliche Abschluss des inneren Metallpaneels mittels zwei U-Profilen bildet mit dem Nachbarelement einen vertikalen, 150 mm breiten Schacht, der die Entwässerungs- und Elektroleitungen aufnimmt (siehe Abb. 6). Der untere Abschluss des opaken Elements wird abgestuft ausgebildet, um weiteren Platz für Einbauten zu erhalten. Zusätzlich ist dadurch ein Zugang zum oberen Schacht des Brüstungsträgers mit den Heizungs- und Kühlungsleitungen gegeben.



**Abb. 6** Horizontaler Anschluss zwischen opakem Element und Tür mit innerer Vorsatzschale aus Holz

### 3.1.3 Raumbildendes Element – Türelement

Der Rahmen des Türelements besteht aus dem gleichen thermisch getrennten Aluminiumrahmensystem wie das opake Element, welches als Stockverbreiterung für das Türelement ausgeführt ist. Diese rundumlaufende Stockverbreiterung ist nötig um an der Schwelle die Höhe der fertigen Fußbodenoberkante zu erreichen und seitlich den vertikalen Schacht aufzunehmen (siehe Abb. 6). Im Prototyp II wurde ein Türprofil mit Oberlichte verwirklicht. Das eingesetzte Rahmenprofil erreicht laut Herstellerangaben einen Wärmedurchgangskoeffizienten für den Rahmen ( $U_f$ -Wert) von  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Aufgrund der verwendeten Stockverbreiterung werden in diesem Projekt aber höhere Werte erreicht. Die zur Anwendung gekommenen Verglasungen bestehen aus Dreischeiben-Isolierverglasungen mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten ( $U_g$ -Wert) von  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Auf die gleiche Art wie bei opaken Elementen das innere Metallpanel angebracht wird, werden auch bei Türelementen seitlich vorproduzierte Elemente aus zwei U-Profilen angebracht, um mit dem benachbarten Element den vertikalen Schacht zu bilden und eine ebene Leibungsfläche zu erzeugen.

### 3.1.4 Raumbildendes Element – Lüftungs-, Heizungs- und Kühlungsgerät

Um eine Konditionierung der anschließenden Räume zu ermöglichen, wurde der Einbau eines entsprechenden dezentralen Lüftungsgerätes zur Lüftung, Heizung und Kühlung realisiert. aufgrund des Herstellernamens wird das Gerät in Plänen kurz als LTG-Gerät bzw. LTG-Element bezeichnet. Für das Gerät wird in das innere Metallpaneel des opaken Elements eine Nische vorgesehen. Die nötigen Zu- und Abluftöffnungen sind in den Metallpaneelen integriert und führen über die Hinterlüftungsebene der äußeren Funktionsebene nach außen. Die Kanäle sind in der äußeren Funktionsebene so geformt, dass die Zu- und Abluftführung seitlich diagonal versetzt erfolgt. So ist das veränderte Element von außen nicht erkennbar und es wird verhindert, dass Abluft in den Zuluftschacht gelangt. Als zusätzliche Funktion kann über Klappen im Zuluftschacht geregelt werden, ob Luft direkt vom Außenbereich oder von der Hinterlüftungsebene der äußeren Funktionsebene angesaugt wird. So kann in der Heizperiode, durch die solare Einstrahlung und Abwärme über das Fassadenbauteil, vorgewärmte Luft zur Frischluftzuführung herangezogen werden. In der inneren Funktionsebene wird entsprechend den Zu- und Abluftöffnungen des Gerätes eine, mit Lochblech verkleidete, Öffnung ausgeführt.

---

### 3.1.5 Raumbildendes Element – weitere Elementarten

Das Grundgerüst der raumbildenden Elemente stellt immer das gleiche, thermisch getrennte Aluminiumrahmensystem dar. Füllungen sind daher beliebig variierbar. Weitere Ausführungsmöglichkeiten können Fixverglasung über die gesamte Elementhöhe, Elemente mit opakem Parapet und darüber liegendem Fenster oder andere haustechnische Einbauten sein.

## 3.2 Äußere Funktionsebene

Die äußere Funktionsebene beherbergt die energiegewinnenden Bestandteile der Fassade wie Solarthermie- und Photovoltaikmodule. Das Grundgerüst der äußeren Funktionsebene stellt ein umlaufender Metallrahmen aus einem U-Profil dar. Dieser wird an den, an der mittleren Funktionsebene befestigten, Konsolen eingehängt und mittels Schrauben mechanisch gesichert (siehe Abb. 7). Dadurch ist eine uneingeschränkte Kombination und Austauschbarkeit der Elemente möglich, was als wichtiger Bestandteil des Fassadenkonzeptes zu verstehen ist.

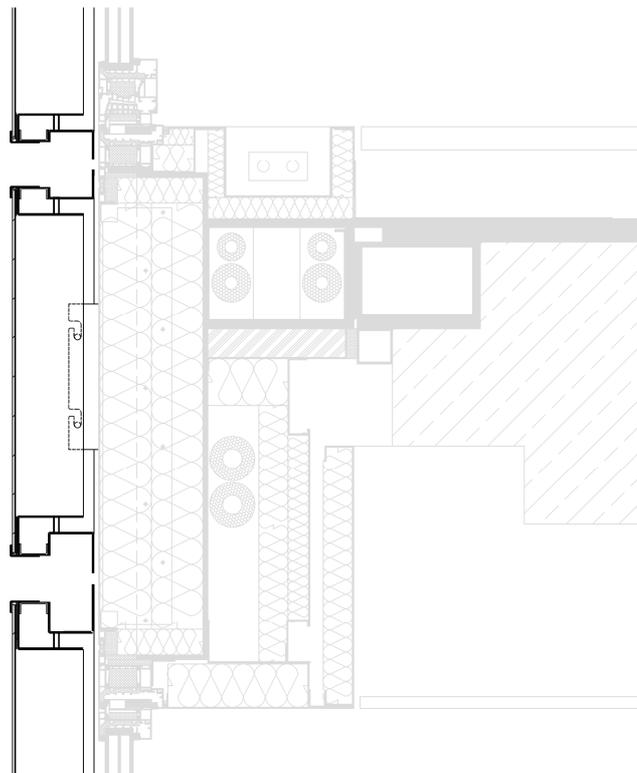


Abb. 7 Äußere Funktionsebene mit Prallscheiben

Mit einer Distanzhülse wird nach innen versetzt zum Metallrahmen ein zweiter Metallrahmen aus einem L-Profil angebracht. Auf diesem wird die äußere Glasplatte linienförmig gelagert. Die Glasscheibe selbst ist entweder als Schutz für dahinterliegende Bauelemente (Prallscheibe) wie Sonnenschutzeinrichtungen konzipiert oder Teil des Funktionselements wie bei Photovoltaik oder Solarthermie. Zwischen den beiden Metallrahmen befindet sich ein umlaufender Spalt, der die Hinterlüftung der Verglasung bzw. aller möglichen Einbauten gewährleistet und mit einem Insektenschutzgitter versehen ist.

### 3.2.1 Prallscheibe mit Sonnen- und Blendschutz

Ein außenliegender Sonnenschutz weist im Vergleich zu einem innenliegenden Sonnenschutz wesentliche energetische Vorteile auf. Durch die Verglasung der äußeren Funktionsebene wird dieser vor äußeren Umwelteinflüssen wie Wind und Regen geschützt. Die Hinterlüftung der Funktionsebene sorgt für eine Abführung überschüssiger Wärme, die an Sommertagen durch geschlossenen Sonnenschutz entsteht. Durch die Verbundsicherheitsverglasung wird weiters eine absturzsichere Ausführung erreicht, wodurch für die mittlere Funktionsebene die Möglichkeit einer raumhohen Ausführung als offenbare Tür gegeben ist. Durch die Reduktion des Winddruckes ist auch in höheren Gebäudebereichen das Öffnen von Türen bzw. Fenstern bei stärkerem Wind möglich.

### 3.2.2 Photovoltaik

Für dieses Fassadensystem kommen in der äußeren Funktionsebene vor Brüstungsträgern und opaken Elementen Photovoltaiksysteme zum Einsatz, die zwischen zwei Glasscheiben verbaut sind. Das System stellt somit ein Verbundglassystem dar, welches auf dieselbe Weise in den Metallrahmen eingebaut wird, wie die Prallscheibe, wobei eine Aussparung im Rahmen für die Verkabelung der Elemente vorgesehen ist. Vor transparenten mittleren Funktionsebenen (im Prototyp II das Türelement) kann durch Photovoltaiksysteme in der Verbundsicherheitsverglasung eine Teilverschattung erreicht werden. An der Testfassade wird auch ein Prototyp von Solarzellen auf flexiblen Folien verwirklicht. Dabei wird die Folie als aufrollbarer außenliegender Sonnenschutz konzipiert.

---

### 3.2.3 Solarthermie

Der Solarkollektor, bestehend aus Verglasung und Wanne mit eingebautem Kollektor. Dieser wird am äußeren Metallrahmen angebracht, wodurch die Hinterlüftungsebene nicht unterbrochen wird. Die ausreichende Hinterlüftung des Systems verhindert an sonnigen Tagen hohe Wärmeeinträge vom Absorberblech des Solarkollektors in das Innere des dahinterliegenden Bauteils.

### 3.2.4 Gestaltungsmöglichkeit

Die Verglasung der äußeren Funktionsebene bietet einen großen Gestaltungsfreiraum. Jegliche Art von Bedruckung und Oberflächenbehandlung ist sowohl vor einer opaken als auch transparenten mittleren Ebene möglich, wobei die Hinterlüftungsebene auch ausreichend Platz für Beleuchtung aller Art bietet.

## 3.3 Innere Funktionsebene

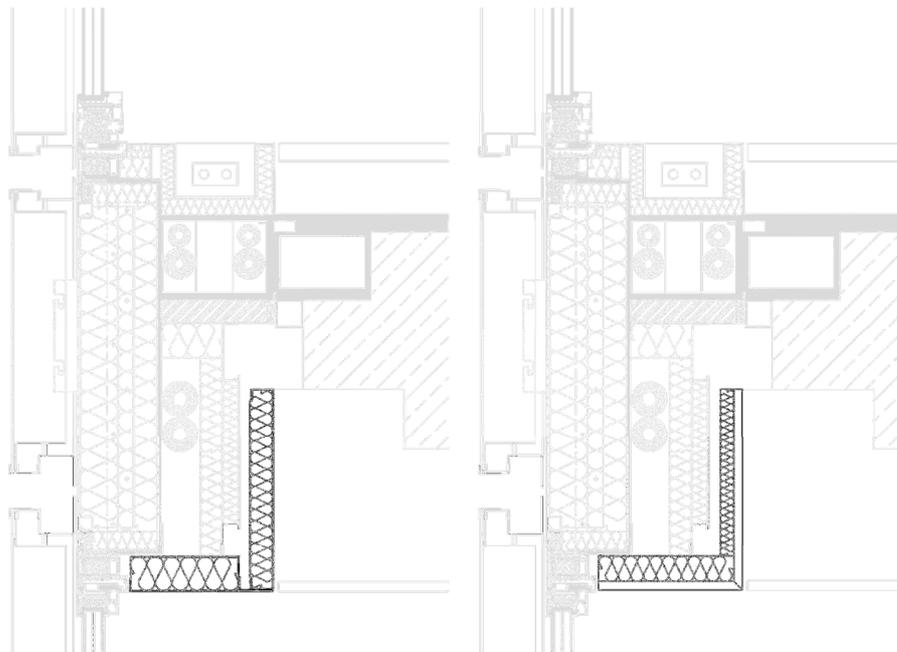
Die innere Funktionsebene bildet den Innenabschluss des Fassadensystems und wird als Vorsatzschale ausgeführt. Ihr kommen daher vor allem Funktionen der Behaglichkeit, wie Oberflächenbeschaffenheit und Raumakustik, zu. Die Vorsatzschale bietet aber auch Platz für Einbauten und sorgt vor allem im Leibungsbereich des Türelements für eine zusätzliche Verringerung der Wärmeverluste.

Im Sturzbereich endet die Vorsatzschale in der Höhe der unteren Kante der Stahlbetondecke der Testfassade ohne Anschluss, wodurch eine Hinterlüftungsmöglichkeit gegeben ist (siehe Abb. 8). Aufgrund des geringen Abstandes zwischen innerer Vorsatzschale und mittlerer Funktionsebene und der übrigen strömungshemmend ausgeführten Anschlüsse wird sich aber nur eine leichte Luftbewegung einstellen. Die abgehängte Decke stößt in weiterer Folge mittels Schattenfuge an die Vorsatzschale an. Ein Schwellenanschluss ist nur bei einem opaken Element vorhanden. Hier schließt die Vorsatzschale mit Schattenfuge an das Aluminiumblech des Brüstungsträgeraufbaues bündig an. In gleicher Höhe befindet sich die Oberkante des Doppelbodens, der ebenfalls mit Schattenfuge an den Aufbau anschließt und somit diesen verdeckt.

In der zweigeschossigen Testfassade wurde im oberen Geschoß eine Vorsatzschale aus Metall und im unteren Geschoß eine Vorsatzschale aus Holz verwirklicht.

### 3.3.1 Vorsatzschale Metall

Auf einer Unterkonstruktion wird im Abstand von 22 mm von der mittleren Funktionsebene eine Aluminiumkassette mit 50 mm Steinwolldämmung aufgehängt. Die Dämmung dient neben dem Wärmeschutzaspekt vorwiegend der Raumakustik. Im seitlichen Leibungsbereich des Türelements ist es aus Platzgründen nicht möglich zusätzliche Dämmung anzubringen, so besteht die Abdeckung aus 2 mm Aluminiumblech. Im Sturzbereich kann aufgrund der nicht öffenbaren Oberlichte und der Geometrie mit Stockverbreiterung ein größeres Dämmpaket mit 75 mm Dicke hinter der Aluminiumabdeckung ausgeführt werden (siehe Abb. 8). Der Leibungsanschluss an das Aluminiumprofil des Türelements wird als dauerelastische Silikonfuge ausgeführt.



**Abb. 8 Innere Funktionsebene im Sturzbereich des Türelements;  
links Metallvorsatzschale, rechts Holzvorsatzschale**

### 3.3.2 Vorsatzschale Holz

Die Holzvorsatzschale besteht aus einer 19 mm dicken Sperrholzplatte, die mit 30 mm Steinwoll dämmung bestückt ist. Diese ist im Abstand von 26 mm zur mittleren Funktionsebene auf einer Unterkonstruktion aufgehängt. Analog zur Metallvorsatzschale kann im seitlichen Leibungsbereich des Türelements keine Dämmung verwirklicht werden. Die Holzbeplankung hat, aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Holzes, einen positiven Einfluss auf die Oberflächentemperaturen und Wärmeverluste in diesem Bereich. Der Leibungsanschluss an das Aluminiumprofil des Türelements erfolgt mittels Schattenfuge.



## 4 Randbedingungen und Modellierung

### 4.1 Klimatische Randbedingungen

#### 4.1.1 Temperaturbedingungen

In Anlehnung an die ÖNORM 8110-2 werden für das Außenklima  $-10,6^{\circ}\text{C}$  (Voitsberg) und für das Innenklima  $+20^{\circ}\text{C}$  angenommen. Diese Werte entsprechen dem Standort des Versuchsaufbaues in Stallhofen für die winterliche Kondensationsperiode.

#### 4.1.2 Wärmeübergangswiderstände

Zur Untersuchung der Wärmeströme und Ermittlung der relevanten thermischen Kennwerte (U-Werte,  $\psi$ -Werte, ...) werden die Wärmeübergangswiderstände lt. ÖNORM EN ISO 10077-1 sowie ÖNORM EN ISO 6946 verwendet. Darin wird für die hinterlüftete Außenoberfläche ein Wärmeübergangswiderstand von  $0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  angegeben. An allen Innenoberflächen wird vereinfacht ein Wert von  $0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  angesetzt. Zwar werden lt. Norm für die Wärmeströme nach oben und unten an der Stahlbetondecke andere Werte empfohlen, diese Vereinfachung hat jedoch nur marginalen Einfluss auf das Ergebnis. In Betracht des oberen und unteren anschließenden gleichen Raumklimas, der Vernachlässigung der abgehängten Decke sowie des aufgeständerten Fußbodens und des niedrigen Einflusses der Stahlbetondecke selbst, wie in Kapitel 5.3.4 beschrieben, ist diese Vorgehensweise zulässig. Begünstigende Wärmeübergangswiderstände an Fensterprofilen infolge verringerter Strahlungs- und Konvektionswärmetransporte, wie sie die ÖNORM EN ISO 10077-2 für Berechnungen von thermischen Verlusten vorsieht, werden in dieser Arbeit berücksichtigt.

Zur Untersuchung der raumseitigen Oberflächentemperaturen in Bezug auf Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten werden nach ÖNORM EN ISO 13788 an allen inneren Bauteiloberflächen, außer Fensterrahmen sowie deren Verglasungen, innere Wärmeübergangswiderstände von  $0,25 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  angewendet. Alle verwendeten Wärmeübergangswiderstände sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Betrachtung	Norm	Bereich	$R_{si}$ [(m <sup>2</sup> K)/W]	$h_{si}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$R_{se}$ [(m <sup>2</sup> K)/W]	$h_{se}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
Thermische Kennwerte	EN ISO 6946/10077	Alle Bauteile	0,13	7,69	0,13	7,69
	EN ISO 10077-2	An Teilen der Fensterprofile	0,20	5,00		
Kritische Oberflächenfeuchte	EN ISO 13788	Verglasung u. Rahmen	0,13	7,69	0,13	7,69
		andere Bauteile	0,25	4,00		

**Tab. 1 Wärmeübergangswiderstände und -koeffizienten**

## 4.2 Werkzeug

Für alle Untersuchungen wird die Software AnTherm 7 verwendet. Die Software ist geeignet Wärmeströme und Dampfdiffusionsströme zu untersuchen. Neben stationären Betrachtungen sind auch instationäre Berechnungen in harmonischer oder periodischer Form möglich. Dem Programm liegt ein orthogonal kartesisches Koordinatensystem zu Grunde, was die Modellierung von Bauteilen mit spitz zulaufenden Begrenzungsflächen schwierig gestalten kann. Die zwei- und dreidimensionalen Berechnungen sind normkonform und nach EN ISO 10211:2007 [3] sowie EN ISO 10077-2:2003 [4] validiert. AnTherm ist als ein zwei- und dreidimensionales, stationäres Präzisionsverfahren („Klasse A – Verfahren“) einzustufen [5]. Je nach Lizenzmodell sind unterschiedliche maximale Elementanzahlen möglich. Das für diese Arbeit verwendete Modell gibt kein Elementlimit vor, somit ist die maximale Elementanzahl durch die vorhandenen Hardwarekomponenten bestimmt.

In dieser Arbeit werden ausschließlich zwei- und dreidimensionale stationäre thermische Berechnungen durchgeführt, wobei die Auswertung in Form numerischer Werte als auch graphisch erfolgt. Die Software AnTherm gibt thermische Leitwerte mit sechs Nachkommastellen und U-Werte mit vier Nachkommastellen aus. In weiterer Folge werden alle thermischen Leitwerte (L2D, L3D) sowie längen- und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\psi$ -Werte,  $\chi$ -Werte) auf vier Nachkommastellen gerundet angegeben und verwendet. Flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) werden auf drei Nachkommastellen gerundet angegeben um Wärmedurchgangskoeffizienten seitens der Berechnung auf die zweite Nachkommastelle genau zu erhalten. Für Betrachtungen zur Vermeidung kritischer Oberflächentemperaturen, Kondensat- und Schimmelpilzbildungsrisiko werden Temperaturen, Temperaturfaktoren und Grenzfeuchtigkeiten von AnTherm mit zwei Nachkommastellen angegeben, wobei in dieser

Arbeit Temperaturen auf eine Nachkommastelle und Grenzfeuchtigkeiten auf ganze Zahlen gerundet werden.

## 4.3 Modellierung

### 4.3.1 Anordnung der Schnittebenen

Die Schnittebenen, also die adiabatischen Begrenzungen der einzelnen Modellierungsbereiche, werden soweit möglich jeweils in den Symmetrieebenen der Konstruktion selbst angeordnet, wie es auch die ÖNORM EN ISO 10211 empfiehlt. Ist keine Symmetrieebene vorhanden wird die Mitte des ungestörten Bereiches gewählt bzw. ein Mindestabstand von 1 m zum betrachtenden Bereich eingehalten. Die gewählten Abstände können den Plänen zu den Berechnungen in Anhang VI entnommen werden.

### 4.3.2 Bauteilvereinfachungen

Der Berechnungsalgorithmus der Software AnTherm gibt ein orthogonal kartesisches Koordinatensystem vor. Die Modellierung ist auf dieses System begrenzt, schräg zum Koordinatensystem verlaufende Kanten müssen daher abgestuft dargestellt werden. Dies betrifft vor allem die verwendeten Aluminium Fenster- und Türprofile. Um eine ausreichende Genauigkeit zu gewährleisten, wird das in der Fassade, in abgeänderter Form, verwendete Standardmodell Schüco AWS 90.SI modelliert, der U-Wert des Rahmens ermittelt und mit dem vom Hersteller angegebenen Wert verglichen. Die Berechnung und Ergebnisse sind in Punkt 4.5.1 angeführt.

#### **Dünne Bauteilschichten**

Da es sich bei den Untersuchungen um rein thermische Berechnungen handelt, kann auf die Modellierung von dünnen Bauteilschichten, die keinen bzw. einen geringen Einfluss auf das thermische Verhalten haben, verzichtet werden. Ein Beispiel hierfür sind dünne Folien zur Sicherstellung der Luftdichtheit der Fassade.

#### **Äußere Vorsatzschale**

Die äußere Vorsatzschale ist durch ausreichende Lüftungsöffnungen vollständig hinterlüftet. Etwaige Kühlrippeneffekte durch die äußeren Konsolen werden vernachlässigt. So wird die äußere Vorsatzschale in den thermischen Berechnungen nicht modelliert und auf die

---

gesamte Außenseite der mittleren Funktionsebene ein erhöhter Wärmeübergangswiderstand für hinterlüftete Fassaden von  $0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  angesetzt.

### **Punktuelle Befestigungen der inneren Vorsatzschale**

Die punktuellen Befestigungen der inneren Vorsatzschale, in Form von kurzen, Z-förmigen Blechstreifen, werden vernachlässigt. Linienförmige Befestigungsmittel werden jedoch modelliert.

### **Abgehängte Innendecke und aufgeständerter Doppelboden**

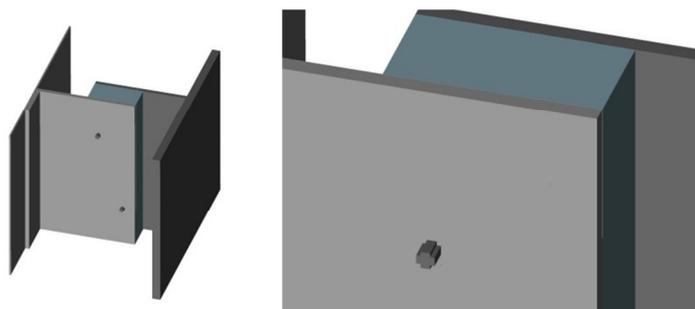
Aufgrund des unbestimmbaren Hinterlüftungsgrades und des geringen Einflusses der Stahlbetondecke auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Vorhangfassade werden die abgehängte Decke und der Doppelboden nicht modelliert.

### **Blechkantungen**

Die, aufgrund des Biegeradius entstehenden, in der Profilansicht abgerundeten Blechoberflächen werden aufgrund des orthogonalen Modells rechteckig modelliert.

### **Schrauben**

Schrauben werden generell nicht modelliert, da sie bei Verbindungen Blech an Blech nicht maßgeblich zur Wärmeleitung beitragen. Die Verbindungsmittel der thermischen Trennung im Brüstungsträger werden flächengleich und abgestuft modelliert (siehe Abb. 9). Aufgrund der nahezu ausschließlichen Wärmeleitung in Längsrichtung der Schraube, ist diese Modellierung ausreichend.



**Abb. 9 Modellierung der thermischen Trennung**

### **Rohrdurchführungen**

Die Rohrdurchführungen durchdringen den gesamten Brüstungsträger und sind von dessen Steinwollgedämmung umgeben. Dadurch herrscht auch hier, gleich wie bei den Edelstahlschrauben der thermischen Trennung, nahezu ausschließlich ein Wärmestrom

längs der Rohrachse. Von einer genauen Modellierung des runden Querschnitts kann daher abgesehen werden. Zur Anwendung kommen flächengleiche quadratische Querschnitte. Aufgrund des dadurch größeren Umfangs fallen die Wandstärken der Rohre dünner aus als in runder Form (siehe Abb. 10).

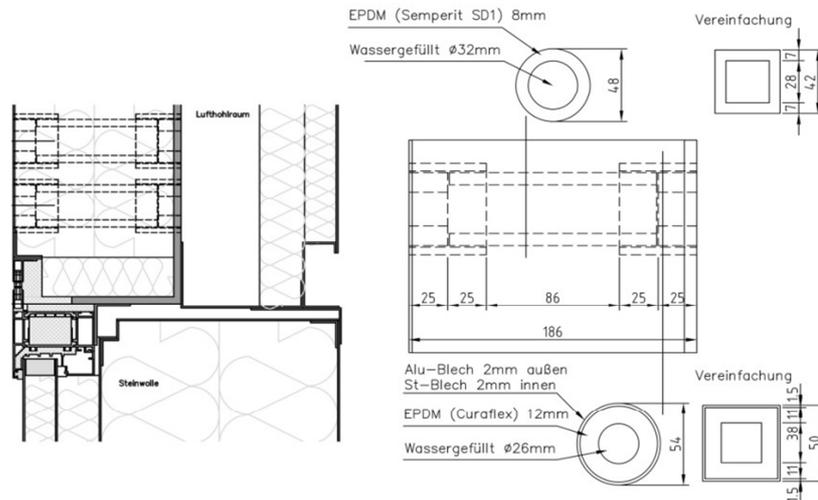


Abb. 10 Modellierung der Rohrdurchführung

### Lufthohlräume

Da es in AnTherm, wie auch in der Regel in anderen Programmen dieser Art, nicht möglich ist Strahlungs- und Konvektionswärmestransporte darzustellen, wird für Lufthohlräume eine Bauteilschicht mit einer berechneten äquivalenten Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda_{\text{eq}}$ ) angesetzt. Dieser Wert wird mithilfe des programminternen „Lufthohlraumrechners“ ermittelt. Diesen Berechnungen liegt die ÖNROM EN ISO 6946:2005 zugrunde. Zur Ermittlung des konvektiven Anteils wird ein Temperaturunterschied ( $\Delta T$ ) der angrenzenden Flächen von 5 K bzw. 10 K, abhängig von den voraussichtlichen Wärmestromrichtungen und Oberflächentemperaturen des Hohlraums, angenommen. Es ist nicht möglich den Strahlungswärmestransport, z. B. via Emissionsfaktoren, näher zu beschreiben. Die in die Berechnung eingehenden Standardwerte von 0,9 [-] sind aber für die in dieser Arbeit angestellten Betrachtungen ausreichend genau. Bei mit Innen- oder Außenraum verbundenen Hohlräumen werden die Modellierungsvorgaben nach ÖNORM EN 10077-2 für leicht oder gut belüftete Hohlräume angewendet. Dabei wird für leichtbelüftete Hohlräume die äquivalente Wärmeleitfähigkeit verdoppelt. Sind zwei Lufthohlräume mit einer Fuge kleiner als 2 mm verbunden, werden diese als zwei separate Hohlräume betrachtet.

---

## 4.4 Diskretisierung

AnTherm gibt als Standardwerte für die Anfangsschrittweite 2 mm, für die maximale Schrittweite 50 mm und für den Vergrößerungsfaktor (Stretch-Faktor) einen Wert von 2 [-] an. Diese Werte sind in der Regel für thermische Betrachtungen ausreichend. Aufgrund der dünnen Bauteilschichten im Bereich des Fensterrahmens werden in dieser Arbeit aber eine Anfangsschrittweite von 1 mm, eine maximale Schrittweite von 50 mm und ein Vergrößerungsfaktor von 1,5 gewählt. Diese Grundeinstellung konnte durch die zur Verfügung stehende Rechnerkapazität für alle zweidimensionalen Berechnungen verwirklicht werden. Die Ressourcen machten es aber nicht möglich diesen Feinrastraster auch für dreidimensionale Berechnungen beizubehalten. Hier wird mit Anfangsschrittweiten von 2 mm und einem Vergrößerungsfaktor von 2 bzw. 3 berechnet. Die maximale Schrittweite mit 50 mm bleibt unverändert. Es ergeben sich mit diesen Parametern bei den größten Modellen dieses Projektes bis zu 30 Millionen zu bilanzierende Zellen. Aufgrund der immensen Datenmengen können nur numerische Berechnungen mit dieser Diskretisierung verwirklicht werden. 3D-Visualisierungen werden, nach Bedarf, mit wesentlich geringerer Feinrastrasterauflösung erstellt.

$$\Psi_{\text{TR-ges,TÜR,iVSH}} = L2D - U_g * l_g^*$$

$\Psi_{\text{TR-ges,TÜR,iVSH}}$  ... längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Brüstungsträgers

mit Holzvorsatzschale in der Schnittebene des Türelements  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$

L2D ... thermischer Leitwert  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$

$U_g$  ... Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$

$l_g^*$  ... Länge der Verglasung inklusive dazugehörigem Rahmenanteil [m]

### Form. 1 Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten

Zur Bestätigung der Feinrastereinstellungen erfolgten Untersuchungen in Form einer zweidimensionalen Berechnung des thermischen Leitwertes (L2D-Wert) und des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers im Bereich des Türelements, mit innerer Vorsatzschale aus Holz, ohne Unterteilung des Trägers ( $\Psi_{\text{TR-ges,TÜR,iVSH}}$ ). Dabei wurden Anfangsschrittweite und Vergrößerungsfaktor variiert. So entstanden Elementanzahlen der zu bilanzierenden Zellen zwischen ca. 150.000 und

4.710.000. Die Mindestrasterzellenanzahl ist von der Software mit ca. 110.000 angegeben. Die Ergebnisse können Tab. 2 entnommen werden.

Der thermische Leitwert wird von der Software normkonform mit sechs Nachkommastellen angegeben, in weiteren Berechnungen im Rahmen dieser Arbeit aber auf vier Nachkommastellen gerundet verwendet. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient des Brüstungsträgers ( $\Psi_{TR-ges\_TÜR,iVSH}$ ) wird durch Abzug des Anteils der Verglasung ( $U_g \cdot I_g^*$ ) ermittelt (siehe Form. 1). Die Pläne zur Modellierung sind in Anhang VI angefügt. Die Verglasung erreicht einen  $U_g$ -Wert von 0,745 W/(mK) (siehe Anhang I).

Anfangs-schritt-weite	Stretch-Faktor	max. Schritt-weite	Elementanzahl		L2D		$\Psi_{TR-ges,TÜR}$	
0,5	1	50	4.711.230	100%	1,7132	100,00%	-0,1605	100,00%
0,5	1,5	50	600.385	13%	1,7130	99,99%	-0,1607	100,12%
0,5	2	50	472.104	10%	1,7127	99,97%	-0,1610	100,31%
0,5	2,5	50	439.423	9%	1,7125	99,96%	-0,1612	100,44%
0,5	3	50	415.351	9%	1,7125	99,96%	-0,1612	100,44%
1	1	50	1.424.032	30%	1,7123	99,95%	-0,1614	100,56%
1	1,5	50	329.943	7%	1,7122	99,94%	-0,1615	100,62%
1	2	50	284.716	6%	1,7119	99,92%	-0,1618	100,81%
1	2,5	50	267.662	6%	1,7119	99,92%	-0,1618	100,81%
1	3	50	251.642	5%	1,7117	99,91%	-0,1620	100,93%
1,5	1	50	776.683	16%	1,7118	99,92%	-0,1619	100,87%
1,5	1,5	50	244.738	5%	1,7116	99,91%	-0,1621	101,00%
1,5	2	50	219.138	5%	1,7115	99,90%	-0,1622	101,06%
1,5	2,5	50	209.179	4%	1,7111	99,88%	-0,1626	101,31%
1,5	3	50	202.875	4%	1,7111	99,88%	-0,1626	101,31%
2	1	50	518.965	11%	1,7111	99,88%	-0,1626	101,31%
2	1,5	50	203.898	4%	1,7109	99,87%	-0,1628	101,43%
2	2	50	186.353	4%	1,7107	99,85%	-0,1630	101,56%
2	2,5	50	178.722	4%	1,7107	99,85%	-0,1630	101,56%
2	3	50	172.749	4%	1,7106	99,85%	-0,1631	101,62%
3	1,5	50	169.765	4%	1,7103	99,83%	-0,1634	101,81%
3	2	50	157.359	3%	1,7101	99,82%	-0,1636	101,93%
3	3	50	149.667	3%	1,7098	99,80%	-0,1639	102,12%

Tab. 2 Diskretisierungsuntersuchung am Detail des Brüstungsträgers mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Holz

In den Betrachtungen wird die Berechnung mit einer Anfangsschrittweite von 0,5 und einem Vergrößerungsfaktor von 1 als genau angenommen. Die Ergebnisse mit unterschiedlichen

---

Variationen der Anfangsschrittweite und des Vergrößerungsfaktors zeigen ein stätiges Sinken des thermischen Leitwertes und des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten mit Ansteigen der Anfangsschrittweite unabhängig vom Vergrößerungsfaktor. Dies legt nahe, dass bei gleichen Elementanzahlen höhere Vergrößerungsfaktoren und niedrigere Anfangsschrittweiten zu genaueren Ergebnissen führen. Erst bei hohen Vergrößerungsfaktoren von 3 zeigt sich einmalig, zwischen der Variante mit einer Anfangsschrittweite von 1 und einem Vergrößerungsfaktor von 3 und der Variante mit einer Anfangsschrittweite von 1,5 und einem Vergrößerungsfaktor von 1, eine höhere Abweichung bei größerem Vergrößerungsfaktor.

Die Anfangsschrittweite eines Elements wird durch die Dicke des jeweiligen Bauteiles begrenzt. Das heißt die Anfangsschrittweite kann nicht größer sein als die Bauteildicke. Daher wird in Bereichen mit dünnen Bauteilen, in diesem Fall vor allem bei den Aluminiumrahmenprofilen des Türelements, durch Erhöhung der Anfangsschrittweite nur eine relativ geringe Elementverringering erreicht. Dadurch erfolgt bei weiterer Erhöhung der Anfangsschrittweite bzw. des Vergrößerungsfaktors kein Genauigkeitsverlust im Bereich der Aluminiumprofile, wo der größte Wärmestrom vorherrscht. Auch bei sehr hohen Anfangsschrittweiten und Vergrößerungsfaktoren, mit resultierenden Elementanzahlen nahe der Anzahl der Mindestrasterzellen, werden dadurch noch alle Genauigkeitskriterien der ÖNORM EN ISO 10211 (Anhang A.2) eingehalten. Unter anderem die Genauigkeit des Ergebnisses des thermischen Leitwertes, wobei bei einer Verdoppelung der Elementanzahl das Ergebnis nicht mehr als 1 % abweichen darf.

## 4.5 Bauteil- und Materialeigenschaften

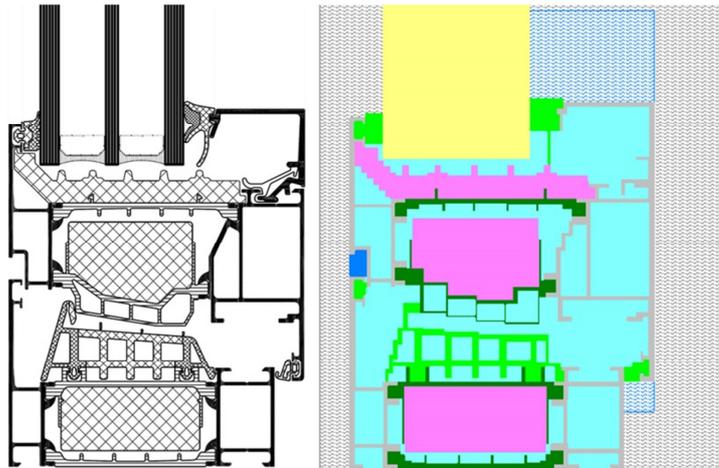
Die bauphysikalischen Eigenschaften der verwendeten Materialien sind der ÖNORM EN ISO 10456, Produktdatenblättern oder der softwareinternen Datenbank entnommen. In Tab. 3 sind alle verwendeten Materialien mit ihren Eigenschaften aufgelistet.

Material	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
Beton, armiert (2% Stahl)	2400	2,50
Stahl	7800	50,00
Aluminiumlegierung	2800	160,00
Floatglas	2500	1,00
Gipskarton	900	0,25
Steinwolle	0	0,05
Polyamid glasfaserverstärkt (thermische Trennung)	1350	0,30
Polysulfid (Randverbund)	1700	0,40
Hart-Butyl (Randverbund)	1200	0,24
Silicagel; Trockenmittel (Randverbund)	720	0,13
Nichtrostender Stahl (Randverbund)	7900	15,00
Polyamid	1150	0,25
Polyethylen(Aluminiumrahmen)	920	0,33
Polyurethanschaum (Aluminiumrahmen)	70	0,03
EPDM (Aluminiumrahmen)	1150	0,25
Vorkomprimiertes Dichtband (PU)	70	0,05
Silikon	1200	0,35
Sperrholzplatte	500	0,13

Tab. 3 Materialkennwerte

### 4.5.1 Aluminiumprofil

Als Bestandteil der Fassade kommt ein thermisch getrenntes Aluminiumprofil des Erzeugers Schüco zum Einsatz. Der Hersteller gibt für dieses Produkt, AWS 90.SI mit Blendrahmenbreite von 64 mm, einen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $U_F$ -Wert) von 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) an. Aufgrund der konstruktiv notwendigen Stockverbreiterung ist der  $U_F$ -Wert des Rahmens in diesem Projekt erhöht, wird aber nicht näher bestimmt.



**Abb. 11 Modellierung des Rahmenprofils AWS 90.SI**

Um eine, für den Zweck der zwei- und dreidimensionalen thermischen Betrachtungen der Fassade ausreichend exakte Modellierung des Schüco Rahmensystems sicherzustellen, wird hier eine Validierungsrechnung durchgeführt. Dabei wird der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens des Standardsystems, AWS 90.SI, ohne Stockverbreiterung ermittelt und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Aufgrund der später erforderlichen dreidimensionalen Betrachtungen wird auf eine exakte Modellierung verzichtet, die eine drastische Erhöhung der Elementanzahlen zur Folge hätte. Für die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens wird, wie in ÖNORM EN ISO 10077-2 angegeben, die Verglasung durch eine Bauteilschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,035 \text{ W/(mK)}$  ersetzt (siehe Abb. 11). Abweichend von den beschriebenen Randbedingungen in Kapitel 4.1 wird ein äußerer Wärmeübergangswiderstand von  $0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  verwendet, um eine Vergleichbarkeit des Ergebnisses mit den Angaben des Herstellers zu ermöglichen.

_Aussen <-> _Innen @ TopBack: (11, 322, 0) x (59, 322, 0)						
Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	$R_s$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_Aussen/EN ISO 6946:1996 Exterior wall (not ventilated)			0.0400	25.0000	0.0400	_Aussen
Rse						
Dämmung 0,035	0.0350	48.0000			1.3714	
_Innen/EN ISO 6946:1996 Exterior wall (not ventilated)			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Rsi						
		<b>48.0000</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>0.6487</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	

**Tab. 4 Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung (U<sub>p</sub>-Wert); Auszug aus Ausgabebericht AnTherm**

Die ÖNORM EN ISO 10077-2 gibt zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmenprofils ( $U_f$ ) Form. 2 an, wobei die Rahmenbreite ( $b_f$ ) die größte projizierte Breite des Rahmens ohne vorstehende Dichtung darstellt und die Summe der Rahmen- und Paneelbreite die Gesamtbreite des Modelles ergibt. Für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Füllung ( $U_p$ ) wird ein Wert von  $0,649 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreicht (siehe Tab. 4). Die zweidimensionale Berechnung mittels AnTherm ergibt einen thermischen Leitwert (L2D) von  $0,2559 \text{ W}/(\text{mK})$ .

$$U_f = \frac{L_{2D} - U_p * b_p}{b_f}$$

$$U_f = \frac{0,2559 - 0,649 * 0,2}{0,122}$$

$$U_f = 1,034 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

L2D ... thermischer Leitwert  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$

$U_f$  ... der Wärmedurchgangskoeffizient des Profils  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$

$b_f$  ... die projizierte Breite des Rahmens [m]

$U_p$  ... der Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$

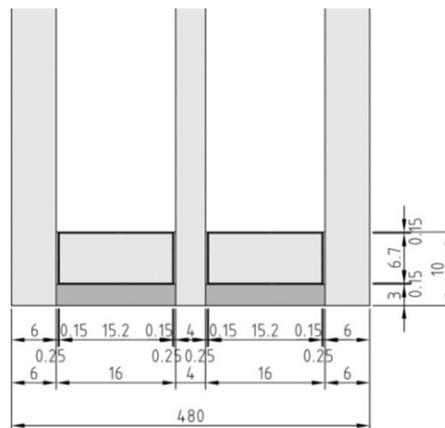
$b_p$  ... die projizierte Breite der Füllung (ohne vorstehender Dichtung) [m]

**Form. 2 Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmenprofils nach ÖNORM EN ISO 10077-2**

Nach Form. 2 ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens von  $1,034 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der Hersteller gibt einen Wert von  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  an, wobei die Zahl auf eine Nachkommastelle gerundet ist. Dadurch ist die tatsächliche Abweichung zur angestellten Berechnung nicht exakt zu bestimmen. Wird das Ergebnis der Berechnungen auf eine Nachkommastelle gerundet, ergibt sich keine Abweichung. Geht man davon aus, dass die Angabe mit  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  exakt ist ergibt sich eine Abweichung von  $3,4 \%$ , was auf der sicheren Seite liegend für die Betrachtungen im Rahmen dieser Arbeit ausreichend ist.

## 4.5.2 Verglasung

Die in den Türen und Oberlichtern verwendeten 48 mm dicken Isolierverglasungen (6-16-4-16-6) bestehen aus Einscheiben-Sicherheitsgläsern (ESG) zu je 6 mm außen und 4 mm mittig. In den zwei Zwischenräumen ist jeweils eine Fläche mit einer wellenlängenselektiven Beschichtung (Low-e-Beschichtung) versehen. Die 16 mm breiten Zwischenräume sind mit Argon gefüllt. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung ( $U_g$ -Wert) beträgt in dieser Zusammensetzung  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der Randverbund wird vereinfacht mit einem rechteckigen Abstandhalter aus  $0,15 \text{ mm}$  dickem, nichtrostendem Stahl mit Silicagelfüllung modelliert. Die Verklebung zu beiden Seiten erfolgt mittels  $0,25 \text{ mm}$  dicker Hart-Butylschicht.  $3 \text{ mm}$  Polysulfid bilden den äußeren Randabschluss.



**Abb. 12 Modellierung des Randverbunds der Dreischiebenverglasung**

Für die Berechnungen wird für die luftgefüllten Schichten zwischen den Scheiben eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit von  $0,03 \text{ W}/(\text{mK})$  für die Gasfüllung angesetzt und somit ein  $U_g$ -Wert von  $0,8$  (exakt  $0,798$ )  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreicht. Durch die Modellierung mit einem erhöhten äußeren Wärmeübergangswiderstand ergibt sich in den Berechnungen dieser Arbeit ein  $U_g$ -Wert von  $0,745$  (siehe Anhang I).

## 5 Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangs-koeffizienten der Fassade

### 5.1 Methode

Die Bestimmung der thermischen Verluste ist normativ gut geregelt. Für Vorhangfassaden, wie die hier betrachtete multifunktionale Fassade, stellt die ÖNORM EN ISO 12631, Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, die Grundlage dazu dar.

$$U_{CW} = \frac{\sum U_g A_g^* + \sum U_p A_p^* + \sum \psi_{TJ} l_{TJ} + \sum \chi}{A_{CW}}$$

$$A_{CW} = \sum A_g^* + \sum A_p^*$$

$U_{CW}$  ... Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$U_g$  ... Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$A_g^*$  ... Fläche der Verglasung inklusive dazugehörigem Rahmenanteil  $[m^2]$

$U_p$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des Paneels  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$A_p^*$  ... Fläche des Paneels inklusive dazugehörigem Rahmenanteil  $[m^2]$

$\psi_{TJ}$  ... längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient einer Fuge zwischen zwei Füllungen  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$

$l_{TJ}$  ... zugehörige Länge des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $[m]$

$\chi$  ... punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$

$A_{CW}$  ... Fläche der Vorhangfassade  $[m^2]$

#### Form. 3 Berechnung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten einer Vorhangfassade nach ÖNORM EN ISO 12631

Aufgrund des schichtenförmigen Aufbaues der Fassade wird auf das in der Norm beschriebene Verfahren mit Beurteilung der einzelnen Komponenten, bei der für jede Fassadenkomponente ein zugehöriger Wärmedurchgangskoeffizient und Flächenanteil bestimmt wird, verzichtet. Zur Anwendung kommt die vereinfachte Vorgehensweise mit der

Bestimmung von längen- und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten zwischen ungestörten Bereichen der Fassade. Die in der Namensgebung suggerierte Vereinfachung des Verfahrens stellt keine Qualitäts- bzw. Genauigkeitsminimierung der Ergebnisse dar, es werden lediglich Flächenbauteile mit geringem Ausmaß, wie z.B. Rahmenprofile, mit den angrenzenden Fugen gemeinsam erfasst. Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Fassade setzt sich, wie in Form. 3 dargestellt, anteilmäßig aus den flächen-, linien- und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten zusammen.

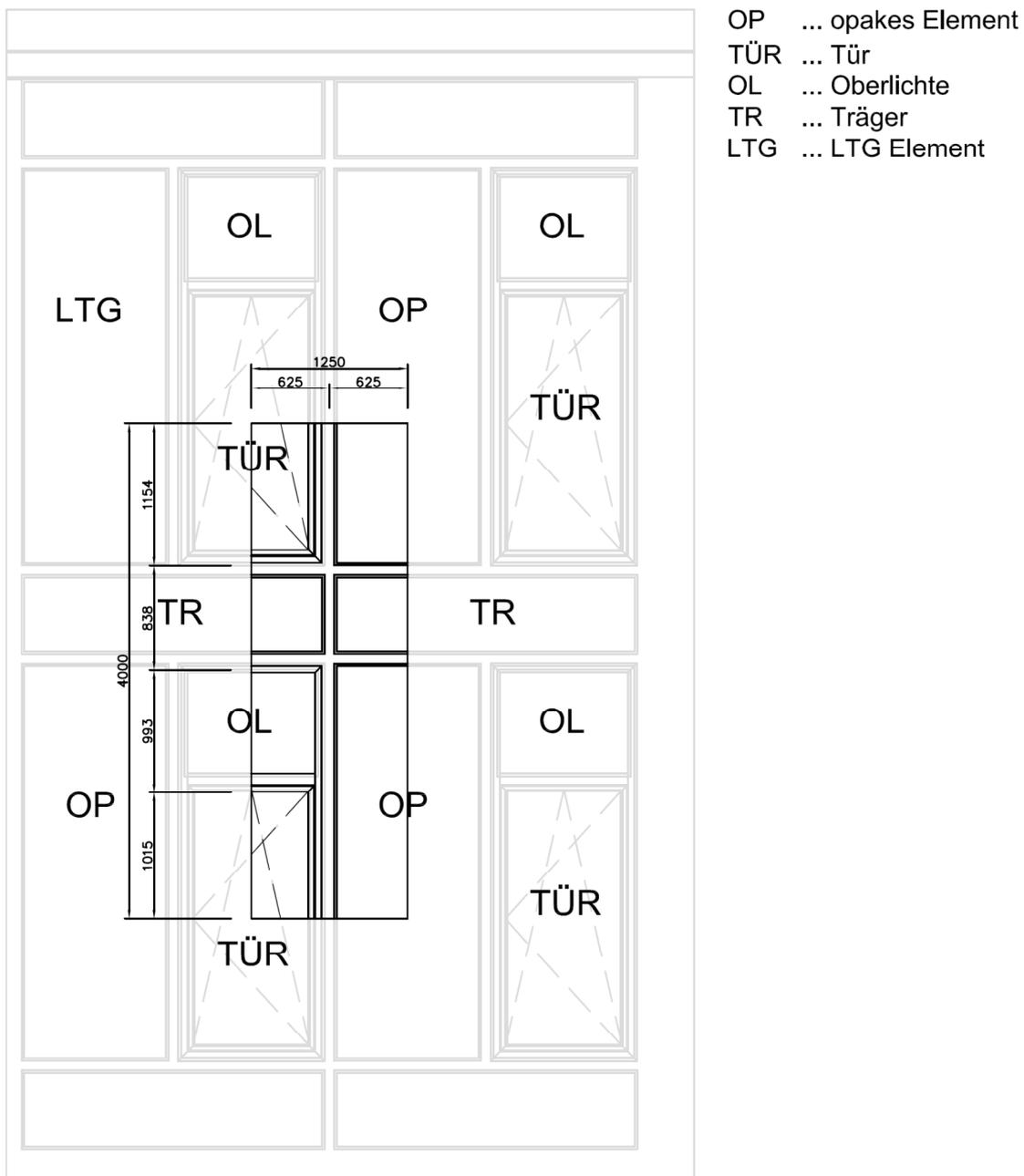


Abb. 13 Repräsentativer wärmetechnischer Abschnitt der Fassade

Zur Ermittlung der einzelnen Teilresultate wird in der Vorhangfassade ein repräsentativer wärmetechnischer Abschnitt ausgewählt (siehe Abb. 13). Dieser ergibt sich in der Breite mit 1250 mm zwischen den vertikalen Symmetrieebenen des Türelements und des opaken Elements und in der Höhe mit 4000 mm zwischen der Mitte der Türverglasung in einem Geschoß und der Mitte der Türverglasung in dem darüber liegendem Geschoß, was der Geschoßhöhe entspricht.

In die Betrachtung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten werden die Regelelemente, opakes Element und Türelement, miteinbezogen. Das opake Element mit LTG-Gerät wird aufgrund der komplexen Geometrie, den wärmeerzeugenden Komponenten und vor allem wegen der nicht modellierbaren Luftströmungen aus den Betrachtungen ausgeschlossen. Ebenfalls werden die Zu- und Abluftschächte in der mittleren Funktionsebene, die zur Spülung der unteren horizontalen Schächte mit den Leitungen der Solarthermie vorgesehen sind, nicht in die Berechnung miteinbezogen, da diese in der Fassade zu Testzwecken eingebaut wurden und in der realen Fassadenausbildung nicht nötig sind oder in abgeänderter Form ausgeführt werden.

Der gewählte repräsentative Abschnitt kann nicht ohne Einschränkung für die gesamte Fassade übernommen werden. Drei Punkte müssen in den Berechnungen gesondert berücksichtigt werden:

1. Die Grenzen des repräsentativen Abschnittes liegen nicht mittig zwischen den vertikalen Fugen des Brüstungsträgers

Bei Multiplikation des gewählten Abschnittes würde der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern ( $\psi_{TR-TR}$ ) doppelt so oft wie vorhanden berücksichtigt werden. Deshalb wird in der Berechnung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern mit dem Faktor 0,5 abgemindert. Aufgrund der Multiplizierbarkeit des Resultates tritt dadurch kein Qualitätsverlust im Ergebnis auf.

Da mit den Randabschlüssen der Brüstungsträger die Randkonsolen verbunden sind, müssen auch die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Randkonsolen abgemindert werden. Dies erfolgt mit einem Faktor von 0,5 jeweils für eine Randkonsole im Bereich des Türelements bzw. im Bereich des opaken Elements, um die Multiplizierbarkeit des Ergebnisses zu gewährleisten.

- 
2. Das obere und untere Geschoß weisen unterschiedliche innere Vorsatzschalen auf

Es werden der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient einer Fassade mit Metallvorsatzschale und einer Fassade mit Holzvorsatzschale separat berechnet. Der Mittelwert der beiden Ergebnisse bildet den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten des Prototypen II.

3. Die mittleren Konsolen des Brüstungsträgers sind nicht im repräsentativen Abschnitt enthalten

Die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der, im repräsentativen Abschnitt nicht enthaltenen, mittleren Konsolen werden separat berechnet und wie die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Randkonsolen in der Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten mit einem entsprechenden Faktor von 0,25 jeweils für die Konsole im Bereich des Türelements bzw. im Bereich des opaken Elements beaufschlagt.

Bei weiterer Unterteilung des repräsentativen wärmetechnischen Abschnittes wird auf die Multiplizierbarkeit der Teilergebnisse geachtet, um auch für andere Größen- und Komponentenverteilungen aussagekräftige Werte zu erhalten. Als ungestörte Bereiche werden die Füllungen der raumabschließenden Elemente, also die Verglasung (mit  $U_g$ ) und das opake Element (mit  $U_{OP}$ ), betrachtet.

Um Ausgangswerte für nachfolgende Berechnungen mit unterschiedlichen Brüstungsträgergrößen zu erhalten wird dieser unterteilt modelliert. Es kann auch aufgrund einer Beschränkung der maximal modellierbaren Elementanzahl, durch fehlende Computerleistung oder durch limitierte Lizenz nötig sein, den Brüstungsträger in mehrere Modellbereiche zu unterteilen. In diesem Abschnitt der Arbeit wird untersucht, welche Auswirkungen eine solche Unterteilung auf die Ergebnisse hat. Dazu werden zwei unterschiedliche Herangehensweisen gewählt:

- Modellierung des gesamten Brüstungsträgers

Durch eine Modellierung des gesamten Brüstungsträgers ohne Unterteilungen wird das genaueste Ergebnis erreicht. Wie in Abb. 14 links dargestellt, sind bei einer Berechnung mittels gesamten Träger weniger Einzelberechnungen erforderlich. Jedoch steigt die Elementanzahl für einige Berechnungen stark an.

- Unterteilung des Brüstungsträgers

Die zweite Variante stellt die Berechnung mit Unterteilung des Trägers dar (siehe Abb. 14 rechts). Dabei wird eine weitere Teilfläche mit zugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten im Brüstungsträgerbereich (mit  $U_{TR}$ ) hinzugefügt. Die Bezugskante der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. die Abgrenzung der flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten stellt in den vertikalen Fugen die Mitte der Fuge und in den horizontalen Fugen am Brüstungsträger jeweils die Ober- bzw. Unterkante der 8 mm dicken Stahlwanne dar.

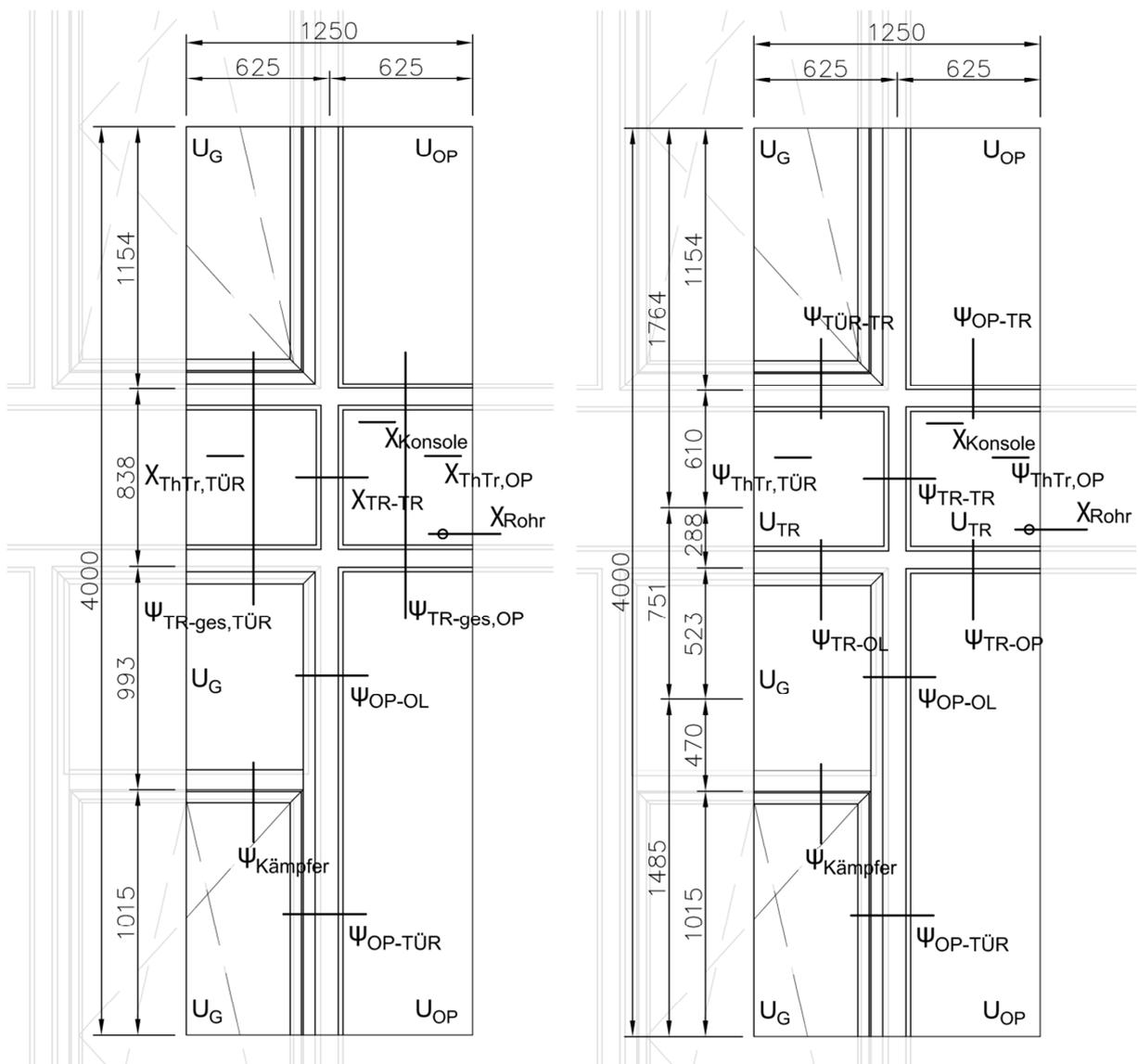


Abb. 14 Übersicht Wärmedurchgangskoeffizienten; links Berechnung mit gesamtem Träger; rechts Berechnung mit unterteiltem Träger

## 5.2 Ergebnisse eindimensionaler Berechnungen

Die Software AnTherm gibt flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) automatisiert in Form von Bauteillisten für alle Berechnungen aus. Auszüge aus diesen Listen mit den detaillierten Wandaufbauten sind im Anhang I aufgelistet und in Tab. 5 zusammengefasst. Die ungekürzten Ausgabeberichte sind exemplarisch für den Horizontalschnitt durch die Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall ( $\Psi_{OP-TÜR}$ ), in Anhang VII angeführt.

Bauteil	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]
Verglasung	0,745
Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Holz	0,153
Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Metall	0,148
Opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Holz	0,126
Opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Metall	0,122

**Tab. 5 Flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile**

Um den Einfluss der inneren Vorsatzschale besser bewerten zu können, werden an dieser Stelle die Wärmedurchgangswiderstände der Gesamtkonstruktionen und der Vorsatzschalen (inkl. Luftzwischenraum) angegeben (siehe Tab. 6). So weist die Metallvorsatzschale infolge der dickeren Steinwollendämmung einen höheren Wärmedurchgangswiderstand auf, als die Holzvorsatzschale. Aufgrund des niedrigeren Wärmedurchgangskoeffizienten des opaken Elements im Vergleich zum Brüstungsträger ist der Anteil der Vorsatzschalen am Gesamtwärmedurchgangswiderstand bei einem opaken Element erwartungsgemäß geringer als bei einem Brüstungsträger. Die geringfügigen Unterschiede zwischen den Vorsatzschalenvarianten zwischen Brüstungsträger und opaken Element ergeben sich durch die konstruktionsbedingt unterschiedlichen Abständen der Vorsatzschale.

Bauteil	R <sub>ges</sub> [(mK)/W]	R <sub>ivs</sub> [(mK)/W]	Anteil [%]
<b>Brüstungsträger</b>			
Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Holz	6,536	0,843	12,9%
Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Metall	6,757	1,097	16,2%
<b>Opakes Element</b>			
Opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Holz	7,937	0,839	10,6%
Opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Metall	8,197	1,093	13,3%

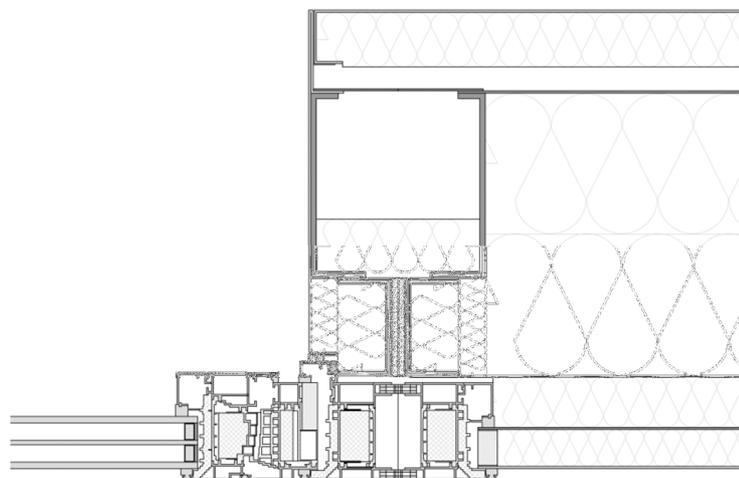
**Tab. 6 Flächenbezogene Wärmedurchgangswiderstände der Bauteile**

## 5.3 Ergebnisse zweidimensionaler Berechnungen

Allen in diesem Kapitel angeführten Berechnungen liegen die Plänen in Anhang VI zugrunde. Der Berechnungsvorgang der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten wird in Punkt 5.3.1 einmalig beschrieben. Die restlichen detaillierten Berechnungen sind in Anhang II in tabellarischer Form beigelegt.

### 5.3.1 Horizontalschnitte raumbildender Elemente

Zur Ermittlung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Rahmenprofile und Fugen wird die Geometrie zweidimensional im Horizontalschnitt modelliert. Beispielhaft wird an dieser Stelle die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen opakem Element und Tür angeführt ( $\Psi_{OP-TÜR}$ ). Dazu werden mittels des in AnTherm modellierten Horizontalschnittes (siehe Abb. 15) die flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten und der thermische Leitwert berechnet.



**Abb. 15 Horizontalschnitt durch Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall**

Die Software AnTherm gibt vollautomatisch Berichte zu allen nötigen Berechnungswerten und -ergebnissen aus. Die gesammelten Berichte für das an dieser Stelle behandelte Detail, sind in Anhang VII exemplarisch angeführt.

$$\psi = L2D - \sum U_g l_g^* - \sum U_p l_p^*$$

$\psi$  ... längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Fuge zwischen zwei Füllungen  $\left[\frac{W}{mK}\right]$

L2D ... thermischer Leitwert für zweidimensionale Berechnungen  $\left[\frac{W}{mK}\right]$

$U_g$  ... Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung  $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

$l_g^*$  ... Länge einer Verglasung inklusive dazugehörigem Rahmenanteil [m]

$U_p$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des Paneels  $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

$l_p^*$  ... Länge des Paneels inklusive dazugehörigem Rahmenanteil [m]

#### Form. 4 Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten nach ÖNORM EN ISO 10211

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient wird für das Detail mit Metallvorsatzschale mittels Form. 4 nach ÖNORM EN ISO 10211 ermittelt. Der Bezugspunkt des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten wird mittig zwischen den Aluminiumprofilen der beiden Elemente angesetzt. Somit ergibt sich mit den Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung (0,745 W/(m<sup>2</sup>K)) und des opaken Elements (0,122 W/(m<sup>2</sup>K)), mit einer jeweiligen zugehörigen Länge von 625 mm, ein längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient von 0,3322 W/(mK). Alle Berechnungen dieser Art sind in tabellarischer Form, wie in Tab. 7 dargestellt, in Anhang II angeführt. Abweichend davon werden auch längen- und punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten durch Subtraktion zweier thermischer Leitwerte aus zwei Berechnungen ermittelt (z.B. die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennungen).

##### II.1.1.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element - Tür

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-TÜR}$	HS_OP-TÜR_IVSM_V1	0,8741	0,8741	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
		0,1220 625	-0,0763	$U_{OP}$ , opakes Element mit iVSM
$\Psi_{OP-TÜR}$			0,3322	

**Tab. 7** Tabellarische Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall

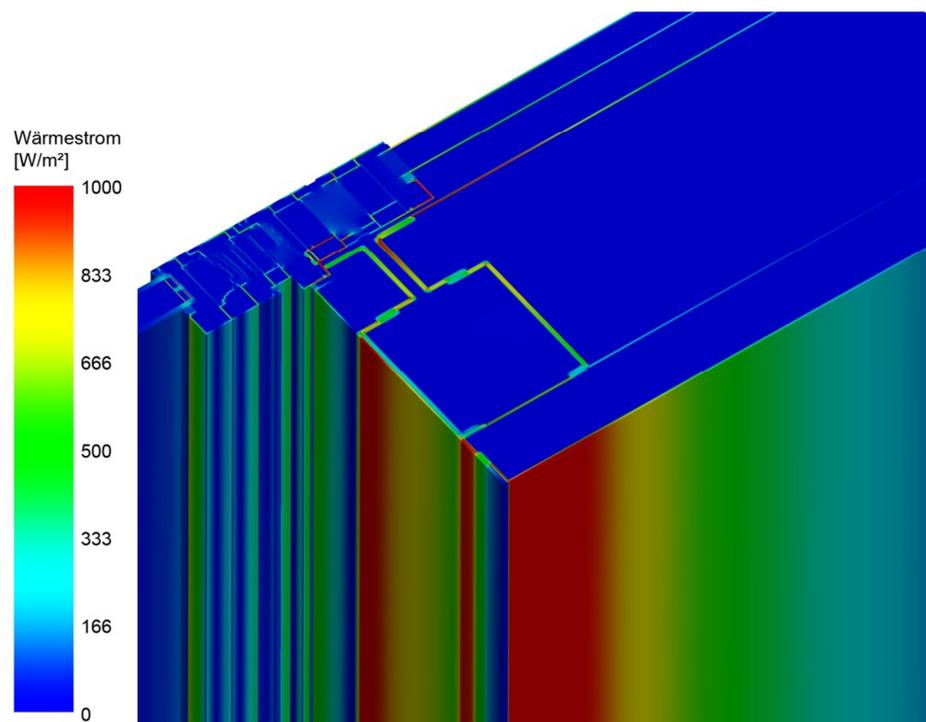


Abb. 16 Wärmestrom im Horizontalschnitt durch Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall<sup>1</sup>

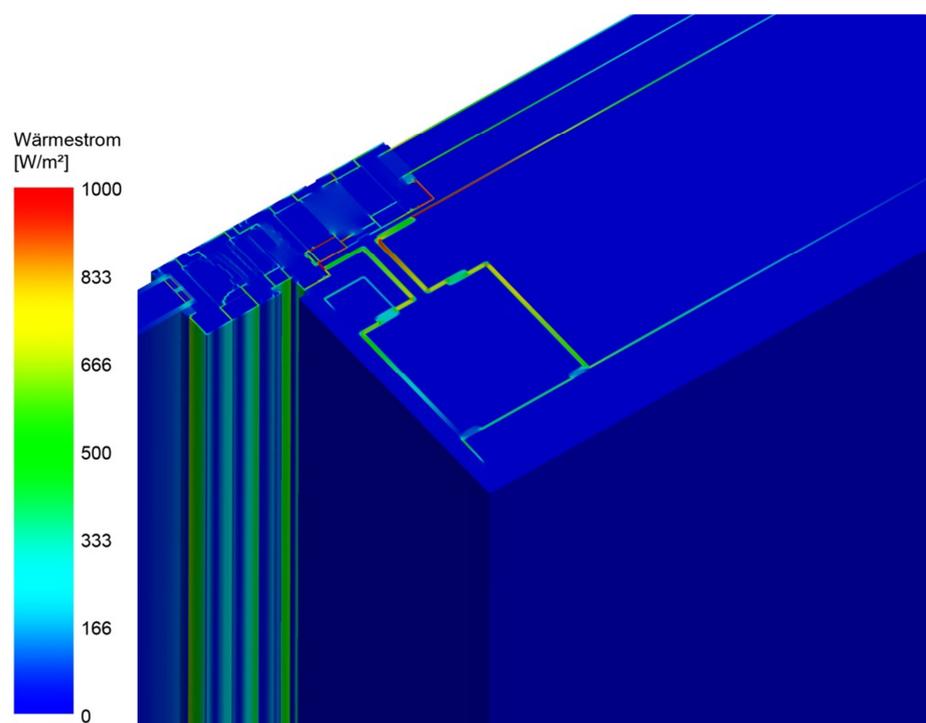


Abb. 17 Wärmestrom im Horizontalschnitt durch Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Holz

<sup>1</sup> Das Maxima der Wärmestromskala ist für alle Abbildungen mit einem Wert von  $1.000 W/m^2$  festgelegt, um eine Vergleichbarkeit mit allen Details zu ermöglichen. Bereiche mit höheren Werten werden mit dem Maximalwert der Skala dargestellt.

In den Anschlussfugen zwischen opakem Element und Tür ( $\psi_{OP-TÜR}$ ) sowie opakem Element und Oberlichte ( $\psi_{OP-OL}$ ) weisen die Details mit innerer Vorsatzschale aus Holz niedrigere längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten auf, als die Details mit innerer Vorsatzschale aus Metall (siehe Tab. 8). Dies liegt einerseits daran, dass im Leibungsbereich hinter der Vorsatzschalenverkleidung keine Dämmung verbaut wird, wodurch die 19 mm dicke Sperrholzplatte im Vergleich zur Aluminiumvorsatzschale als innenliegende Wärmedämmung wirkt. Andererseits wird durch die Metallvorsatzschale Wärme gut transportiert und leitet so vermehrt Wärme an die dahinterliegende Stahlkonstruktion und den Aluminiumrahmen des Türelements weiter (siehe Abb. 16 und Abb. 17). Im Vergleich zum Türanschluss ergeben sich im Oberlichtenanschluss durch den schmälere Rahmenaufbau niedrigere längenbezogenem Wärmedurchgangskoeffizienten.

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	iVSM	iVSH
$\psi_{OP-TÜR}$	0,3322	0,3097
$\psi_{OP-OL}$	0,3316	0,2905

**Tab. 8 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten vertikaler Fugen zwischen opakem Element und Türelement**

Es werden zur Vollständigkeit auch die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für Fugen zwischen zwei gleichen raumbildenden Elementen ermittelt, welche in der Prototypfassade jedoch nicht verwirklicht wurden. Der Anschluss der inneren Vorsatzschale bei zwei opaken Elemente ( $\psi_{OP-OP}$ ) wurde mit einer 10 mm Schattenfuge modelliert. Auch hier ergibt sich für die Metallvorsatzschale ein deutlich höherer längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient als für die Holzvorsatzschale, trotz höherem Wärmedurchgangswiderstand der Metallvorsatzschale, die die Wärmebrücke der mittleren Funktionsebene überdämmt. Dies ist auf die hohe Wärmeleitung in der Aluminiumverkleidung der Metallvorsatzschale, die die Wärmedämmung der inneren Vorsatzschale umrandet und so einen hohen Wärmetransport hinter die Dämmung der Vorsatzschale ermöglicht, zurückzuführen (siehe Abb. 18 und Abb. 19).

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	iVSM	iVSH
$\psi_{OP-OP}$	0,2414	0,2032
$\psi_{TÜR-TÜR}$	0,2976	0,2792
$\psi_{OL-OL}$	0,2640	0,2450

**Tab. 9 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten vertikaler Fugen zwischen gleichen raumbildenden Elementen**

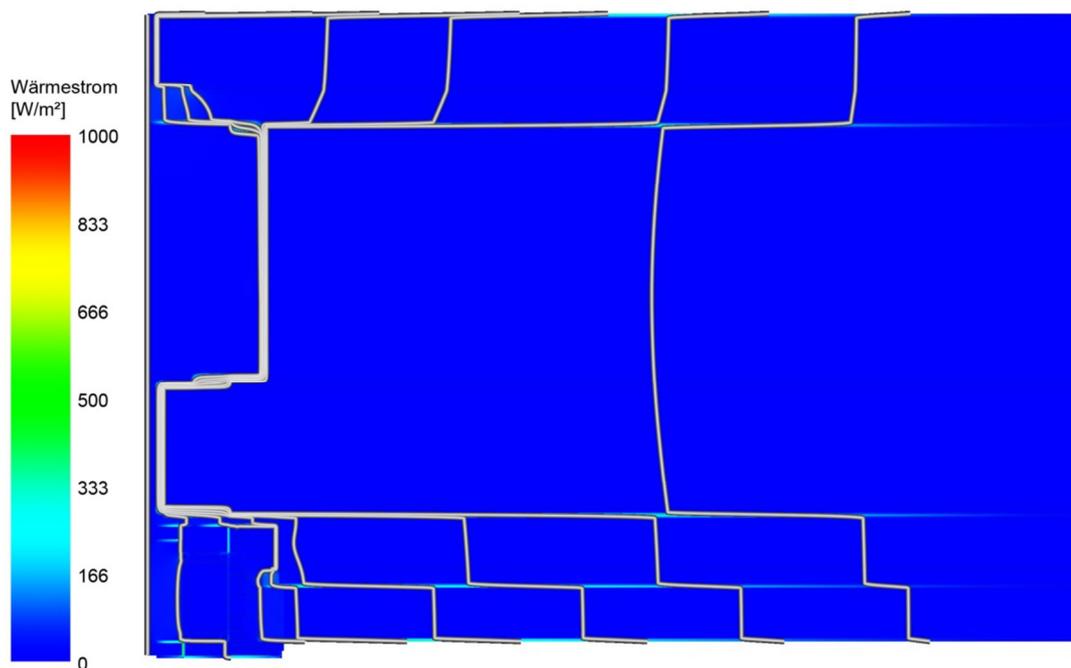


Abb. 18 Wärmestromlinien im Horizontalschnitt durch Fuge zweier opaker Elemente mit innerer Vorsatzschale aus Metall<sup>2</sup>

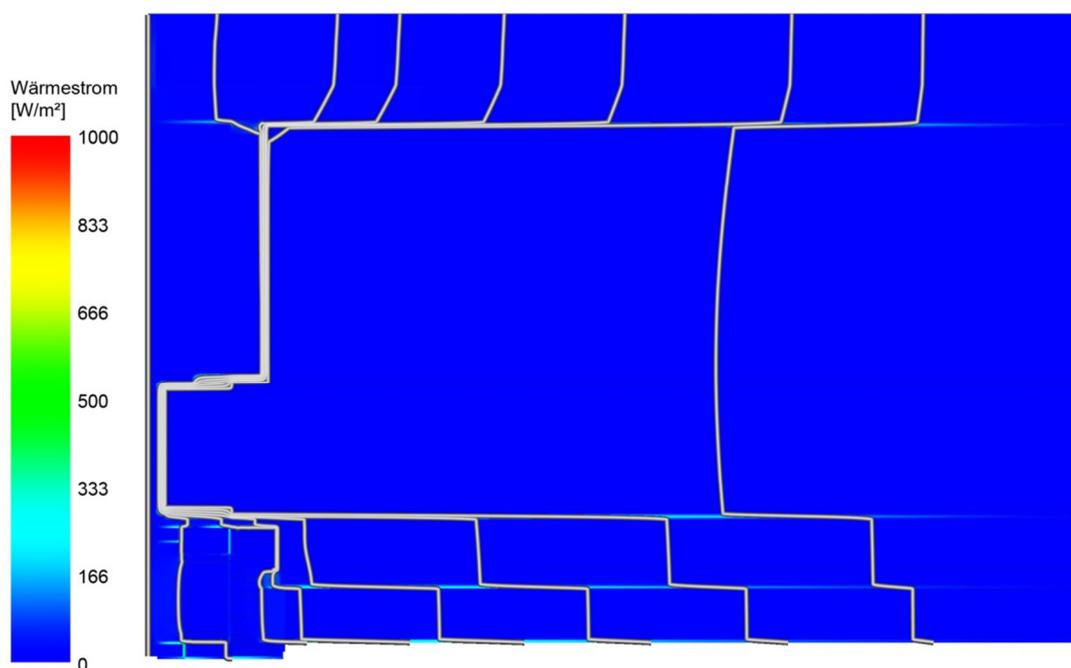


Abb. 19 Wärmestromlinien im Horizontalschnitt durch Fuge zweier opaker Elemente mit innerer Vorsatzschale aus Holz

<sup>2</sup> Aufgrund der Symmetrie des Bauteils wird nur das halbe Detail modelliert und dargestellt.

### 5.3.2 Vertikalschnitt Kämpfer

Wie bereits in Kapitel 4.5.1 erläutert wurden der Fensterrahmen vereinfacht modelliert. In Abb. 20 ist das modellierte Detail des Kämpfers dem Original gegenübergestellt.

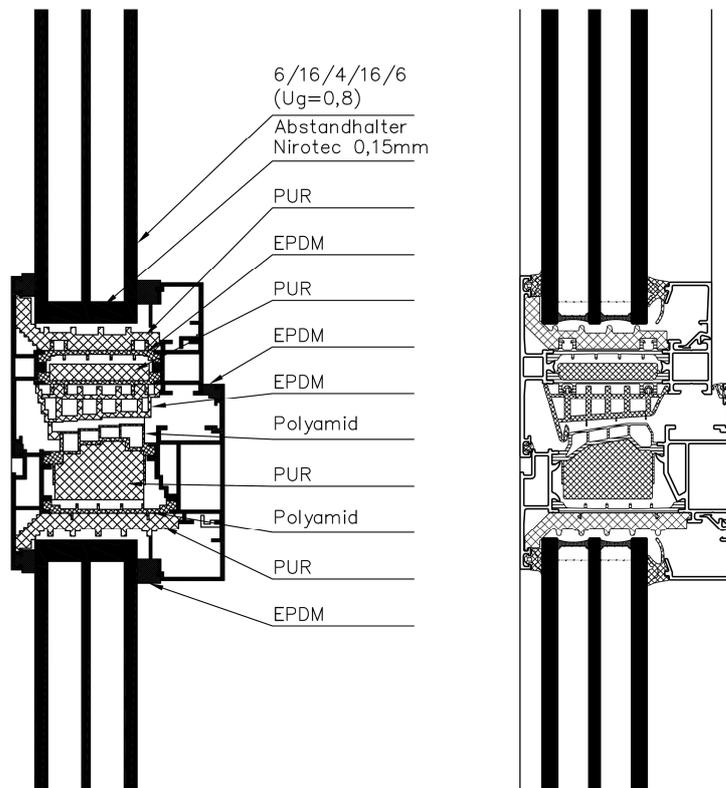


Abb. 20 Vertikalschnitt durch Kämpfer; links modelliertes Detail, rechts Original

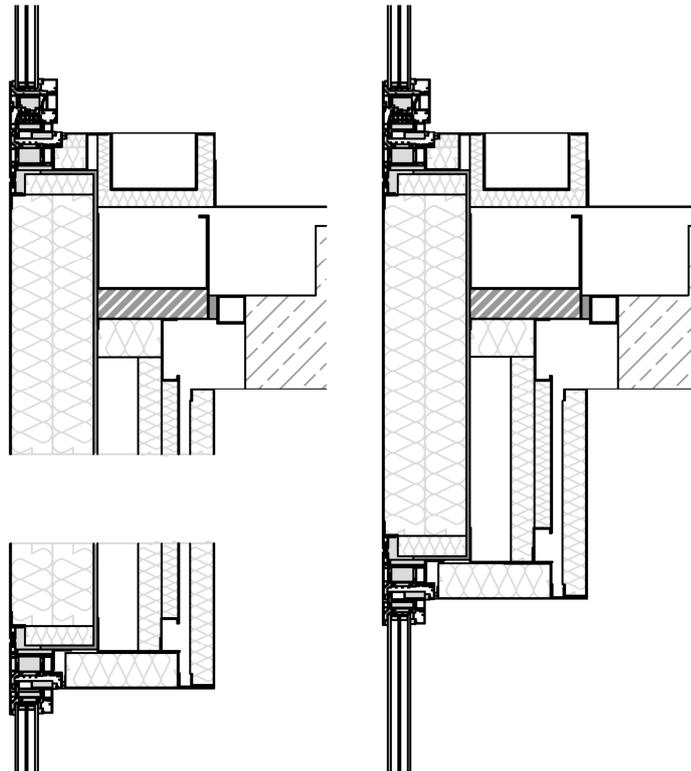
In allen Ausführungsvarianten werden die gleichen Kämpferbauteile verwendet. Dadurch wird für alle weiteren Berechnungen der gleiche längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient für den Kämpfer von 0,1219 W/(mK) verwendet (siehe Tab. 10).

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	
$\psi_{\text{Kämpfer}}$	0,1219

Tab. 10 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Kämpfers im Türelement

### 5.3.3 Vertikalschnitte Träger

In diesem Kapitel werden zwei Berechnungsvarianten, Berechnung mit gesamtem Träger und Berechnung mit unterteiltem Träger, untersucht, um die unterschiedlichen Einflüsse dieser beiden Betrachtungsweisen zu eruieren.

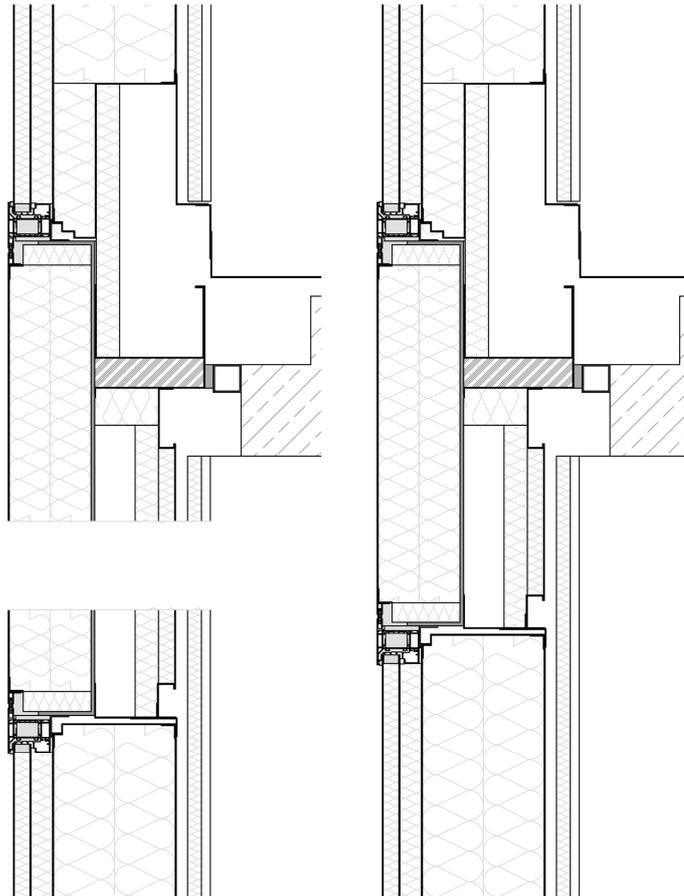


**Abb. 21 Vertikalschnitt durch Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; links geteilt in Sturz (unten) und Schwelle (oben), rechts gesamter Träger**

Der Träger weist an der raumzugewandten Seite durch die unterschiedlichen Leitungsführungen und Schachtanordnungen eine unregelmäßige Geometrie auf. Als am besten geeignet für eine Trennung dieses Betrachtungsbereichs, was eine Anordnung einer adiabaten Schnittebene zur Folge hat, wird die Mitte der unteren Schachtabdeckung angesehen, da sich in diesem Bereich der größte ungestörte Bereich befindet. Die Modellierung der beiden entstehenden Details, Sturz und Schwelle, erfolgt bis zu dieser Schnittebene, sowohl in zwei- wie auch in dreidimensionalen Betrachtungen (siehe Abb. 21 und Abb. 22). Die Lage ergibt sich mit 228 mm von der unteren und 610 mm von der oberen Brüstungsträgerkante (Außenkante der 8 mm Stahlwanne) entfernt. Die ermittelten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten werden jeweils auf die Brüstungsträgeroberkante bzw. -unterkante bezogen. Bei Betrachtung des gesamten Trägers ist kein Bezug der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten auf eine Kante

---

nötig, da die angrenzenden oberen und unteren Flächen den gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen.



**Abb. 22 Vertikalschnitt durch Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz; links geteilt in Sturz (unten) und Schwelle (oben), rechts gesamter Träger**

### 5.3.3.1 Vertikalschnitte mit unterteiltem Träger

Im Sturzdetaill des opaken Elements (siehe Abb. 22; links unten) ergibt sich durch die Metallbleche des unteren Schachtes und die Metallbleche des oberen Abschlusses des opaken Elements eine Wärmebrücke, über die der Großteil des Wärmestroms nach außen fließt. Durch die vollflächige Überdämmung mit der inneren Vorsatzschale, ohne Einfluss des Randabschlusses der Metallvorsatzschale, der in dieser Modellierung nicht vorhanden ist, fällt der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ( $\psi_{TR-OP\_Sturz}$ ) im Detail mit Metallvorsatzschale durch den höheren Wärmedurchgangswiderstand der Vorsatzschale geringer aus, als im Detail mit Holzvorsatzschale (siehe Tab. 11).

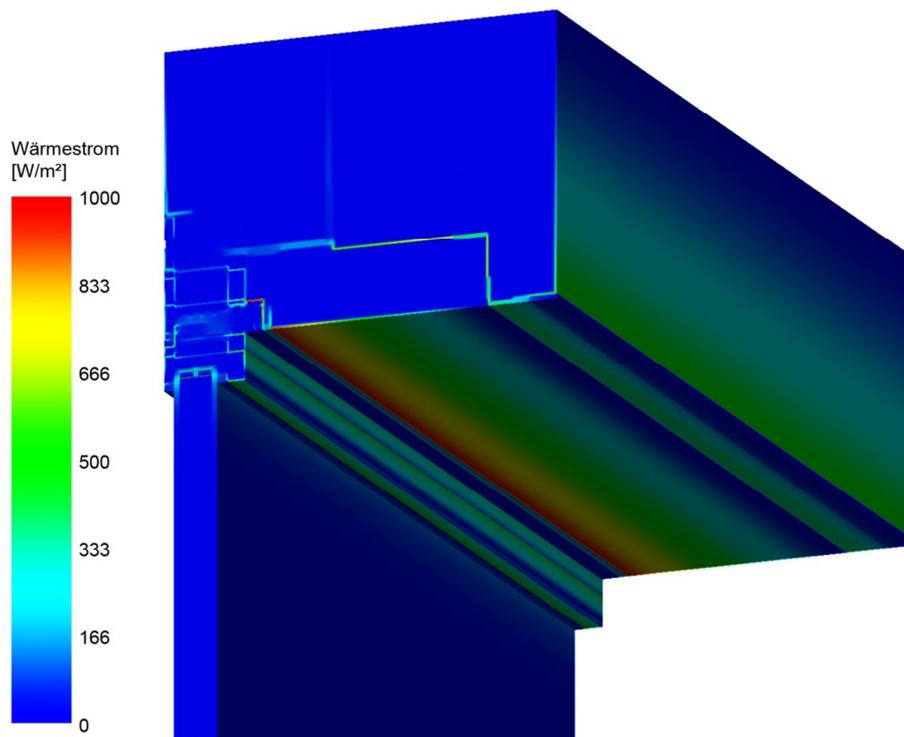
$\psi$ -Wert [W/(mK)]	iVSM	iVSH
$\Psi_{TR-OP\_Sturz}$	0,1170	0,1304
$\Psi_{OP-TR\_Schwelle}$	0,2626	0,2501
$\Psi_{TR-OL\_Sturz}$	0,1310	0,1141
$\Psi_{TÜR-TR\_Schwelle}$	0,2207	0,2171

**Tab. 11 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten mit unterteiltem Träger**

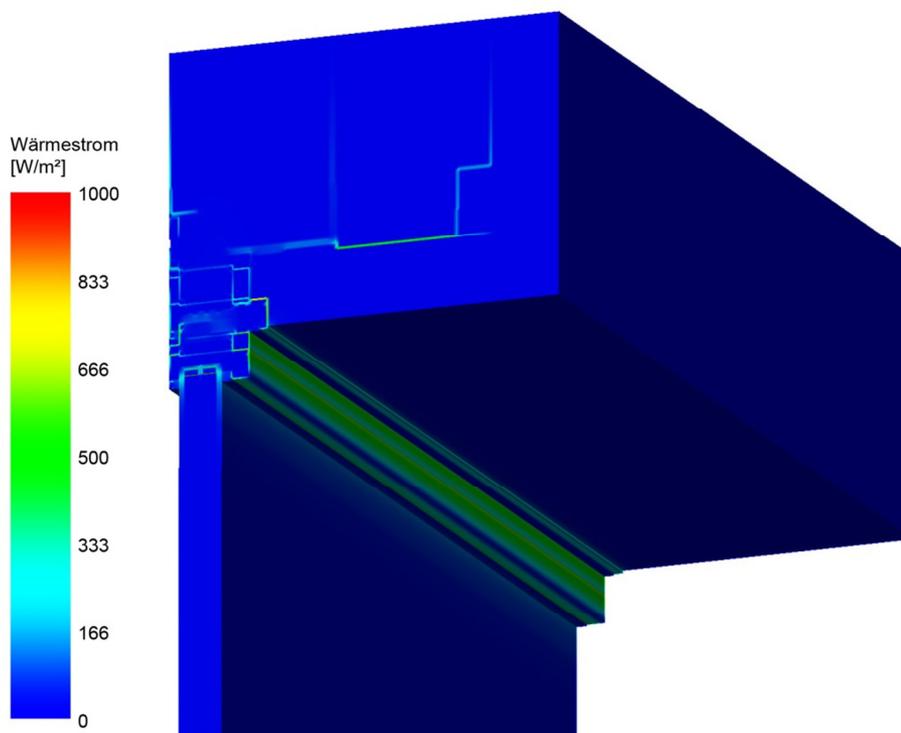
Im Schwellenbereich wird die innere Vorsatzschale durch den Stahlbetondeckenanschluss unterbrochen. Dadurch ergeben sich zwei Randabschlüsse der inneren Vorsatzschale, was sich besonders negativ auf den Wärmeverlust im Detail mit Metallvorsatzschale auswirkt. Die Aluminiumverkleidung in den Randbereichen der Metallvorsatzschale ermöglichen dort hohen Wärmeströme. Das Detail mit Holzvorsatzschale weist im Randbereich keine solche Wärmebrücke auf. Dadurch ergibt sich für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizient ( $\Psi_{OP-TR\_Schwelle}$ ) im Detail mit Holzvorsatzschale ein geringerer Wert als im Detail mit Metallvorsatzschale. Weiters ist aber zu beachten, dass aufgrund des niedrigeren flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Details mit Metallvorsatzschale rechnerisch ein höherer längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient erzielt werden sollte als im Detail mit Holzvorsatzschale, was die Verluste über die Wärmebrücke im Vergleich zur Holzvorsatzschale höher erscheinen lässt.

Im Gegensatz zur seitlichen Leibung des Türelements kann an der Sturzleibung bei der Metallvorsatzschale ein 76 mm dickes Dämmpaket aus Steinwolle ausgeführt werden (siehe Abb. 21). Aufgrund der Dicke der Sperrholzplatte fällt dieses bei der Variante mit Holzvorsatzschale geringer aus und wurde mit einer Stärke von 56 mm realisiert. Somit ist der höhere Wert des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Psi_{TR-OL\_Sturz}$ ) in der Variante mit Metallvorsatzschale durch das Wärmeleitungsvermögen der Metallbleche geschuldet. Dies zeigt sich auch in den Wärmestrombildern des Sturzdetails, bei dem im Detail mit Metallvorsatzschale hohe Wärmeströme in den Metallblechen, vor allem hin zur Stockverbreiterung aus Aluminium, zu beobachten sind (siehe Abb. 23 und Abb. 24).

Im Schwellendetail des Türelements ( $\Psi_{TÜR-TR\_Schwelle}$ ) sind die geringsten Abweichungen zwischen den Vorsatzschalenvarianten zu beobachten, da im Bereich der Tür in beiden Varianten der gleiche Anschluss ausgeführt wurde und sich Unterschiede daher nur im Bereich unterhalb der Stahlbetondecke ergeben. Wie auch im Schwellendetail des opaken Elements fallen im Gegensatz zum Sturzdetail die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten im Detail mit Metallvorsatzschale höher aus als, im Detail mit Holzvorsatzschale.



**Abb. 23 Wärmestrom im Anschluss des unterteilten Brüstungsträgers zur Oberlichte, mit innerer Vorsatzschale aus Metall**



**Abb. 24 Wärmestrom im Anschluss des unterteilten Brüstungsträgers zur Oberlichte, mit innerer Vorsatzschale aus Holz**

### 5.3.3.2 Vertikalschnitte mit gesamtem Träger

Durch die Modellierung des Brüstungsträgers als Ganzes werden ca. 350.000 ( $\Psi_{TR\_ges\_TÜR\_iVSM}$ ) zu bilanzierende Zellen erreicht. Im Vergleich dazu erreicht das Sturzdetail der Tür ca. 70.000 ( $\Psi_{TR\_OL\_Sturz\_iVSM}$ ) und das Schwellendetail der Tür ca. 200.000 ( $\Psi_{TÜR\_TR\_Schwelle\_iVSM}$ ). Die Differenz zwischen der Elementanzahl des gesamten Brüstungsträgers und der Summe der unterteilten Brüstungsträgerdetails ergibt sich aufgrund der orthogonalen Feinrasterstruktur. Dabei werden im Modell des gesamten Brüstungsträgers durch Bauteiltrennlinien Gitterlinien über die gesamte Trägerhöhe bzw. -breite erzeugt, die bei unterteiltem Träger nicht nötig sind.

Wie auch in den Ergebnissen mit unterteiltem Brüstungsträger fallen die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten in den Details mit opakem Element ( $\Psi_{TR\_ges\_OP}$ ) bei der Variante mit Metallvorsatzschale aufgrund erhöhter Querleitung durch die Metallbleche und rechnerisch aufgrund der niedrigeren flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten höher aus, als mit Holzvorsatzschale (siehe Tab. 12). Das Brüstungsträgerdetail mit Türelement ( $\Psi_{TR\_ges\_TÜR}$ ) verhält sich gleich, wobei die Differenz geringfügig größer ausfällt.

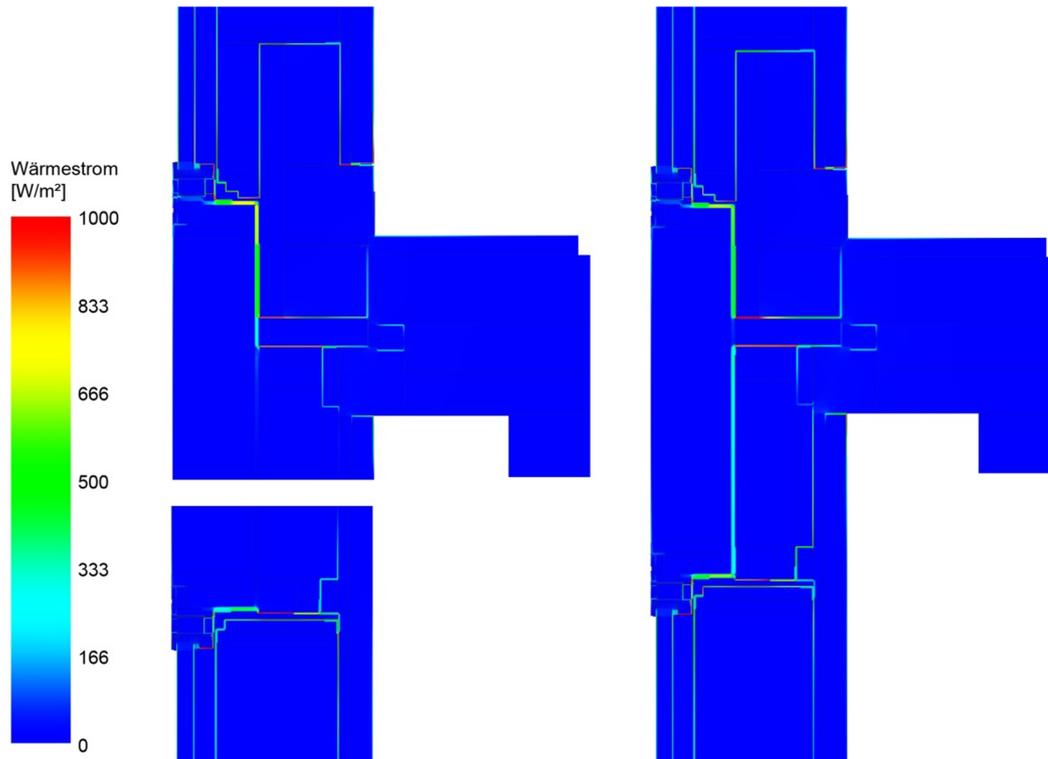
$\psi$ -Wert [W/(mK)]	iVSM	iVSH
$\Psi_{TR\_ges\_OP}$	0,4404	0,4295
$\Psi_{TR\_ges\_TÜR}$	-0,1482	-0,1615

**Tab. 12 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten mit gesamtem Träger**

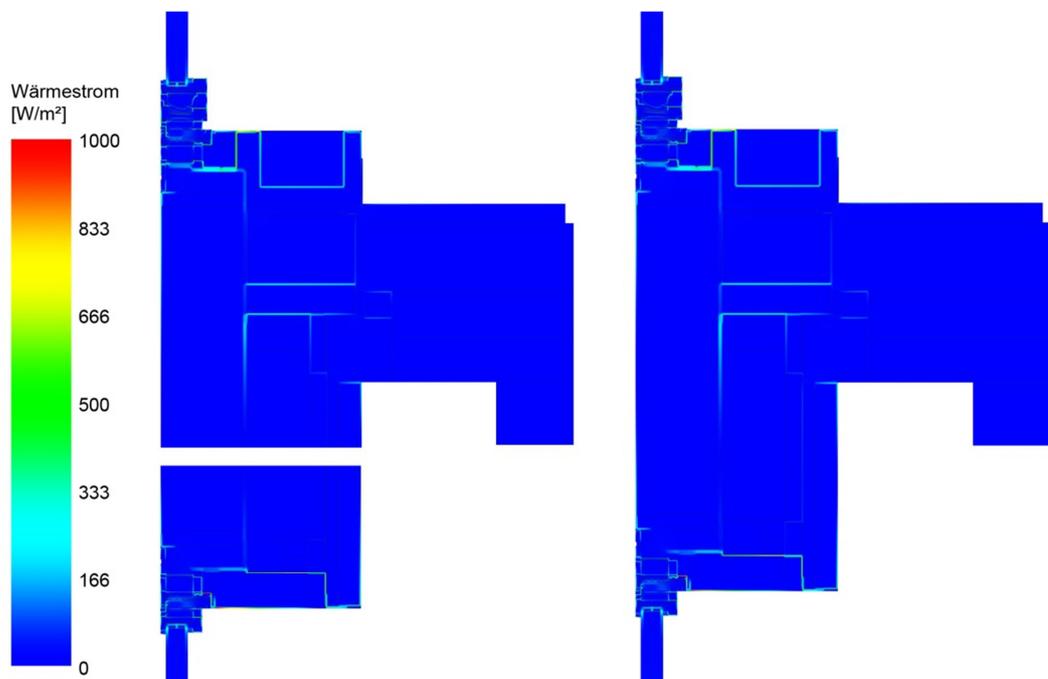
Aufgrund des, im Vergleich zu den anderen Flächen, hohen Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung ( $U_g = 0,745 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) ergibt sich bei der Betrachtung des Brüstungsträgers mit Türelement für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ein negativer Wert. Das heißt, der Brüstungsträger inklusive aller dazugehörigen Wärmebrücken weist einen geringeren Wärmeverlust auf, als eine durchlaufende Verglasung.

### 5.3.3.3 Vergleich der Berechnung mit unterteiltem und gesamtem Träger

Um die beiden Herangehensweisen zur Ermittlung der Wärmeverluste infolge des Brüstungsträgers zu vergleichen, werden die, in Punkt 5.3.3.1 mittels unterteiltem Brüstungsträger errechneten, Werte zu längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für den gesamten Brüstungsträger umgerechnet und mit den Ergebnissen aus Punkt 5.3.3.2



**Abb. 25 Wärmestrom im Brüstungsträger mit opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteilten Träger, rechts Berechnung mit gesamten Träger**



**Abb. 26 Wärmestrom im Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteilten Träger, rechts Berechnung mit gesamten Träger**

verglichen. Um dies zu bewerkstelligen werden für einen Ausschnitt der Fassade thermische Leitwerte durch Addition der ermittelten Werte des unterteilten Trägers rückgerechnet. Durch Abzug des Wärmestroms des Flächenelements (Verglasung oder opakes Element) bezogen auf die Gesamtlänge ( $l_{FE}^*$ ) können längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten für den gesamten Brüstungsträger ( $\psi_{TR-ges}^*$ ) errechnet (siehe Form. 5) und den Ergebnissen aus den detaillierten Modellierungen gegenübergestellt werden.

$$\psi_{TR-ges}^* = \sum U_{FE} * l_{FE} + \sum U_{TR} * l_{TR} + \psi_{Sturz} + \psi_{Schwelle} - \sum U_{FE} * l_{FE}^*$$

$\psi_{TR-ges}^*$  ... indirekt berechneter längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$

$U_{FE}$  ... Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$l_{FE}$  ... Länge der Füllung inklusive dazugehörigem Rahmenanteil [m]

$U_{TR}$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des Brüstungsträgers  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$l_{TR}$  ... Länge des Brüstungsträgers inkl. dazugehörigem Rahmenanteil [m]

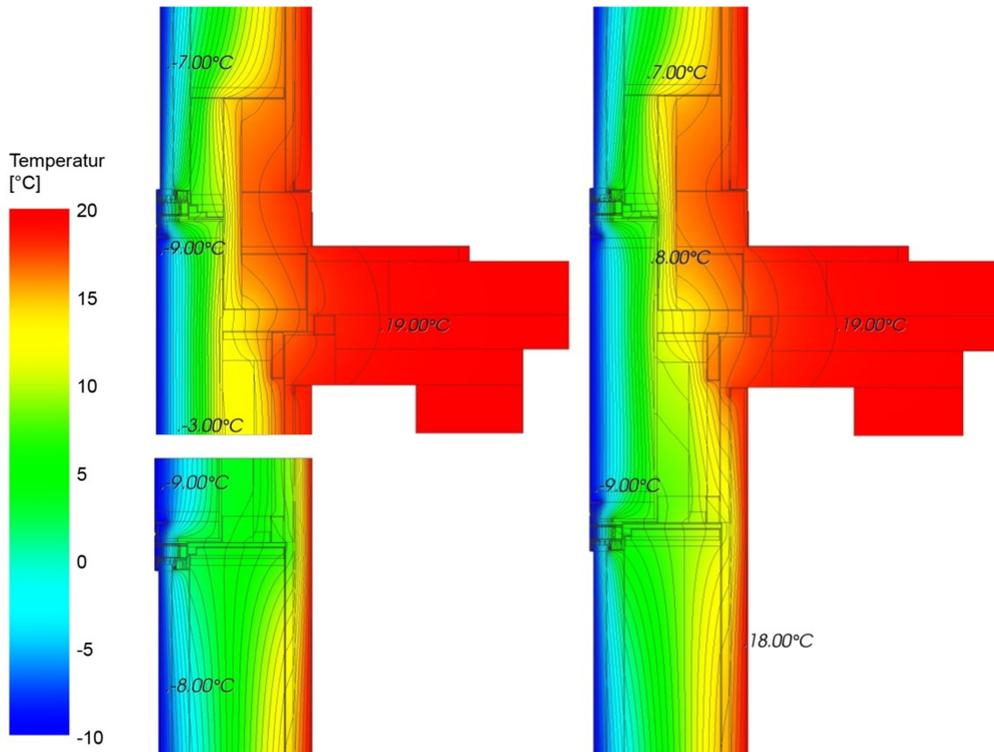
$\psi$  ... längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$

**Form. 5 Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des gesamten Brüstungsträgers mit Werten aus Berechnungen mit unterteiltem Träger**

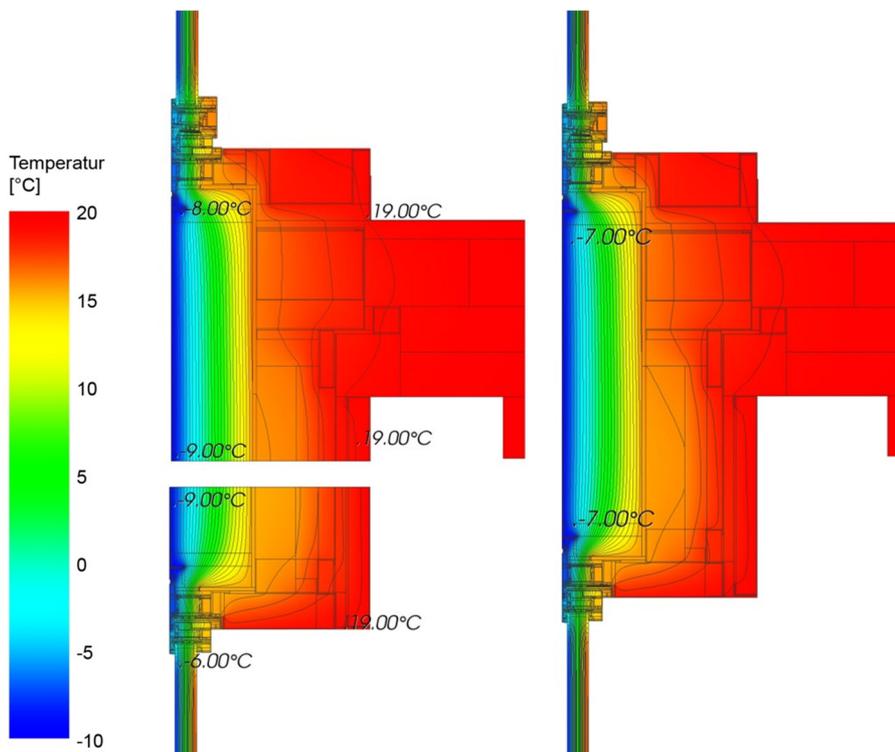
Die einzelnen Berechnungen sind in tabellarischer Form in Anhang IV angefügt und die Ergebnisse in Tab. 13 zusammengefasst. Die Abweichungen zwischen den Berechnungsvarianten von -0,3 bis -8,9 % sind nicht vernachlässigbar. Dabei wirkt die Unterteilung des Brüstungsträgers in allen Fällen begünstigend auf den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten. Dies ist damit zu begründen, dass bei Teilung des Trägers Querleitungswärmetransporte im Bereich der Schnittführung nicht dargestellt werden. Den größten Anteil dazu tragen die unterschiedlichen vertikalen Metallbleche bei, die große Wärmeströme quer zur eigentlichen Wärmestromrichtung ermöglichen.

	$\psi$ -Wert		$\psi^*$ -Wert		Abw. von $\psi^*$ zu $\psi$ [%]	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\psi_{TR-ges\_OP}$	0,4404	0,4295	0,4014	0,4031	-8,9%	-6,1%
$\psi_{TR-ges\_TÜR}$	-0,1482	-0,1615	-0,1487	-0,1650	-0,3%	-2,2%

**Tab. 13 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers; Abweichung von Berechnungen mit unterteiltem Träger zu Berechnungen mit gesamtem Träger**



**Abb. 27 Isothermenverlauf der Temperatur im Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteiltem Träger, rechts Berechnung mit gesamtem Träger**



**Abb. 28 Isothermenverlauf der Temperatur im Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteiltem Träger, rechts Berechnung mit gesamtem Träger**

Am größten fällt die Differenz zwischen den Betrachtungsvarianten im opaken Element aus. In diesem Detail werden große Wärmemengen vom Bereich der Stahlbetondecke, wo die Dämmebene der inneren Vorsatzschale durch die Einbauten unterbrochen ist, über die 8 mm dicke Stahlwanne nach oben und unten zu den Aluminiumprofilen geleitet. Durch die Unterteilung des Brüstungsträgers wird der Wärmetransport nach unten unterbunden bzw. nicht modelliert und die Wärmeverluste fallen geringer aus (siehe Abb. 25 und Abb. 27). Wie in Abb. 25 ersichtlich wird im Brüstungsträger mit Anschluss an das opake Element der Wärmestrom nach unten, ausgehend vom horizontalen Blech an der Oberseite des unteren Schachtes, nicht lediglich unterbrochen sondern gänzlich nach oben „umgeleitet“.

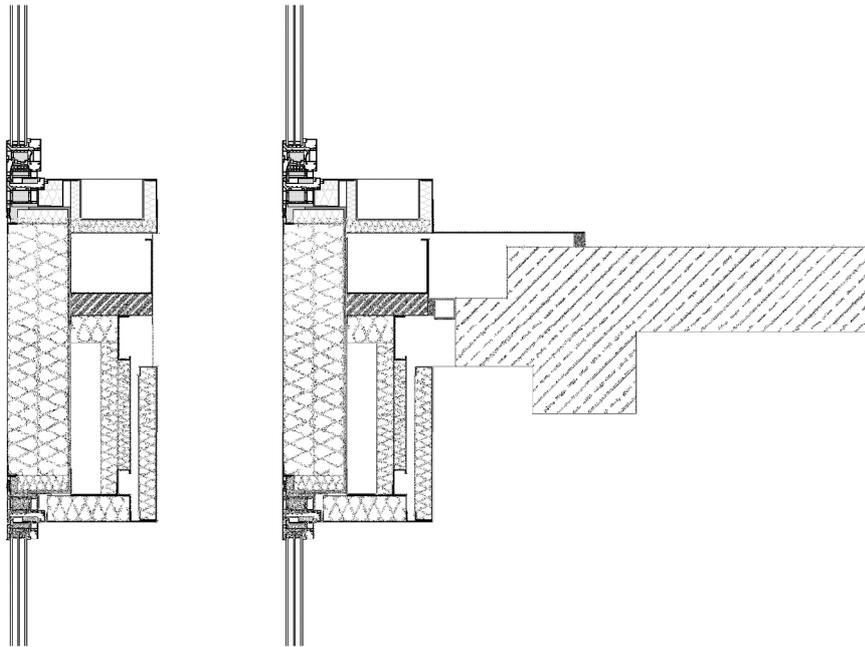
Im Detail mit Türelement fallen die Abweichungen zwischen den Betrachtungsvarianten wesentlich geringer aus, als im Detail mit opakem Element, was auf die Leibungsbildung zurückzuführen ist. Durch den höheren Wärmeeintrag in den Brüstungsträger über die Sturzleibung, ist der Anteil an der im Bereich der Stahlbetondecke eingebrachten Wärmeenergie geringer und es erfolgt lediglich ein untergeordneter Wärmetransport von der Stahlbetondecke in den Sturzbereich. Dadurch weist das Brüstungsträgerdetail mit Türelement in der Modellierung mit unterteiltem Träger, im Vergleich zur Modellierung mit gesamtem Träger, geringere Abweichungen auf.

Dieser Wärmeeintrag über die Leibung ist auch der hauptsächliche Grund für die Unterschiede zwischen den Varianten der inneren Vorsatzschalen im Detail mit Türelement. So hat der Wärmeeintrag über den Bereich der Stahlbetondecke im Detail mit Metallvorsatzschale, aufgrund der höheren Wärmeeinträge im Leibungsbereich, weniger Einfluss als mit Holzvorsatzschale. Im opaken Element verhält es sich genau umgekehrt. So hat der Wärmeeintrag über den Bereich der Stahlbetondecke mit opakem Element und Holzvorsatzschale weniger Einfluss, da über den geringeren Wärmeübergangswiderstand der Holzvorsatzschale im Regelbereich mehr Wärmeenergie in das Bauteil gelangen kann als im Detail mit Metallvorsatzschale.

Desweiteren kann am Isothermenverlauf des nicht unterteilten Brüstungsträgers mit opakem Element und Metallvorsatzschale festgestellt werden, dass weder ein ausreichend großer ungestörter Bereich mit vertikal parallelen Isothermen, noch eine Symmetrieebene im Brüstungsträger vorhanden ist, um eine Teilung des Trägers vornehmen zu können (siehe Abb. 27). Aufgrund der Leibungsgeometrie des Details mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall, kann im Gegensatz dazu am Isothermenverlauf ein Scheitelpunkt der Isothermen nahe der gewählten Schnittebene festgestellt werden, was die geringen Abweichungen von -0,3 % für diese Variante veranschaulicht (siehe Abb. 28).

### 5.3.4 Vernachlässigbarkeit der Stahlbetondecke

Die vorgehängte Fassade wird nicht durch die Stahlbetondecke unterbrochen, daher wird an dieser Stelle geprüft, ob eine Vernachlässigung der Decke bei der Modellierung zulässig ist. Zur Betrachtung werden die Details mit gesamtem Brüstungsträger herangezogen (siehe Abb. 29). Dabei entfällt in dieser Variante die Stahlbetondecke mit den dazugehörigen Anschlüssen entlang den Metallblechen in der Ebene der Innenseite der Vorsatzschale.



**Abb. 29 Modellierung des Brüstungsträgers mit Türelement und Vorsatzschale aus Metall; links ohne Stahlbetondecke, rechts mit Stahlbetondecke**

Zwar bleiben die Abweichungen, wie in Tab. 14 zusammengefasst, unter einem Prozent, jedoch ist unklar inwieweit der Einfluss mit den zusätzlichen Einbauten, wie thermischer Trennungen und Konsolen, steigt. Weiters hat sich gezeigt, dass sich in den dreidimensionalen Detailvarianten keine Einschränkungen der Elementanzahlen aufgrund von zu geringen Rechnerkapazitäten ergeben. Daher wird, nicht zuletzt aufgrund der genaueren Ergebnisse, auf das Vernachlässigen der Stahlbetondecke verzichtet.

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Mit Decke		Ohne Decke		Abweichung [%]	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\psi_{TR-ges\_OP}$	0,4404	0,4295	0,4434	0,4328	0,7%	0,8%
$\psi_{TR-ges\_TÜR}$	-0,1482	-0,1615	-0,1477	-0,1609	0,3%	0,4%

**Tab. 14 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers; Berechnung mit und ohne Stahlbetondecke**

## 5.4 Ergebnisse dreidimensionaler Berechnungen

Die tabellarischen Berechnungen zu den einzelnen, in diesem Kapitel angeführten, Werten der dreidimensionalen Modellierungen sind in Anhang III angeführt.

### 5.4.1 $\psi$ -Wert Ermittlungen – thermische Trennung im Brüstungsträger

Je nach Modellierungs- und Berechnungsaufwand kann der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der thermischen Trennung im Brüstungsträger auf unterschiedliche Weise ermittelt werden, wobei eine vereinfachte Modellierung zu großen Abweichungen führen kann. An dieser Stelle werden drei verschiedene Arten der Modellierung untersucht:

- Variante 1: Dreidimensionale Berechnungen ohne oberen und unteren Randanschluss der thermischen Trennung an den Brüstungsträger

Die dreidimensionale Modellierung ist aufgrund der Berücksichtigung der Schrauben notwendig, wobei zwei Berechnungen, eine im Bereich des oberen Schachtes und eine im Bereich des unteren Schachtes, erfolgen. Die Ergebnisse werden nach Längen gewichtet.

- Variante 2: Dreidimensionale Berechnungen mit oberen (Schwelle) und unteren (Sturz) Brüstungsträgerabschlüssen

Hierbei werden die oberen und unteren Anschlüsse der thermischen Trennung mitberücksichtigt. Es wird dazu die gleiche Trägerunterteilung, wie in Kapitel 5.3.3 gewählt, herangezogen und die Ergebnisse nach Längen gewichtet angegeben.

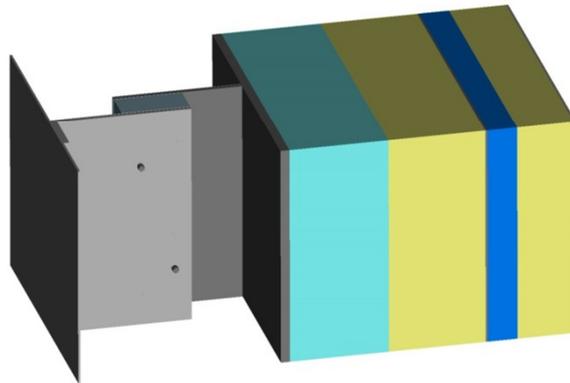
- Variante 3: Dreidimensionale Berechnungen des gesamten Trägers

Es wird der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient für die gesamte thermische Trennung ermittelt. Durch Division mittels der Trägerhöhe erhält man einen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten, in dem anteilmäßig die Querleitungseinflüsse durch den oberen und unteren Anschluss an die Stahlwanne des Brüstungsträgers enthalten sind.

Die höchste Genauigkeit wird in der dritten Variante erreicht, wobei Elementanzahlen von bis zu ca. 8,3 Mio. Elementen erreicht werden.

### 5.4.1.1 Variante 1 – Berechnung ohne Randanschluss

Geringe Elementanzahlen können bei einfachen Modellierungen erreicht werden. So wird an dieser Stelle der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der thermischen Trennung, ohne Berücksichtigung der oberen und unteren Randanschlüsse an die Stahlwanne, ermittelt.



**Abb. 30 Modellierung der thermischen Trennung im Bereich des unteren Schachtes, mit innerer Vorsatzschale aus Metall (Steinwollgedämmung im Brüstungsträger ausgeblendet)**

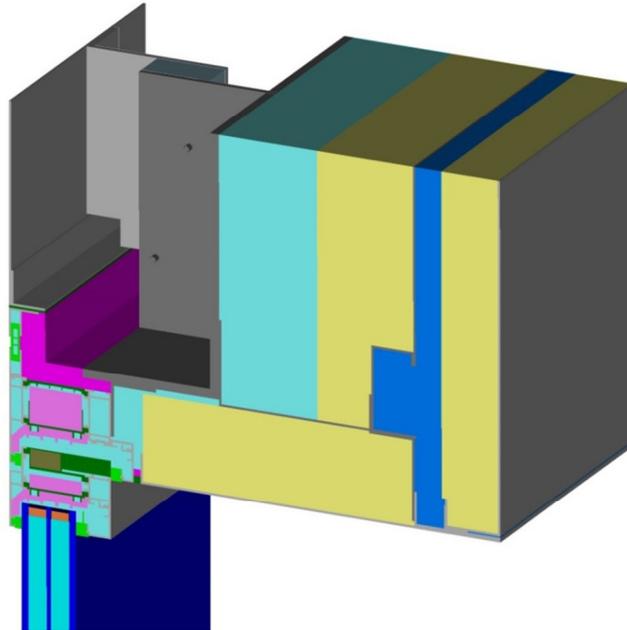
Dazu werden zwei Schnitte, jeweils durch den oberen und unteren Schacht des Brüstungsträgers, mit einem 200 mm hohen und 250 mm breiten Ausschnitt der thermischen Trennung, modelliert (siehe Abb. 30). Die Höhe ergibt sich aus der Schraubenanordnung mit einem Abstand von 100 mm und die Breite durch den Raster der thermischen Trennung. Der Schnitt durch den oberen Schacht wird ohne Stahlbetondecke modelliert, wobei aufgrund der in diesem Bereich nicht vorhandenen Vorsatzschale nur ein Wert ermittelt wird. Die Ergebnisse werden nach Länge, zu 351 mm für den oberen und 487 mm für den unteren Abschnitt gewichtet angegeben (siehe Tab. 15). Die großen Unterschiede in den Ergebnissen zwischen oberem und unterem Schacht entstehen durch den Aufbau der Schächte. Im oberen Schacht wird keine Dämmung wie im unteren Schacht verbaut. Dadurch wird die thermische Trennung im oberen Schacht innenraumseitig nur geringfügig überdämmt und so erreicht der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient in dieser Modellierung hohe Werte.

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Oberer Schacht	Unterer Schacht		Gewichtet nach Länge	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\psi_{ThTr}$	0,2190	0,0315	0,0355	<b>0,1100</b>	<b>0,1124</b>

**Tab. 15 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Berechnungsvariante 1**

#### 5.4.1.2 Variante 2 – Berechnung mit Randanschluss

Etwas aufwendiger gestaltet sich die Modellierung der thermischen Trennung im Anschlussbereich an den oberen und unteren Brüstungsträgerabschluss (siehe Abb. 31). Das innere Stahlblech der thermischen Trennung ist an den oberen und unteren Rand der Stahlwanne angeschweißt. Der außenliegende Aluminiumwinkel ist abgestuft ausgeführt, um die Montage des Dichtungsaufnehmers zu ermöglichen.



**Abb. 31 Modellierung der thermischen Trennung im Anschlussdetail  
Brüstungsträger zu Oberlichte, mit innerer Vorsatzschale aus Metall  
(Steinwolldämmung im Brüstungsträger ausgeblendet)**

Auch in dieser Berechnungsvariante werden die Ergebnisse aus den Berechnungen der Sturz- und Schwellendetails nach Länge gewichtet angegeben (siehe Tab. 16). Im Sturzdetaill sind 228 mm des Trägers modelliert und im Schwellendetail 610 mm. Durch die Modellierung des Randanschlusses zwischen thermischer Trennung und Brüstungsträger werden auch Querleitungseinflüsse erfasst, was zu starken Abweichungen zu den Ergebnissen aus Variante 1 führt.

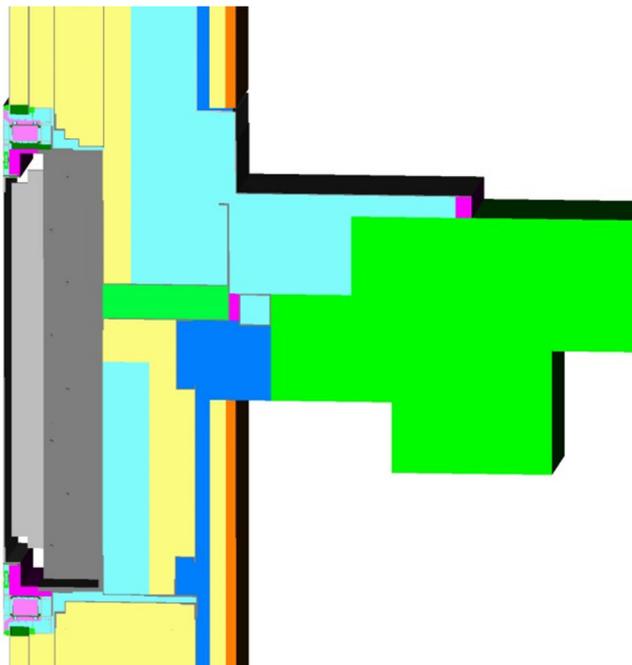
Aufgrund der unterschiedlichen Anschlussausbildung des opaken Elements und des Türelements zum Brüstungsträger ergeben sich große Differenzen in den Ergebnissen dieser Details (siehe Tab. 16). Im Detail mit Türelement ist mit der Leibungsfläche eine hohe Wärmezufuhr zur thermischen Trennung möglich, was die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Türelements ( $\psi_{ThTr\_TÜR}$ ) um ca. 80 % höher ausfallen lässt, als die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des opaken Elements ( $\psi_{ThTr\_OP}$ ).

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Sturzdetaill		Schwellendetaill		Gewichtet nach Länge	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\psi_{ThTr\_OP}$	0,0500	0,0583	0,1308	0,1257	<b>0,1088</b>	<b>0,1074</b>
$\psi_{ThTr\_TÜR}$	0,1930	0,1513	0,2090	0,2067	<b>0,2046</b>	<b>0,1916</b>

**Tab. 16 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Berechnungsvariante 2**

Die Abweichungen zwischen den beiden Vorsatzschalenvarianten sind im Vergleich zu den Abweichungen zwischen den raumbildenden Elementen gering, zeigen aber, wie auch in den Ergebnissen des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers selbst, dass trotz höheren Wärmedurchgangswiderstandes der Metallvorsatzschale, die die thermische Trennung teilweise überdämmt, aufgrund der Wärmetransporte in den Metallblechen am Randabschluss der Vorsatzschale, ein höherer Wärmeverlust stattfindet als bei der Vorsatzschale aus Holz. Somit fallen die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung mit Metallvorsatzschale höher aus, als mit Holzvorsatzschale. Nur im Sturzdetaill mit opakem Element ist das nicht der Fall, da in dieser Modellierung aufgrund der Schnittlage unterhalb des Vorsatzschalenendes keinen Randabschluss der inneren Vorsatzschale vorhanden ist.

#### 5.4.1.3 Variante 3– Berechnung mit gesamten Träger



**Abb. 32 Modellierung der thermischen Trennung im gesamten Brüstungsträger mit opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Holz (Steinwollgedämmung im Brüstungsträger ausgeblendet)**

Durch die Modellierung des gesamten Brüstungsträgers mit thermischer Trennung erhält man als Ergebnis einen punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für eine gesamte thermische Trennung (siehe Tab. 17). Durch Division des Ergebnisses mit der Trägerhöhe von 838 mm erhält man den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten in dem die Einflüsse der oberen und unteren Randabschlüsse enthalten sind.

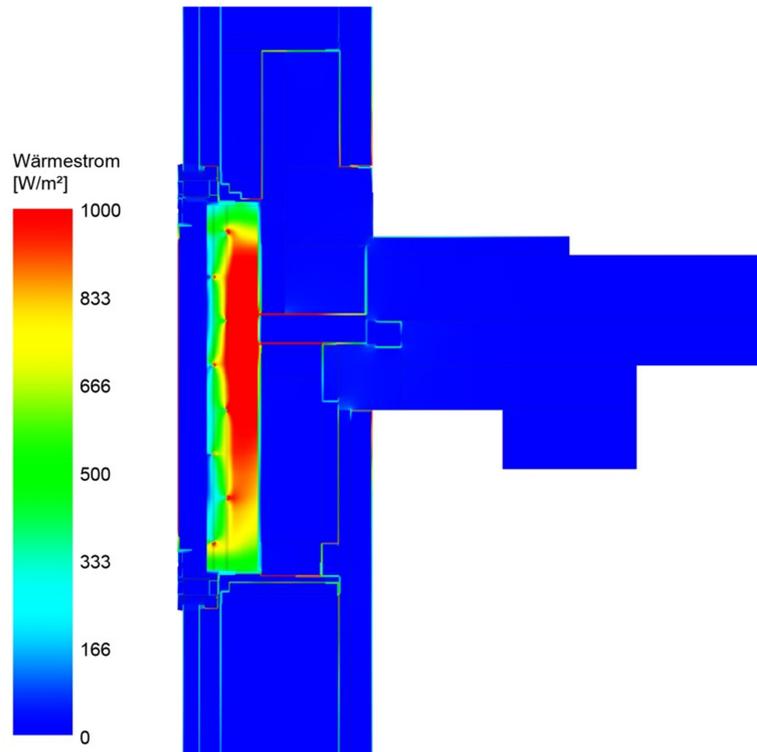
In dieser Variante werden durch Modellierung des gesamten Brüstungsträgers Wärmetransporte quer zur eigentlichen Wärmestromrichtung im gesamten Träger und der thermischen Trennung ermöglicht (siehe Abb. 33 und Abb. 34), wodurch die Unterschiede zwischen dem Detail mit opakem Element und Türelement im Vergleich zu Variante 2 nochmals höher ausfallen. Dies führt zu einer Differenz zwischen den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der raumbildenden Elemente in der Variante mit innerer Vorsatzschale aus Metall von ca. 100 %, also doppelt so hohen Wärmeverlusten über die thermische Trennung im Trägeranschlussdetail mit Türelement ( $\psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$ ), als im Trägeranschlussdetail mit opakem Element ( $\psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$ ).

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	$\chi$ -Wert [W/K]		$\psi$ -Wert [W/(mK)]	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$	0,0881	0,0866	<b>0,1051</b>	<b>0,1033</b>
$\psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$	0,1736	0,1606	<b>0,2072</b>	<b>0,1916</b>

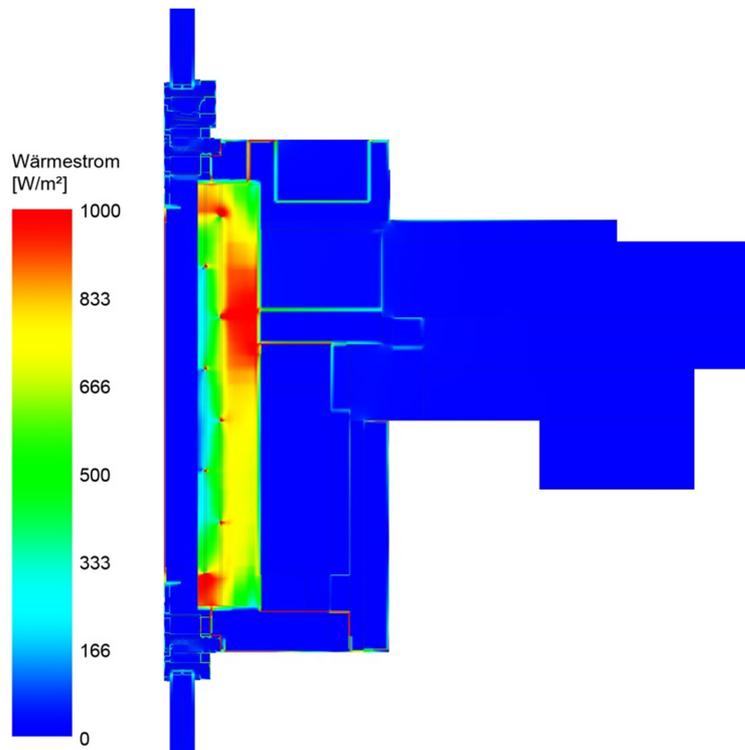
**Tab. 17 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Berechnungsvariante 3**

Bei Betrachtung der Vorsatzschalenvarianten zeigt sich in Berechnungsvariante 3, wie auch in Variante 2, dass die Metallvorsatzschale zu höherem Wärmetransport über die innere Vorsatzschale zum Brüstungsträger führt und so die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizient der thermischen Trennung in der Variante mit Metallvorsatzschale höher ausfallen als mit Holzvorsatzschale.

Durch die thermische Trennung erhöhen sich auch die Wärmeströme sowohl in den äußeren als auch in den innen liegenden Metallblechen, wie Abb. 33 und Abb. 34 zeigen. Im Detail mit opakem Element erfolgt ein erhöhter Wärmestrom vor allem über die Bleche im Bereich der Stahlbetondecke, im Detail mit Türelement vor allem über die Metallbleche und Aluminiumrahmenprofilen in den Leibungen.



**Abb. 33 Wärmestrom im Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Anschluss an opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung**



**Abb. 34 Wärmestrom im Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Anschluss an Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung**

#### 5.4.1.4 Variantenvergleich

In den zweidimensionalen Betrachtungen des Brüstungsträgers ohne thermische Trennungen stellt sich der Großteil der Wärmeströme von innen über die diversen Metallbleche zu den Aluminiumprofilen der raumbildenden Elemente und weiter nach außen ein. In den dreidimensionalen Berechnungen mit thermischen Trennungen wird die Dämmschicht des Brüstungsträgers durch die thermischen Trennungen unterbrochen und es erfolgt der Großteil des Wärmestroms direkt über die thermischen Trennungen. Ein Vergleich der Abweichungen zwischen den zweidimensionalen Ergebnissen zum Wärmeverlust über den Brüstungsträger und den dreidimensionalen Ergebnissen zum zusätzlichen Wärmeverlust über die thermischen Trennungen ist nicht möglich, da es sich um zwei orthogonal zu einander stehenden Bauelementen handelt und die Effekte des Brüstungsträgers in den Berechnungen zu den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung berücksichtigt werden.

Vorsatzschale	Bezeichnung	Variante 1		Variante 2		Variante 3
		$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Abw. zu Var. 3	$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Abw. zu Var. 3	$\psi$ -Wert [W/(mK)]
Metall	$\psi_{ThTr}$	0,1100	29,6%			
	$\psi_{ThTr\_OP}$			0,1088	3,5%	<b>0,1051</b>
	$\psi_{ThTr\_TÜR}$			0,2046	-1,3%	<b>0,2072</b>
Holz	$\psi_{ThTr}$	0,1124	23,8%			
	$\psi_{ThTr\_OP}$			0,1074	4,0%	<b>0,1033</b>
	$\psi_{ThTr\_TÜR}$			0,1916	0,0%	<b>0,1916</b>

**Tab. 18 längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Vergleich der Berechnungsmethoden**

Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennungen ergeben sich durch den Abzug des jeweiligen thermischen Leitwertes aus den zweidimensionalen Berechnungen ohne thermischer Trennung (multipliziert mit der modellierten Breite von 250 mm) vom jeweiligen thermischen Leitwert aus den dreidimensionalen Berechnungen mit thermischer Trennung dividiert durch die zugehörige Länge. Dieser Umstand führt dazu, dass die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Details mit Anschluss an das opake Element in Variante 2 (unterteilter Träger) höher ausfallen als in Variante 3 (gesamter Träger) (siehe Tab. 18).

Im Detail mit Türanschluss wird der Wärmestrom durch die Unterteilung des Trägers, im Vergleich zur Modellierung mit gesamten Träger geringer beeinflusst als im Detail mit opaken Element, womit sich eine kleinere Abweichungen zwischen der Variante 2 und

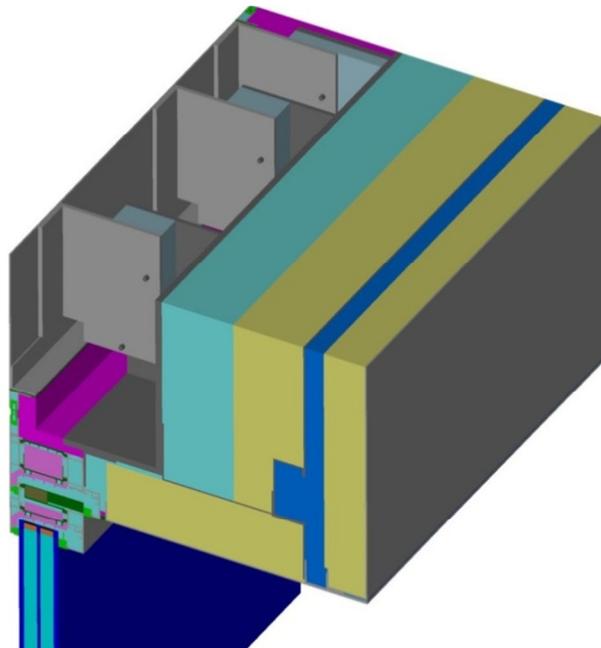
---

Variante 3 einstellen. Dies geht so weit, dass im Detail mit Holzvorsatzschale aufgrund des Zusammenspiels der einzelnen Komponenten in beiden Berechnungsvarianten die gleichen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten erreicht werden.

Mit Abweichungen von bis zu ca. 30 % ist Variante 1 und bis zu 4 % bei Variante 2 sind die Vereinfachungen, sowohl für die Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten als auch für die Betrachtung kritischer Oberflächentemperaturen der Vorhangfassade, nicht geeignet.

#### 5.4.2 $\psi$ -Wert Ermittlungen – vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern

Der rechte und linke Rand des Brüstungsträgers ist ebenfalls als thermische Trennung ausgeführt. An den Rändern weist der Polyamidquader aber eine geringere Dicke auf und führt bis zur Ober- und Unterkante des Trägers. Die Modellierung erfolgt mit einer Breite von 527 mm, was zwei thermische Trennungen inkludiert. Dadurch werden auch eventuelle Wechselwirkungen zwischen Brüstungsträgerrand und den benachbarten thermischen Trennungen berücksichtigt. (siehe Abb. 35). In der Mitte der Fuge zwischen den Brüstungsträgern befindet sich eine Symmetrieebene, dadurch kann die Elementanzahl halbiert werden, erreicht jedoch trotzdem bis zu 24 Mio..



**Abb. 35 Modellierung der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern mit innerer Vorsatzschale aus Metall zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Steinwollendämmung im Brüstungsträger ausgeblendet)**

Trotz der Ergebnisse aus Kapitel 5.3.3 und 5.4.1, die eine vereinfachte Berechnung der Komponenten mit Unterteilung des Brüstungsträgers ausschließen, werden an dieser Stelle zusätzlich auch die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten nach Berechnungsvariante 2, analog zu 5.4.1, mit Randanschluss am unterteilten Brüstungsträger berechnet. Dadurch können in späterer Folge auch die Auswirkungen der unterschiedlichen Modellierungen auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade benannt werden. Da die Berechnungsvariante 1, Betrachtung ohne Randeinflüsse, in die Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade nicht eingeht, wird von einer Betrachtung abgesehen.

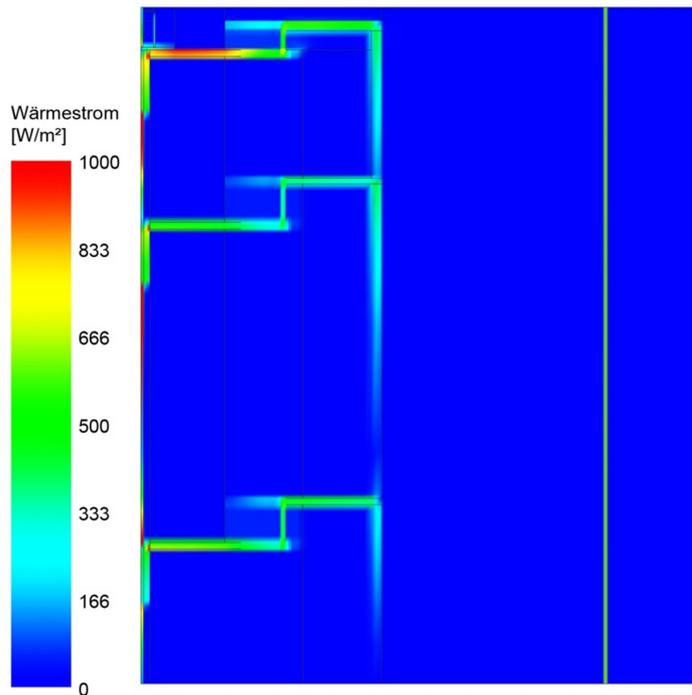
In der Ebene der vertikalen Fuge des Brüstungsträgers befindet sich gleichzeitig die vertikale Fuge der raumabschließenden Elemente. Die an dieser Stelle liegenden Rahmenecken der Aluminiumprofile können nicht mit angemessenem Aufwand modelliert werden. Es wird das jeweilige raumbildende Element durchlaufend modelliert, wodurch ein geringfügiger Fehler auftritt, dessen Größe nicht näher benannt werden kann.

#### **5.4.2.1 Variante 2 – Berechnung mit oberen und unteren Randanschlüssen**

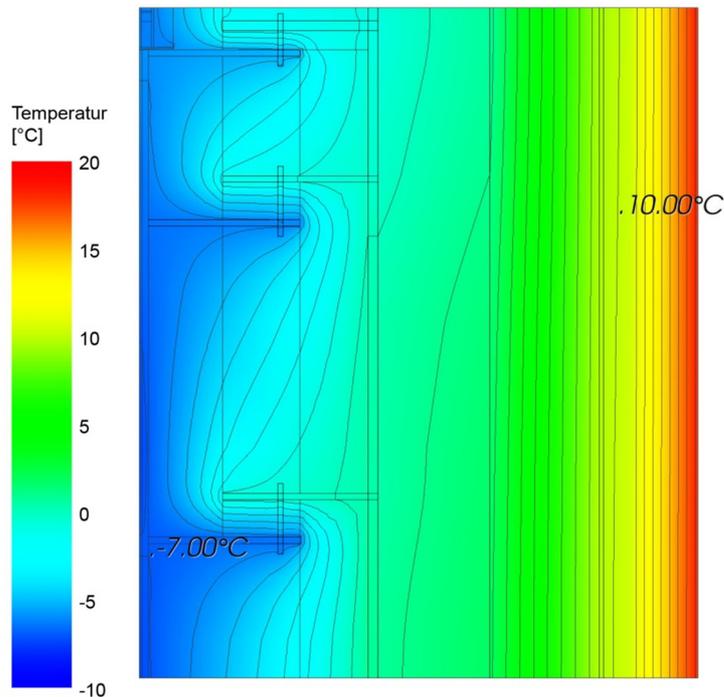
Da es sich bei den seitlichen Randanschlüssen der Brüstungsträger um thermische Trennungen handelt, verhalten sich die Ergebnisse der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge gleich, wie die Ergebnisse der thermischen Trennung (siehe Tab. 19). So fallen die, nach Längen gewichteten, längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten im Anschluss mit opakem Element geringer aus, als im Anschluss mit Türelement und die Metallvorsatzschale erzeugt in beiden Varianten der raumbildenden Elemente höhere Wärmeverluste, als die Holzvorsatzschale. Die Werte fallen jedoch aufgrund des dünneren Polyamidquaders und der Tatsache, dass in diesen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten je ein Randabschluss der beiden Brüstungsträger, also zwei Stück der thermischen Trennung, eingeht, wesentlich höher aus, als die in Punkt 5.4.1.2 berechneten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennungen in Brüstungsträgermitte (vgl. Tab. 16).

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Sturzdetaill		Schwellendetaill		Gewichtet nach Länge	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\Psi_{TR-TR\_OP}$	0,0772	0,0904	0,1676	0,1590	<b>0,1430</b>	<b>0,1403</b>
$\Psi_{TR-TR\_TÜR}$	0,3360	0,2448	0,3052	0,3004	<b>0,3136</b>	<b>0,2853</b>

**Tab. 19 längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern - Berechnungsvariante 2**



**Abb. 36** Wärmestrom im Anschluss zwischen zwei Brüstungsträgern, mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Horizontalschnitt durch innere Schraube der thermischen Trennung im Bereich des unteren Schachtes (Berechnungsvariante 3)



**Abb. 37** Isothermenverlauf im Anschluss zwischen zwei Brüstungsträgern, mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Horizontalschnitt durch innere Schraube der thermischen Trennung im Bereich des unteren Schachtes (Berechnungsvariante 3)

#### 5.4.2.2 Variante 3 – Berechnung mit gesamtem Träger

Auch die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fugen zwischen zwei Brüstungsträgern bei Betrachtung mittels gesamten Trägers, verhalten sich gleich, wie die Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung (siehe Tab. 20). Durch die Leibungsgeometrie im Detail mit Türelement kann, im Gegensatz zum Detail mit opakem Element, vermehrt Wärme über die Leibung an die thermischen Trennungen abgegeben werden. Dadurch ergeben sich für die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten in den Details mit Türelement wesentlich höher Werte, als in den Details mit opakem Element. Die Ergebnisse fallen auch hier in den Details mit Metallvorsatzschale durch die größeren Wärmeeinträge durch die Metallblechen höher aus, als in den Details mit Holzvorsatzschale.

$\psi$ -Wert [W/(mK)]	$\chi$ -Wert [W/K]		$\psi$ -Wert [W/(mK)]	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\Psi_{TR-TR\_TR-ges\_OP}$	0,1196	0,1170	<b>0,1428</b>	<b>0,1396</b>
$\Psi_{TR-TR\_TR-ges\_TÜR}$	0,2670	0,2398	<b>0,3186</b>	<b>0,2862</b>

Tab. 20 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern - Berechnungsvariante 3

#### 5.4.2.3 Variantenvergleich

Die Abweichungen zwischen Variante 2 und Variante 3 der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern verhalten sich ähnlich wie die Abweichungen in den Berechnungsvarianten der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennungen (siehe Tab. 21).

Vorsatzschale	Bezeichnung	Variante 2		Variante 3
		$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Abw. zu Var. 3	$\psi$ -Wert [W/(mK)]
Metall	$\Psi_{TR-TR\_OP}$	0,1430	0,1%	<b>0,1428</b>
	$\Psi_{TR-TR\_TÜR}$	0,3136	-1,6%	<b>0,3186</b>
Holz	$\Psi_{TR-TR\_OP}$	0,1403	0,5%	<b>0,1396</b>
	$\Psi_{TR-TR\_TÜR}$	0,2853	-0,3%	<b>0,2862</b>

Tab. 21 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern - Vergleich der Berechnungsmethoden

Jedoch fallen die Abweichungen zwischen den Berechnungsmethoden in den Details mit opakem Element an der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern geringer aus als an einer

thermischen Trennung. Dies ist auf die Modellierung zurückzuführen, wo neben der Fuge zwei thermische Trennungen inkludiert sind. In der Berechnung sind durch den Abzug der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennungen Wärmestromveränderungen im Brüstungsträger bereits teilweise berücksichtigt und schlagen sich dadurch in einem geringeren Ausmaß in den Werten der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern nieder. Im Vergleich zum Detail mit opakem Element fallen die Unterschiede im Detail mit Türelement zwischen den Abweichungen der Berechnungsmethoden der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und den Abweichungen der Berechnungsmethode der thermischen Trennungen marginal aus, was wie bereits beschrieben aufgrund der Komponentenanzahl und den daraus resultierenden geringen Wärmeströme im Bereich der Schnittführung zurückzuführen ist.

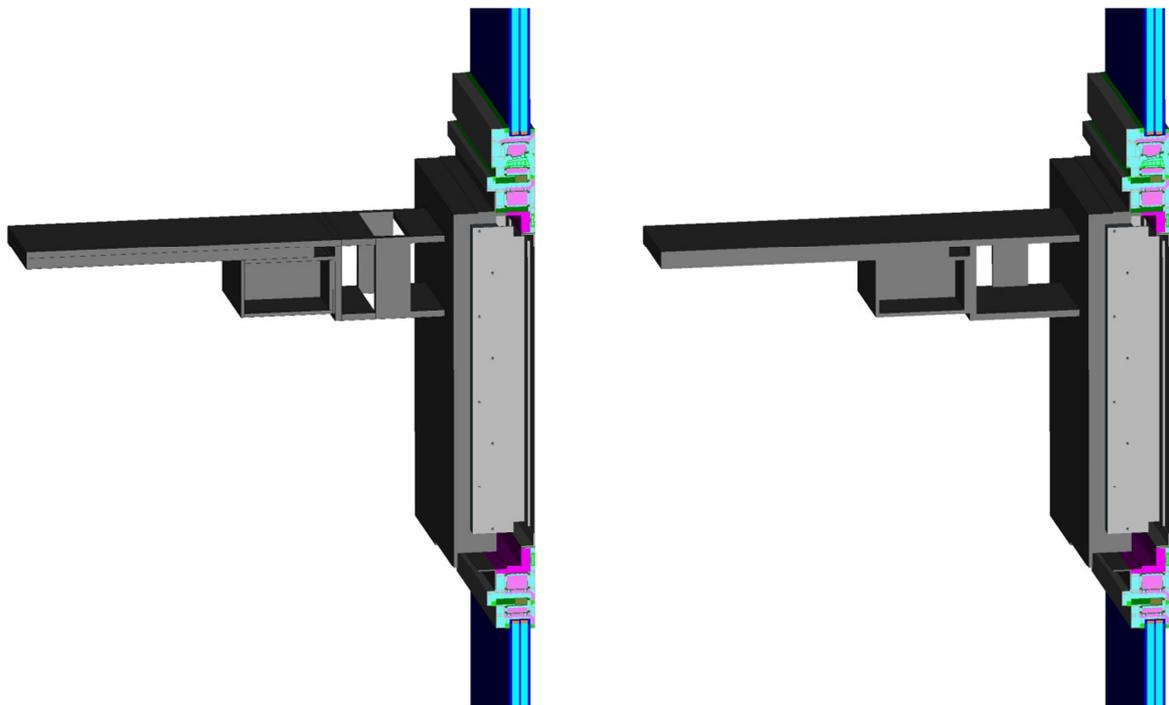
Vorsatzschale	Bezeichnung	Thermische Trennung	Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern	
		$\psi$ -Wert [W/(mK)]	$\psi$ -Wert [W/(mK)]	Abw. Zu th. Tr.
Metall	$\Psi_{TR-TR\_OP}$	0,1051	<b>0,1428</b>	35,9%
	$\Psi_{TR-TR\_TÜR}$	0,2072	<b>0,3186</b>	53,8%
Holz	$\Psi_{TR-TR\_OP}$	0,1033	<b>0,1396</b>	35,1%
	$\Psi_{TR-TR\_TÜR}$	0,1916	<b>0,2862</b>	49,4%

**Tab. 22 Vergleich der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung und der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern – Berechnungsvariante 3**

Der seitliche Brüstungsträgerabschluss ist als thermische Trennung mit dünnerem Polyamidblock ausgeführt, wobei der innere Stahlsteg durch die 8 mm Stahlwanne gebildet wird. Da zwei dieser thermischen Trennungen in die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Fuge eingehen, sollten diese Werte wesentlich höher ausfallen als die Werte der thermischen Trennung in Brüstungsträgermitte. Tatsächlich werden aber nur Abweichungen von maximal ca. 54 % erreicht (siehe Tab. 22). Dies ist auf den, im Vergleich zur thermischen Trennung im Trägerinnenbereich (Abstand 250 mm), geringeren Abstand zur nächsten thermischen Trennung zurückzuführen, womit eine kleinere innere und äußere Metalloberfläche für den Brüstungsträgerrand zur Verfügung steht, welche durch die hohe Wärmeleitfähigkeit als Kühlrippen wirken (siehe Abb. 36 und Abb. 37). Dadurch können sich am Brüstungsträgerrand verhältnismäßig nicht so hohe Wärmeströme ausbilden wie in den thermischen Trennungen in Trägermitte.

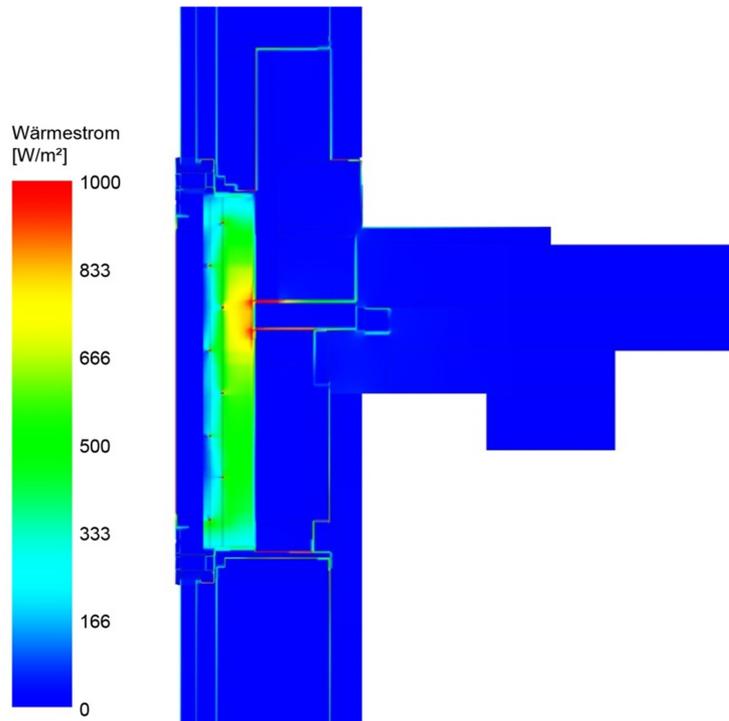
### 5.4.3 $\chi$ -Wert Ermittlungen – Konsolen

Jeder Brüstungsträger leitet Belastungen über drei Konsolen, zwei symmetrisch angebrachte Randkonsolen und eine Mittenkonsole, in die Stahlbetondecke ein. An den beiden Randkonsolen werden seitlich die vertikalen Schächte vorbeigeführt. Bei der mittleren Konsole wird der Schacht hindurchgeführt, was zu einer Unterbrechung des oberen und unteren Flansches führt (siehe Abb. 38). Um die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten zu berechnen, wird ein Ausschnitt des Brüstungsträgers mit thermischen Trennungen, bzw. bei der Randkonsole mit Randabschluss, modelliert. Wie bereits bei den Ausführungen zur vertikalen Fuge zwischen den Brüstungsträgern erläutert, ist es nicht möglich mit angemessenem Aufwand den sich über den Konsolen befindenden Übergang zwischen zwei raumbildenden Elementen mit den dazugehörigen Eckausbildungen zu modellieren. Daher wird ein jeweils durchlaufender Sturz- bzw. Schwellenanschluss angesetzt.

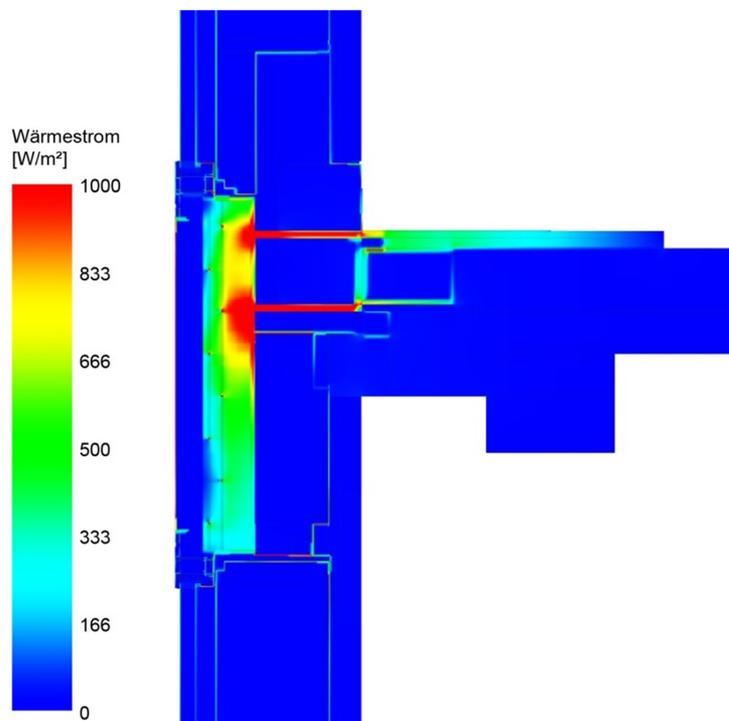


**Abb. 38 Modellierung der Konsolen; links Mittenkonsole, rechts Randkonsole (Steinwolledämmung im Brüstungsträger, innere Schächte, Einbauten und Stahlbetondecke ausgeblendet)**

Aufgrund des geringen Anteils der Konsolen am Gesamtwärmedurchgangswiderstand der Fassade wird an dieser Stelle auf eine Untersuchung von verschiedenen Berechnungsvarianten abgesehen und die Konsole mit gesamtem Brüstungsträger modelliert.



**Abb. 39 Wärmestrom im Brüstungsträger (inkl. Fuge zwischen zwei Trägern) mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Vertikalschnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung ohne Randkonsole**



**Abb. 40 Wärmestrom im Brüstungsträger (inkl. Fuge zwischen zwei Trägern) mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Vertikalschnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung mit Randkonsole**

Die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Konsolen sind im Vergleich zu den übrigen berechneten Werten sehr gering (siehe Tab. 23). Zwischen den Ergebnissen der Konsolen selbst zeigen sich größere Abweichungen zwischen den Varianten mit unterschiedlichen raumbildenden Elementen und geringfügige Abweichungen zwischen den Vorsatzschalenvarianten, obwohl die Konsolen in einen Bereich eingreifen, wo weder Vorsatzschale noch raumbildendes Element situiert sind.

Die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten sind in Details mit opakem Anschlusselement ( $\chi_{\text{Konsole\_OP}}$ ) höher als bei einem Detail mit Türelement ( $\chi_{\text{Konsole\_TÜR}}$ ) da hier über die fehlenden Leibungen weniger Wärme in die Brüstungsträgerkonstruktion fließen kann. Dadurch nimmt die Konsole einen größeren Anteil an der eingebrachten Wärmeenergie ein.

In den Details mit opakem Elementanschluss ist auch der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Konsole in den Varianten mit Metallvorsatzschale geringfügig höher als in den Varianten mit Holzvorsatzschale. Das ist auf den höheren Wärmedurchgangswiderstand der Vorsatzschale aus Metall zurückzuführen, welcher unter anderem rechnerisch für einen höheren punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten sorgt. Im Gegensatz dazu ist im Detail mit Türanschluss der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Konsole in der Variante mit Holzvorsatzschale höher als mit Metallvorsatzschale. Hier führt die geringere Querleitung der Holzverblendung in der Variante mit Holzvorsatzschale im Leibungsbereich zu einem größeren Einfluss der Konsole am Wärmestrom vom Raum zum Brüstungsträger, als in der Variante mit Metallvorsatzschale.

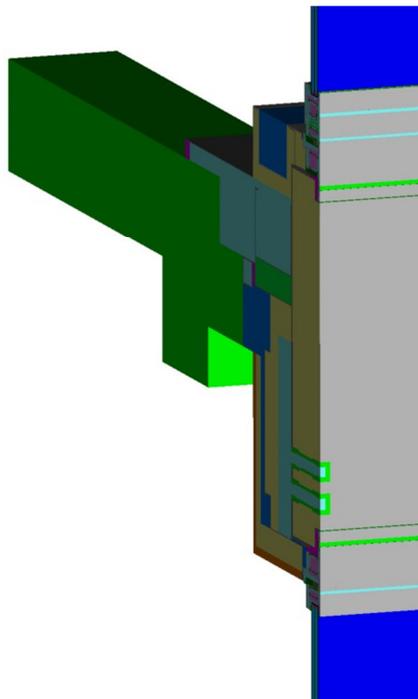
Bereich	$\chi$ -Wert [W/K]	$\chi$ -Wert		gemittelte Werte	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
Mittenkonsole	$\chi_{\text{Konsole\_OP\_Mitte}}$	0,1084	0,1082	<b>0,0724</b>	<b>0,0743</b>
	$\chi_{\text{Konsole\_TÜR\_Mitte}}$	0,0364	0,0404		
Randkonsole	$\chi_{\text{Konsole\_OP\_Rand}}$	0,1755	0,1736	<b>0,1250</b>	<b>0,1273</b>
	$\chi_{\text{Konsole\_TÜR\_Rand}}$	0,0745	0,0810		

Tab. 23 Punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der Konsolen

---

#### 5.4.4 $\chi$ -Wert Ermittlungen – Rohrdurchführungen

Die Rohrdurchführungen werden im Zustand ohne Funktion, also luftgefüllt, angenommen. Die Detailmodellierung erfolgt mit gesamtem Brüstungsträger, inkl. thermischer Trennungen. Eventuell auftretende Wechselwirkungen mit den Konsolen werden vernachlässigt. Aufgrund von Symmetriebedingungen werden die Rohrdurchführungen halbiert modelliert (siehe Abb. 41). Im Prototyp sind entweder ein Rohr oder zwei übereinanderliegende Rohre angeordnet. Es werden Berechnungen zu beiden Varianten durchgeführt, um eine eventuelle gegenseitige Beeinflussung zu eruieren. Aufgrund des geringen Einflusses am Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten wird auch an dieser Stelle auf eine Untersuchung unterschiedlicher Berechnungsvarianten, mit Unterteilung des Brüstungsträgers, verzichtet.



**Abb. 41 Modellierung der halben Rohrdurchführungen im Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Holz**

Die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Rohre fallen gering aus, wodurch mit keiner maßgeblichen Beeinflussung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten zu rechnen ist (siehe Tab. 24). Eine Wechselwirkung zwischen den Rohren kann nicht festgestellt werden, was auf die niedrige Wärmeleitfähigkeit der, zwischen den Rohren liegenden, Steinwolle-Dämmung und dem Wärmestrom in Rohrrichtung zurückzuführen ist. Die Abweichungen zwischen erstem und zweitem Rohr werden durch Rundungsfehler,

aufgrund der geringen Anzahl signifikanter Stellen, verstärkt durch die symmetrische Modellierung (Berechnungsergebnis wird verdoppelt), verursacht. Auf eine genauere Berechnung wird aufgrund des geringen Einflusses auf den Gesamtwärmedurchgangs-koeffizienten verzichtet.

$\chi$ -Wert [W/(mK)]	1. Rohr		2. Rohr		gemittelte Werte	
	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
$\chi_{\text{Rohr\_OP}}$	0,0008	0,0006	0,0006	0,0008	<b>0,0007</b>	<b>0,0007</b>
$\chi_{\text{Rohr\_TÜR}}$	0,0018	0,0016	0,0014	0,0012	<b>0,0016</b>	<b>0,0014</b>

Tab. 24 punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der Rohrdurchführungen

Durch die Rohrdurchführung werden das innere Stahlblech und das äußere Aluminiumblech unterbrochen, was eine Reduktion des Wärmestromes in diesem Bereich von und zur thermischen Trennung des Brüstungsträgers bewirkt und mitverantwortlich für die niedrigen punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Rohrdurchführung ist (siehe Abb. 42).

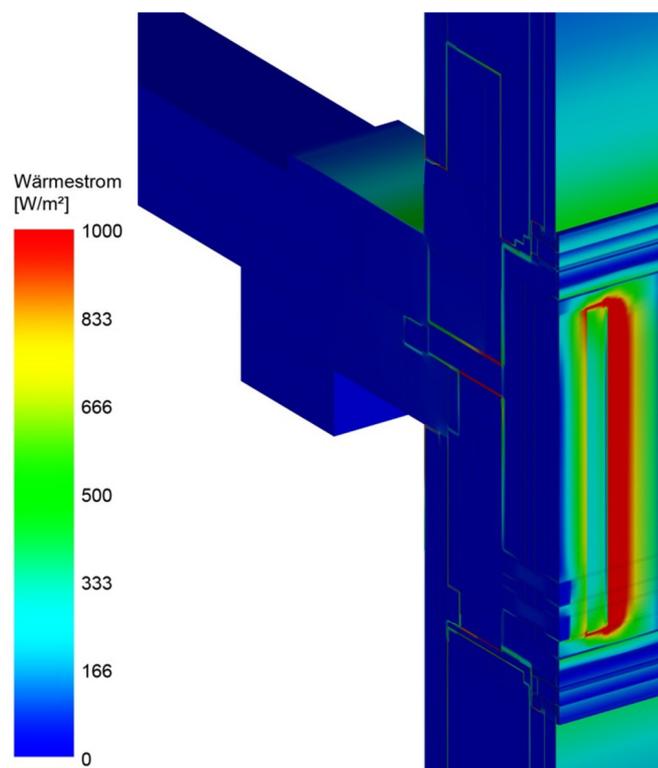


Abb. 42 Wärmestrom im Brüstungsträger inkl. thermischer Trennung mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Axonometrie mit Vertikalschnitt durch Rohr



## 5.5 Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Fassade

Insgesamt werden vier Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten, für je zwei unterschiedliche Vorsatzschalen und je zwei Berechnungsmethoden, wie in Punkt 5.1 beschrieben nach Form. 3 berechnet. In Tab. 25 ist die tabellarische Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade mit innerer Vorsatzschale aus Metall, berechnet mittels unterteiltem Brüstungsträger, exemplarisch angegeben. Die gesammelten Berechnungen liegen im Anhang V bei.

Bei Anwendung der Berechnungsmethode mit unterteiltem Brüstungsträger wird der Träger selbst mit einem flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $U_{TR}$ ) und den dazugehörigen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für die Sturz- ( $\psi_{Sturz}$ ) und Schwellenanschlüsse ( $\psi_{Schwelle}$ ) an die jeweiligen raumbildenden Elemente berücksichtigt. Die, aus den Sturz- und Schwellendetails ermittelten, längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen den Brüstungsträgern und die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennungen werden mit nach Längen gewichtetem Anteil im Gesamtwärmedurchgangskoeffizient berücksichtigt. Da in der Berechnungsmethode mit gesamtem Brüstungsträger jeweils der gesamte Träger modelliert wird, ist keine Gewichtung der Ergebnisse notwendig.

In beiden Berechnungsmethoden werden die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fugen zwischen den Brüstungsträgern nur zu 50 % berücksichtigt. Dies ist erforderlich, da der thermische Betrachtungsbereich der Fassade, aufgrund des geringeren Modellierungsaufwandes, kleiner angesetzt wurde, als zur gesamtheitlichen Betrachtung nötig wäre und somit die Fuge zwischen den Brüstungsträgern nur in jedem zweiten thermischen Abschnitt vorkommt. Aus demselben Grund gehen die Randkonsolen, mit Anschluss an die jeweiligen raumbildenden Elementen, jeweils zu 50 % und die Mittenkonsolen jeweils zu 25% in die Berechnung ein. Aufgrund der Multiplizierbarkeit der Resultate ergibt sich dadurch keine Qualitätsminderung der Ergebnisse.

In beide Betrachtungsmethoden wird ein gemittelter Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Fassade von  $0,99 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreicht (siehe Tab. 26). Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient in den Varianten mit Holzvorsatzschale fällt in beiden Berechnungsmethoden gleich aus. Geringfügige Unterschiede ergeben sich nur in den Varianten mit Metallvorsatzschale, wo in der Betrachtungsweise mit gesamtem Brüstungsträger Wärmeströme im Bereich der Schnitfführung mitberücksichtigt werden.

flächenbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	U [W/(m²K)]	La [mm]	Lb [mm]	Fläche [m²]	Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
opakes Element	0,122	625	3162	1,976	0,2411	4,8%	
Tür (Glas)	0,745	625	3162	1,976	1,4721	29,3%	
Träger	0,148	1250	838	1,048	0,1551	3,1%	
<b>Zwischensumme</b>	<b>(mittl. U-Wert: 0,374)</b>			<b>5,000</b>	<b>1,8683</b>	<b>37,2%</b>	

linienbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	$\Psi_{2D}$ [W/(mK)]	$L_{w2D}$ [mm]	Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>vertikale Fugen</b>							
$\Psi_{OP-TÜR}$	0,3322	2169	1		0,7205	14,3%	
$\Psi_{OP-OL}$	0,3316	993	1		0,3293	6,5%	
$\Psi_{TR-TR}$	0,2283	838	0,5		0,0957	1,9%	$\Psi_{HS\_TR\_TR-OP\_Sturz}$ ; $\Psi_{HS\_TR\_OP-TR\_Schwelle}$ $\Psi_{HS\_TR\_TR-OL\_Sturz}$ ; $\Psi_{HS\_TR\_TÜR-TR\_Schwelle}$ nach Länge gewichtet (228/610)
<b>horizontale Fugen</b>							
$\Psi_{Kämpfer}$	0,1219	625	1		0,0762	1,5%	
$\Psi_{TR-OP\_Sturz}$	0,1170	625	1		0,0731	1,5%	
$\Psi_{OP-TR\_Schwelle}$	0,2626	625	1		0,1641	3,3%	
$\Psi_{TR-OL\_Sturz}$	0,1310	625	1		0,0819	1,6%	
$\Psi_{TÜR-TR\_Schwelle}$	0,2207	625	1		0,1379	2,7%	
<b>therm. Trennung</b>							
$\Psi_{ThTr\_OP}$	0,1088	838	5		0,4559	9,1%	$\Psi_{ThTr\_TR-OP\_Sturz}$ ; $\Psi_{ThTr\_OP-TR\_Schwelle}$ nach Länge gewichtet (228/610)
$\Psi_{ThTr\_TÜR}$	0,2046	838	5		0,8573	17,0%	$\Psi_{ThTr\_TR-OL\_Sturz}$ ; $\Psi_{ThTr\_TÜR-TR\_Schwelle}$ nach Länge gewichtet (228/610)
<b>Zwischensumme</b>					<b>2,9919</b>	<b>59,5%</b>	

punktbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	$\chi$ -Wert [W/K]		Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>Konsolen</b>							
$\chi_{Konsole\_OP\_Mitte}$	0,1084		0,25		0,0271	0,5%	
$\chi_{Konsole\_TÜR\_Mitte}$	0,0364		0,25		0,0091	0,2%	
$\chi_{Konsole\_OP\_Rand}$	0,1755		0,5		0,0878	1,7%	
$\chi_{Konsole\_TÜR\_Rand}$	0,0745		0,5		0,0373	0,7%	
<b>Rohrdurchführungen</b>							
$\chi_{Rohr\_TR-ges\_OP}$	0,0007		3		0,0021	0,0%	$\chi_{Rohr1\_Tr\_ges\_OP}$ ; $\chi_{Rohr2\_Tr\_ges\_OP}$ Mittelwert
$\chi_{Rohr\_TR-ges\_Tür}$	0,0016		3		0,0048	0,1%	$\chi_{Rohr1\_Tr\_ges\_Tür}$ ; $\chi_{Rohr2\_Tr\_ges\_Tür}$ Mittelwert
<b>Zwischensumme</b>					<b>0,1682</b>	<b>3,3%</b>	

<b>Gesamtsumme</b>			5,00 [m²]		5,0284 [W/K]		
<b>mittlerer <math>U_{cw, iVSM}</math>-Wert der Fassade</b>					1,006 [W/m²K]		

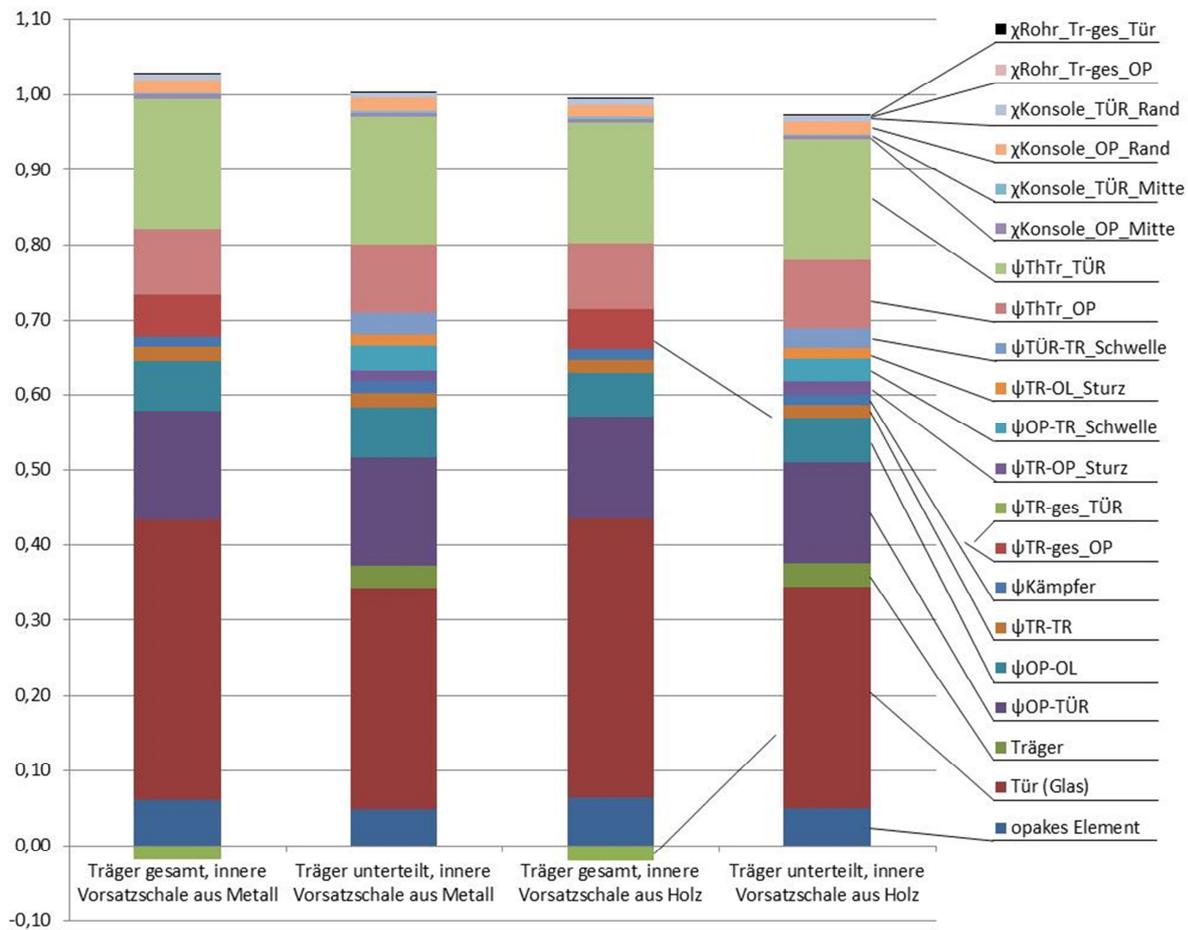
**Tab. 25 Berechnung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten mit unterteiltem Träger und innerer Vorsatzschale aus Metall**

Berechnungsmethode	U <sub>CW</sub> -Wert	[W/(m <sup>2</sup> K)]	gemittelte Werte
Unterteilter Brüstungsträger	U <sub>CW, iVSM</sub>	1,006	<b>0,991</b>
	U <sub>CW, iVSH</sub>	0,975	
Gesamter Brüstungsträger	U <sub>CW, iVSM</sub>	1,010	<b>0,993</b>
	U <sub>CW, iVSH</sub>	0,975	

**Tab. 26 Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade**

Die Abweichungen in den Berechnungen zu den einzelnen Bauteilen heben sich in der Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten nahezu vollständig auf. Dies lässt sich dadurch begründen, dass eine Unterteilung eines Bauteils prinzipiell dann möglich ist, wenn in diesem Bereich ein Wärmestrom entlang der Schnittebene vorliegt. Dies ist keinesfalls in den zweidimensionalen Betrachtungen des Brüstungsträgers der Fall, wo z.B. im Detail mit opakem Element entlang der Stahlwanne hohe Wärmeströme orthogonal zur Schnittebene auftreten. Durch die thermischen Trennungen, die Wärmeströme orthogonal zur Fassadenebene – also in Schnittebene – ermöglichen, tritt ebendiese Bedingung von Wärmeströmen entlang der adiabaten Schnittebene ein und eine Unterteilung des Trägers wird theoretisch möglich. Durch die Betrachtungsmethode, bei der in die Berechnung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten einzelner Bauteile (z.B. der thermischen Trennung) die Effekte der zweidimensionalen Wärmeströme durch Subtraktion der Ergebnisse berücksichtigt sind, wird in der Kalkulation des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten so kein Fehler verursacht. Bei Unterteilung des Brüstungsträgers bleibt trotz des richtigen Gesamtergebnisses die Falschinterpretation von Einzelbauteilen problematisch, vor allem im Hinblick auf kritische Oberflächentemperaturen.

In den Berechnungen findet, je nach Betrachtungsweise, über die Flächenbauteile ca. 40 % des Wärmeverlustes statt (siehe Abb. 44). Das heißt wiederum, dass mindestens 60 % des Wärmestroms über Wärmebrücken erfolgt. Davon fällt der größte Teil, mit bis zu 26 %, auf die thermischen Trennungen im Brüstungsträger aus. Hier nicht inbegriffen sind die Randabschlüsse an den rechten und linken Seiten der Brüstungsträger, die ebenfalls als thermische Trennungen ausgeführt sind und in die Werte der vertikalen Fugen eingehen. Der Wärmeverlust über die thermischen Trennungen fällt im Anschlussbereich des Türelements aufgrund der Wärmeleitung über die Leibung wesentlich höher aus als im Anschlussbereich des opaken Elements (siehe Abb. 43).

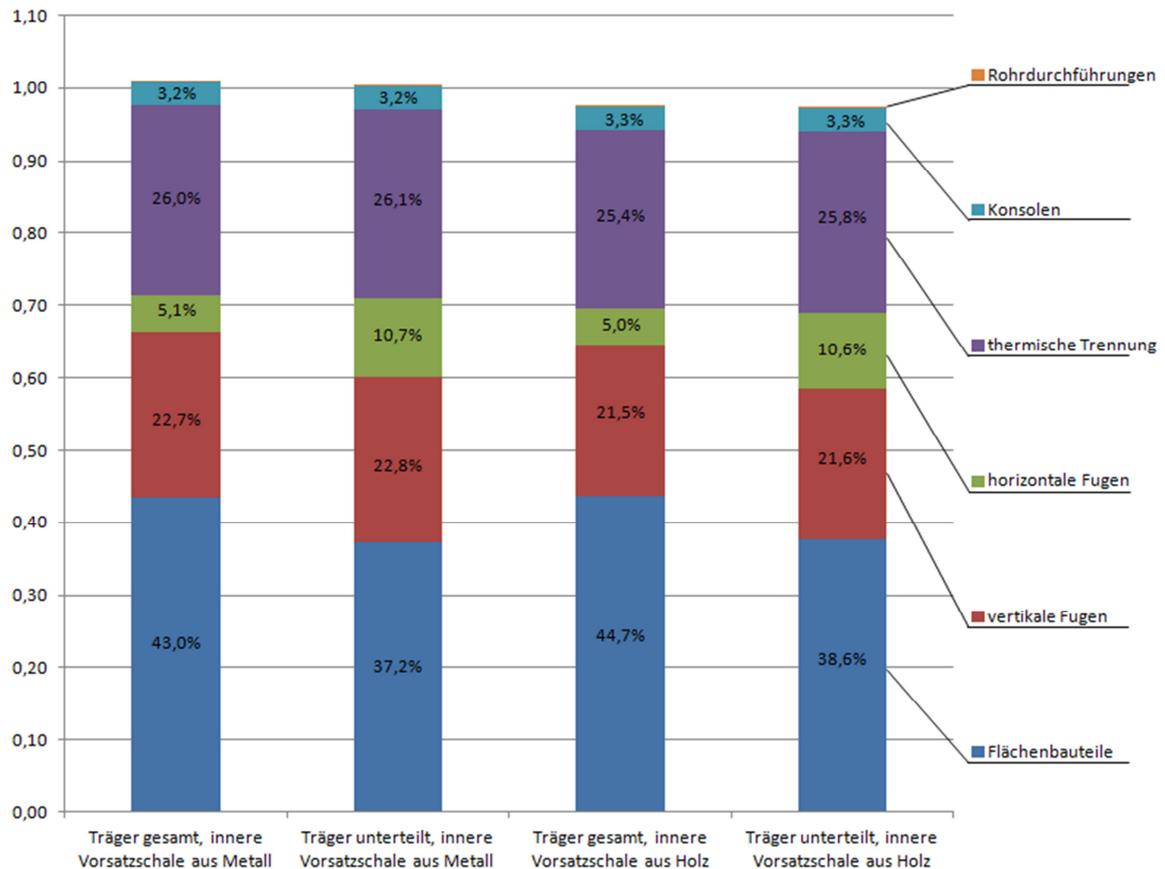


**Abb. 43 Anteile an den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten nach Bauteilen**

Die vertikalen Fugen nehmen ca. 20% des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade ein. Dabei spielen aufgrund der Länge der vertikalen Fugen zwischen opakem Element und Türelement einerseits die Aluminiumprofilzusammensetzung und andererseits die geringe Dämmung der seitlichen Leibung im Türelement die größte Rolle.

Die in Abb. 44 und Abb. 45 dargestellten 5,1 % bzw. 5,0% des Anteils der horizontalen Fugen setzen sich aus dem positiven Anteil des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers mit Anschluss an das opake Element (ca. 5,5 %) sowie dem Anteil des Kämpfers (ca. 1,5 %) und dem negativen Anteil des Brüstungsträgers mit Anschluss an das Türelement (ca. -2 %) zusammen und müssen in diesem Kontext betrachtet werden.

Mit etwas über 3 % haben die Konsolen insgesamt nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtwärmeverlust. Die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Rohrdurchführungen sind mit einem Anteil von 0,1 % am Gesamtwärmedurchgangskoeffizient vernachlässigbar gering.

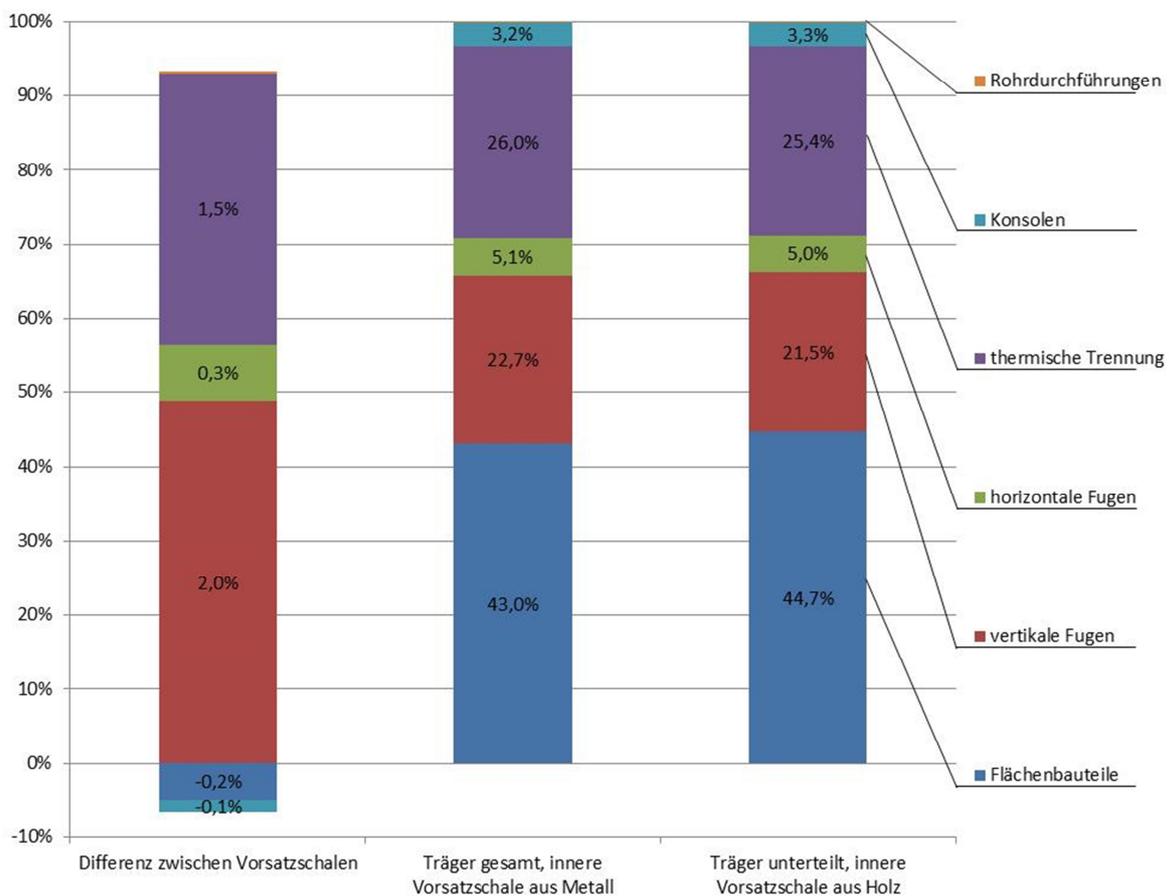


**Abb. 44** Anteile an den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten nach Bauteilgruppen

Die Differenzen der Wärmedurchgangskoeffizienten zwischen den beiden Vorsatzschalenvarianten belaufen sich bei beiden Berechnungsmethoden auf ca. 3,5 %, wobei sich in den Details mit innerer Metallvorsatzschale höhere Werte einstellen. Dies ist auf die starken Wärmeleitungseinflüsse der Metallbleche in der inneren Vorsatzschale, vor allem in den Leibungsbereichen des Türelements, zurückzuführen. So zeigt sich in der Betrachtung der einzelnen Bauteilgruppen, bei den Differenzen zwischen den Vorsatzschalenvarianten, der größte prozentuelle Unterschied (ca. 2 %) in den vertikalen Fugen, die von der Länge des Anschlusses des opaken Elements zum Türelement dominiert werden (siehe Abb. 45).

Der zweitgrößte Anteil (ca. 1,5 %) geht von der Differenz der thermischen Trennung zwischen den Vorsatzschalenvarianten aus, wobei auch hier aufgrund der Wärmeleitfähigkeit der Bleche in der Metallvorsatzschale ein größerer Wärmestrom zur thermischen Trennung, vor allem im Sturzbereich des Türelements, erfolgen kann.

Die horizontalen Fugen erreichen aufgrund ihrer geringen Länge nur eine Abweichung von 0,3 %. Die Konsolen verursachen in der Variante mit Holzvorsatzschale marginal höhere Wärmeströme als in der Variante mit Metallvorsatzschale, da der zusätzliche Wärmeeintrag durch die Konsolen vom Innenraum, durch die geringere Querleitung der Holzvorsatzschale im Vergleich zur Metallvorsatzschale, in diesem Bereich verhältnismäßig größer ausfällt.



**Abb. 45 Prozentuale Differenz zwischen den Vorsatzschalenvarianten**

## 6 Untersuchung der Oberflächentemperaturen und Oberflächenluftfeuchtigkeit

### 6.1 Methode

Zur Beurteilung kritischer Oberflächenfeuchten bzw. von Tauwasser- und Schimmelpilzbildung an den Innenoberflächen der Fassade werden die raumseitigen Oberflächentemperaturen und in weiterer Folge deren Temperaturfaktoren mittels AnTherm ermittelt, wobei die Grundlage hierfür die ÖNORM EN ISO 10211 bzw. die EN ISO 13788 darstellen. AnTherm gibt automatisch für jeden definierten Raum die Lage und den Wert der minimalen und maximalen Temperatur aus, wobei für den Punkt der minimalen Temperatur des Raumes auch der Temperaturfaktor ( $f_{Rsi}$ ) berechnet wird. Für zusätzlich zu betrachtende, kritische Punkte werden die Koordinaten definiert und die Temperaturen durch AnTherm ausgegeben. Die Temperaturfaktoren dieser Punkte werden nach Form. 6, durch Division der Differenz zwischen Innenraumoberflächentemperatur und Außentemperatur durch die Differenz zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur, berechnet.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$f_{Rsi}$  ... Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche [-]

$\theta_{si}$  ... raumseitige Oberflächentemperatur [°C]

$\theta_i$  ... Raumtemperatur [°C]

$\theta_e$  ... Außentemperatur [°C]

#### Form. 6 Berechnung des Temperaturfaktors nach ÖNORM EN ISO 10211 bzw. EN ISO 13788

Die ÖNORM B 8110-2, Wärmeschutz im Hochbau; Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, gibt für den Bemessungswert der Temperaturfaktoren für das Norm-Innenraumklima (20°C und 54 %<sup>3</sup> relativer Luftfeuchtigkeit) folgende Werte an:

$$f_{Rsi} \geq 0,71 \text{ zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung}$$

$$f_{Rsi} \geq 0,69 \text{ zur Vermeidung von Kondensat}$$

<sup>3</sup>Nach ÖNORM B 8110-2 errechnet sich die relative Luftfeuchtigkeit des Normklimas mit 65 % bei 0°C Außenluft, minus 1 % pro Grad Temperaturerniedrigung der Außenluft (65 % - 11°C(\*1%/°C)=54 %).

---

Zur besseren Verständlichkeit der Ergebnisse wird in dieser Arbeit neben dem Temperaturfaktor auch die Grenzfeuchte angegeben. Diese errechnet sich aus dem Quotienten des Sättigungsdampfdrucks der Oberflächentemperatur und des Sättigungsdampfdrucks der Raumtemperatur. Dieser Wert beschreibt die relative Luftfeuchtigkeit der Raumluft mit 20°C Lufttemperatur, bei der an der Oberfläche, mit entsprechend niedrigerer Temperatur, 100 % relative Luftfeuchtigkeit erreicht wird und Kondensat entsteht.

Um eine direkte Bewertung der Ergebnisse und Isothermenverläufe der Temperaturen zu ermöglichen, werden an dieser Stelle noch die, zu den Bemessungswerten der Temperaturfaktoren nach ÖNORM B 8110-2 zugehörigen, minimalen Temperaturen angegeben. Durch Umformen der Form. 6 errechnet sich für die Bedingung zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung und Vermeidung von Kondensat minimale zulässige Oberflächentemperaturen von:

$$\theta_{si} \geq 11,1^{\circ}\text{C} \text{ zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung}$$

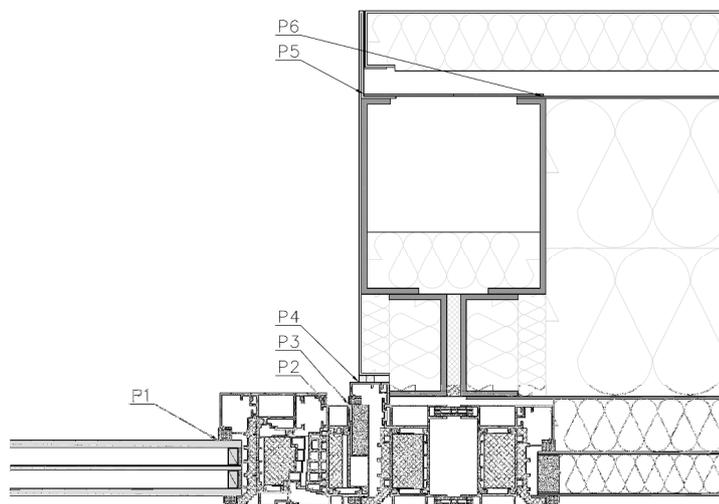
$$\theta_{si} \geq 10,5^{\circ}\text{C} \text{ zur Vermeidung von Kondensat (Taupunkt der Innenraumluft)}$$

Zusätzlich werden zu den Oberflächen des Innenraumes auch Oberflächen in hinterlüfteten Hohlräumen, zwischen innerer Vorsatzschale und mittlerer Funktionsebene, untersucht. Diese Zwischenräume sind mit dem Innenraum über Fugen verbunden und aufgrund von Größe und Form als leicht belüftet anzusehen. Die horizontalen Schachtführungen, für Heizungs- und Solarthermierohre, sowie die vertikalen Schachtführungen sind durch Metallbleche abgedeckt und die Fugen mittels vorkomprimierten Dichtbändern oder entsprechenden Klebebändern verschlossen. Es wird daher auf eine nähere Untersuchung der Schachtinnenräume verzichtet.

Von einer Betrachtung des Bauteilinneren der mittleren Funktionsebene wird ebenfalls abgesehen, da durch die inneren und äußeren Abschlüsse mittels Metallblechen und Überkleben der Fugen mit dampfbremsenden Folien ein Eindringen von Luftfeuchtigkeit ausgeschlossen werden kann. Wärmezuführende Einbauten wie Heizungs- und Solarthermierohrleitungen werden bei der Beurteilung nicht berücksichtigt, um die maßgebende Situation in der Heizperiode zu untersuchen.

## 6.2 Horizontalschnitte raumbildender Elemente

### 6.2.1 Horizontalschnitt opakes Element zu Tür

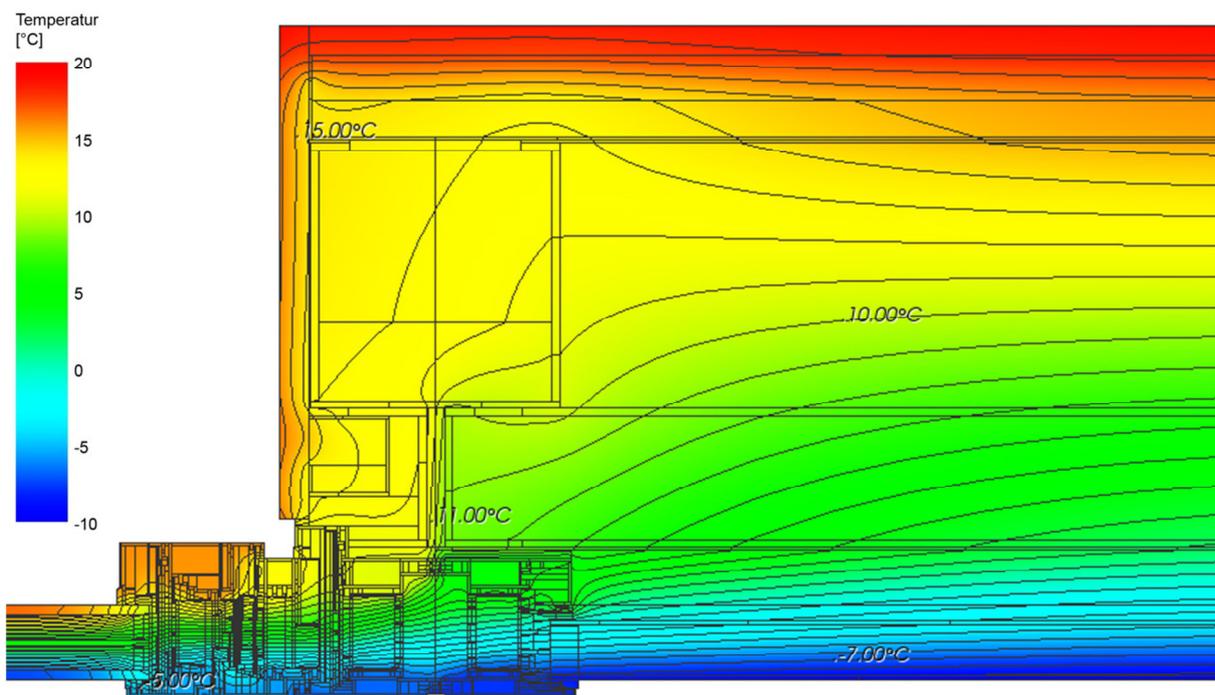
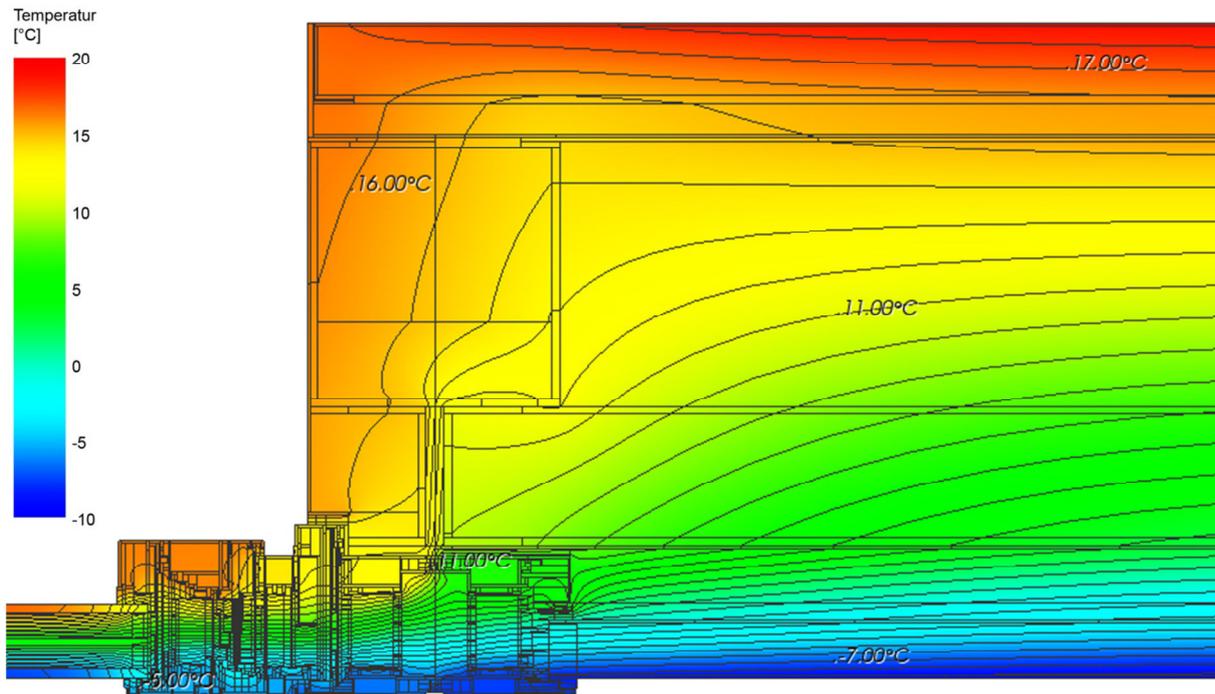


**Abb. 46 Anordnung der ausgewählten Punkte des horizontalen Anschlusses zwischen opakem Element und Tür mit innerer Vorsatzschale aus Metall**

Neben der Kante der Verglasung zu Rahmen (P1) werden an der Rauminnenoberfläche noch drei weitere Punkte am Fensterrahmen untersucht (siehe Abb. 46): Die Kante zwischen Flügelrahmen und Stockrahmen (P2), die Kante zwischen Stockrahmen und Stockverbreiterung (P3) und die Kante an der Stockverbreiterung zur inneren Vorsatzschale (P4). In der Hinterlüftungsebene der inneren Vorsatzschale wird die leibungszugewandte (P5) und leibungsabgewandte Kante (P6) der Schachtabdeckung betrachtet, da hier mit den dahinterliegenden U-Profilen aus Stahl hohe Wärmeströme zu erwarten sind.

In den beiden Vorsatzschalenvarianten ergeben sich an der Kante zwischen Verglasung und Flügelrahmen (P1) mit 13,6°C (Metallvorsatzschale) und 13,5°C (Holzvorsatzschale) ausreichend hohe Temperaturen, um weder die minimal zulässigen Temperaturfaktoren für das Kondensat-, noch das Schimmelpilzbildungskriterium zu unterschreiten (siehe Tab. 27). Bereits in Punkt P1 zeigen sich geringfügige Unterschiede zwischen den Varianten der Vorsatzschalen. So weist die Kante zwischen Verglasung und Rahmen bei der Detailvariante mit Holzvorsatzschale eine um 0,1 K<sup>4</sup> niedrigere Temperatur auf, was auf die Wärmezuströmung über den Leibungsbereich der Metallvorsatzschale und der hohen Wärmeleitfähigkeit der Aluminiumrahmenprofilen des Türelements zurückzuführen ist.

<sup>4</sup> Temperaturdifferenzen werden in [K], Temperaturen in [°C] angegeben.



**Abb. 47 Isothermenverlauf der Temperatur für den Anschluss zwischen opakem Element und Tür; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz**

Der Punkt minimalster Oberflächentemperatur am Türprofil (11,4°C bei Holzvorsatzschale) kommt an der Kante der Stockverbreiterung zur inneren Vorsatzschale (P4) zu liegen. Im Detail mit Metallvorsatzschale sorgt die Wärmeleitung in der Metallverkleidung im Leibungsbereich für eine stärkere Wärmeleitung zu dieser Stelle (P4) und somit für eine um 2 K höher Temperatur als im Detail mit Holzvorsatzschale. Dies senkt aber auch die Oberflächentemperatur an der Leibungsfläche und in anschließenden Bereichen der Vorsatzschaleninnenoberflächen (siehe Abb. 47), was die Behaglichkeit im Raum negativ beeinflussen kann.

Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C]		Temperaturfaktor [-]		Grenzfeuchte [%]	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
P1	Kante Verglasung zu Flügelrahmen	13,6	13,5	0,79	0,79	67%	66%
P2	Kante Flügelrahmen zu Stockrahmen	13,9	12,9	0,80	0,77	68%	64%
P3	Kante Stockrahmen zu Stockverbreiterung	13,9	12,9	0,80	0,77	68%	64%
<b>P4</b>	<b>Kante Stockverbreiterung zu Vorsatzschale</b>	<b>13,4</b>	<b>11,4</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72</b>	<b>66%</b>	<b>58%</b>
P5	Leibungszugewandte Kante der Schachtabdeckung	16,4	13,8	0,88	0,80	80%	68%
P6	Leibungsabgewandte Kante der Schachtabdeckung	14,3	12,7	0,81	0,76	70%	63%

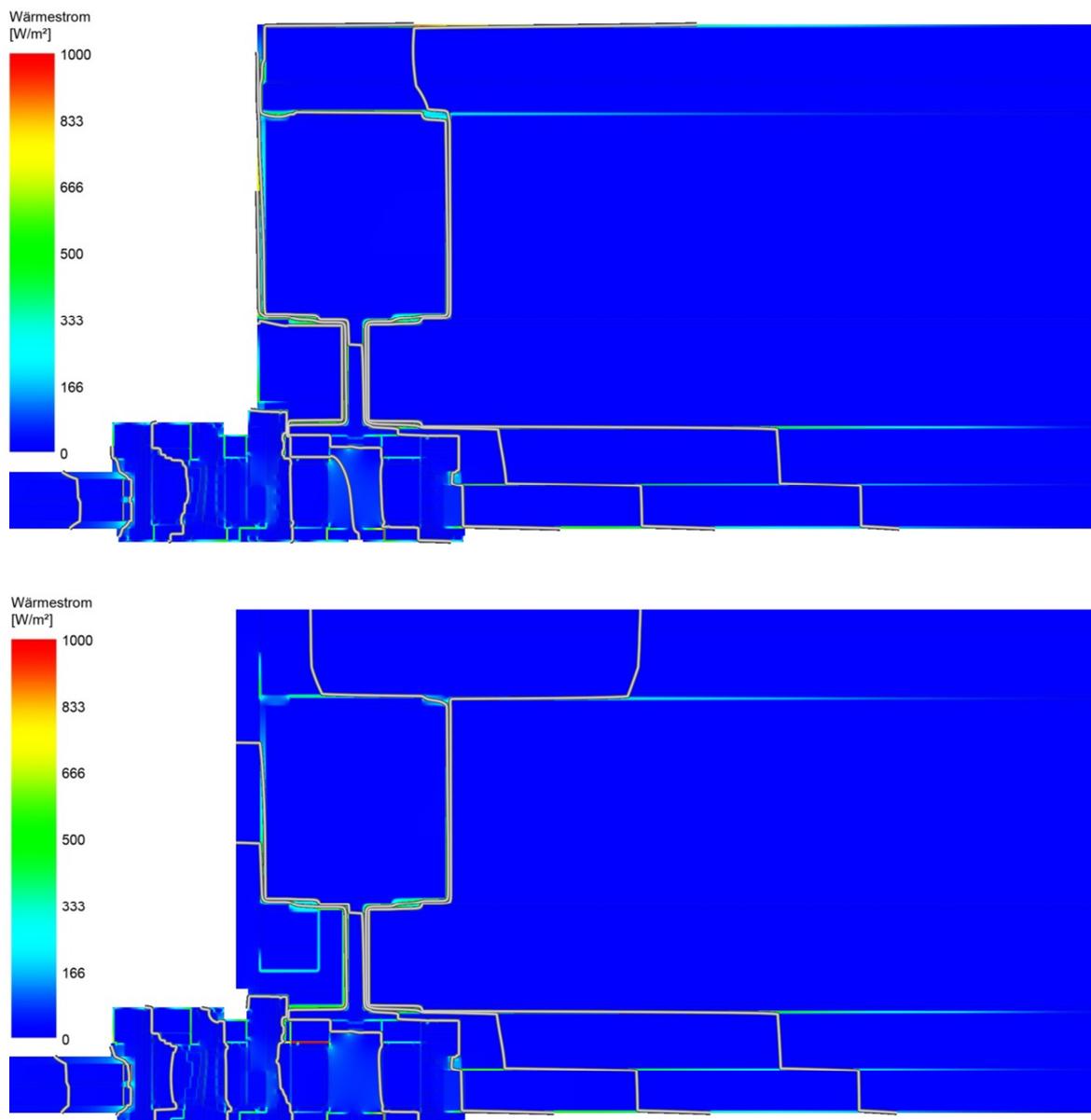
**Tab. 27 Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für den Anschluss zwischen opakem Element und Tür**

In der Hinterlüftungsebene der inneren Vorsatzschale im opaken Element kühlt die Metalloberfläche der mittleren Funktionsebene bei der Variante mit Holzvorsatzschale an der leibungsabgewandten Kante der Schachtabdeckung (P6) auf 12,7°C ab, was bei Betrachtung der Isothermendarstellungen in Abb. 47 nicht exakt dem kältesten Punkt entspricht, aber für eine Beurteilung dieses Bereichs ausreichend ist. Im Vergleich dazu erreichen die Werte im Detail mit Metallvorsatzschale an dieser Stelle mit 14,3°C um 1,6 K höhere Temperaturen, was auf die, im Vergleich zur Holzvorsatzschale mit Sperrholzplatte, fehlende Dämmwirkung im Leibungsbereich und die dämmungsumschließende Metallverkleidung der Vorsatzschale zurückzuführen ist.

Mit Temperaturfaktoren am Fensterrahmen von 0,79 (Metallvorsatzschale) und 0,72 (Holzvorsatzschale), ist in beiden Varianten mit keiner kritischen Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung zu rechnen. Die Temperaturen im Lufthohlraum zwischen innerer

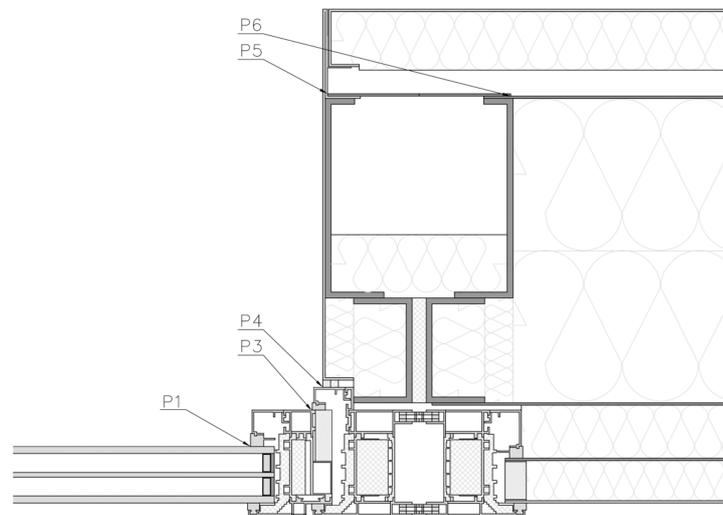
Vorsatzschale und mittlerer Funktionsebene sinken im Detail mit Holzvorsatzschale zwar wesentlich unter den Wert des Details mit Metallvorsatzschale ab, erreichen aber keine kritischen Temperaturen bzw. Temperaturfaktoren.

Die Wärmestromlinien in Abb. 48 zeigen den großen Einfluss der Metallbleche. Vor allem die U-Profile verursachen in Verbindung mit den äußeren, im Aluminiumrahmen des opaken Elements fixierten Metallpaneelen, die als Kühlrippe wirken, hohe Wärmeströme. Dieser Kühlrippeneffekt ist auch noch bei dem gut überdämmten Stahlblech des inneren, dicken Dämmpaneels des opaken Elements an der gleichen hellblauen Färbung zu erkennen.



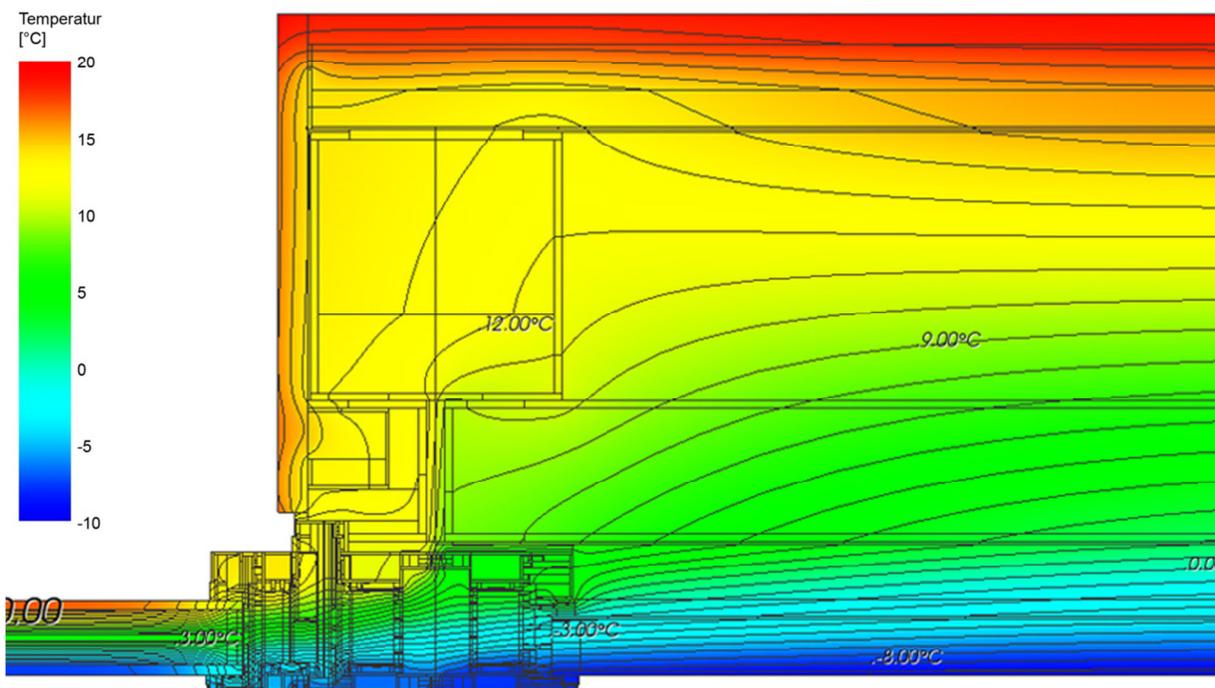
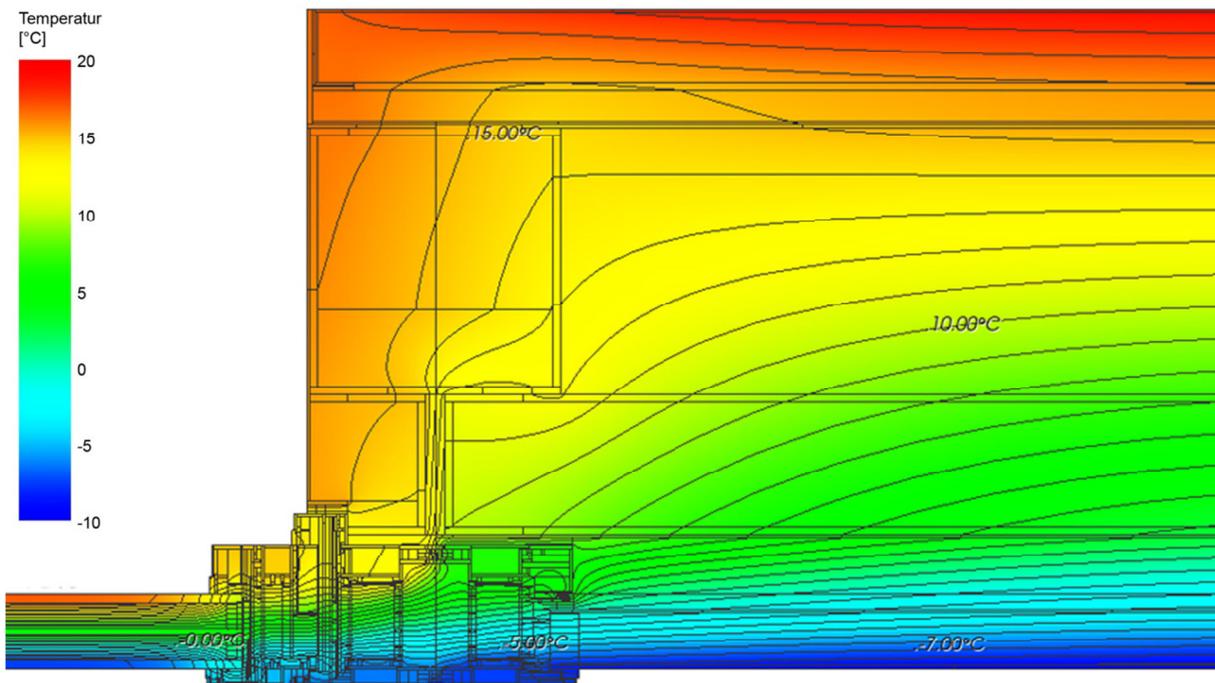
**Abb. 48 Wärmestromlinien im Anschluss zwischen opakem Element und Oberlichte; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz**

## 6.2.2 Horizontalschnitt opakes Element zu Oberlichte



**Abb. 49 Anordnung der ausgewählten Punkte des horizontalen Anschlusses zwischen opakem Element und Oberlichte mit innerer Vorsatzschale aus Metall**

Im Anschlussdetail des opaken Elements zur Oberlichte werden, bis auf den Punkt P2, der aufgrund des nicht vorhandenen Flügelrahmens entfällt, die gleichen Punktbezeichnungen und -lagen wie im Türdetail verwendet. Da die Glaseinstände in die Tür- und Oberlichtenprofile nach den tatsächlich zum Einbau gelangten Gläsern modelliert wurden, ergeben sich für die Lufthohlräume an der Verglasung im Tür- und Oberlichtenprofil unterschiedliche Abmessungen und dadurch unterschiedliche äquivalente Wärmeleitfähigkeiten. Weiters sind die Profile mit den thermischen Trennungen und den Polyurethan-Wärmedämmungseinlagen unterschiedlich ausgeführt, was in Summe am Oberlichtenprofil zu niedrigeren Oberflächentemperaturen an der Verglasung, aber zu höheren Oberflächentemperaturen am restlichen Rahmen führt, als im Türprofil (siehe Tab. 28).



**Abb. 50 Isothermenverlauf der Temperatur für den Anschluss zwischen opakem Element und Oberlichte; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz**

Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C] OP-OL		Temperatur [°C] OP-Tür	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
P1	Kante Verglasung zu Rahmen	13,3	13,0	13,6	13,5
P3	Kante Stockrahmen zu Stockverbreiterung	14,6	13,9	13,9	12,9
<b>P4</b>	<b>Kante Stockverbreiterung zu Vorsatzschale</b>	<b>13,6</b>	<b>11,6</b>	<b>13,4</b>	<b>11,4</b>
P5	Leibungszugewandte Kante der Schachtabdeckung	16,4	13,9	16,4	13,8
P6	Leibungsabgewandte Kante der Schachtabdeckung	14,3	12,8	14,3	12,7

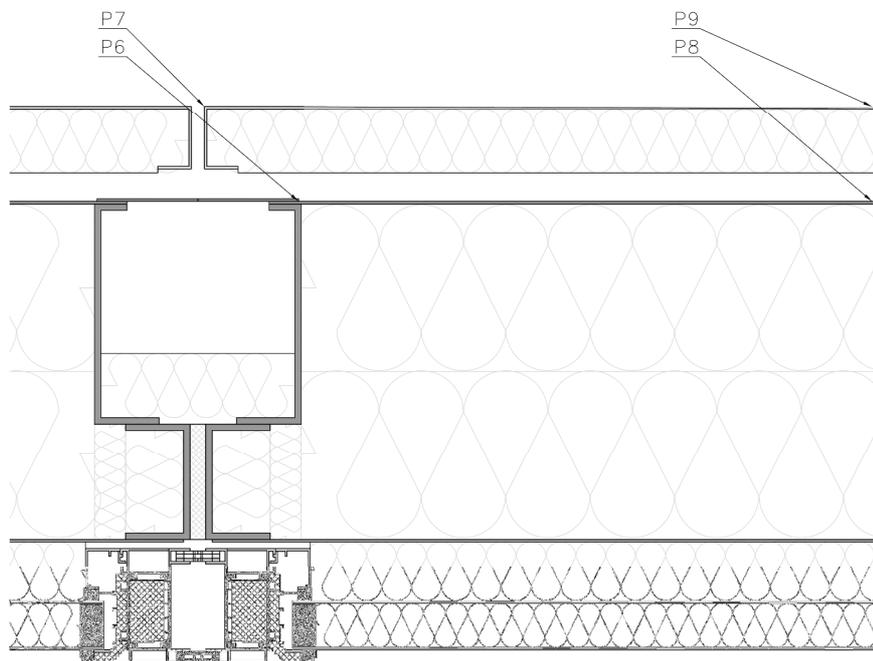
**Tab. 28 Vergleich der Oberflächentemperaturen der Anschlüsse zwischen opaken Element und Oberlichte und opaken Element und Tür**

Wie auch im Detailanschluss opakes Element zu Tür, erreichen im Oberlichtenanschluss die Oberflächentemperaturen in der Variante mit Metallvorsatzschale, bedingt durch die größere Wärmeleitfähigkeit der Metallverkleidung, höhere Werte, als in der Variante mit Holzvorsatzschale (siehe Tab. 28). Die niedrigsten Temperaturen mit 13,6°C (Metallvorsatzschale) und 11,6°C (Holzvorsatzschale) treten ebenfalls an der Kante Stockverbreiterung zu Vorsatzschale auf, wobei diese im Oberlichtendetail geringfügig höher ausfallen, als im Türdetail. Bezüglich eines Risikos von Kondensat- oder Schimmelpilzbildung ist die Detailausführung mit minimalen Temperaturfaktoren von 0,79 (Metallvorsatzschale) und 0,72 (Holzvorsatzschale) als unproblematisch zu beurteilen (siehe Tab. 29).

Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C]		Temperaturfaktor [-]		Grenzfeuchte [%]	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
P1	Kante Verglasung zu Rahmen	13,3	13,0	0,78	0,77	65%	64%
P3	Kante Stockrahmen zu Stockverbreiterung	14,6	13,9	0,82	0,80	71%	68%
<b>P4</b>	<b>Kante Stockverbreiterung bei Vorsatzschale</b>	<b>13,6</b>	<b>11,6</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72</b>	<b>66%</b>	<b>58%</b>
P5	Leibungszugewandte Kante der Schachtabdeckung	16,4	13,9	0,88	0,80	80%	68%
P6	Leibungsabgewandte Kante der Schachtabdeckung	14,3	12,8	0,81	0,76	70%	63%

**Tab. 29 Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für den Anschluss zwischen opaken Element und Oberlichte**

### 6.2.3 Horizontalschnitte gleicher raumbildender Elemente



**Abb. 51 Anordnung der ausgewählten Punkte des horizontalen Anschlusses zwischen zwei opaken Elementen mit innerer Vorsatzschale aus Metall**

Obwohl an der Testfassade nebeneinander keine zwei gleichen raumbildenden Elemente ausgeführt wurden, werden diese an dieser Stelle zur Vollständigkeit angeführt. Für die Betrachtungen des Anschlusses zweier gleicher raumbildender Türelemente werden die gleichen Punktlagen und Bezeichnungen, wie in den Punkten 6.2.1 und 6.2.2 beschrieben, verwendet. Für die Betrachtungen des Anschlusses zweier gleicher opaker Elemente werden am Übergang der beiden Elemente die Kante der Schachtabdeckung (P6) und die raumzugewandte Kante des Vorsatzschalenelements (P7) sowie in der Mitte des Elements an der adiabaten Schnittebene die Innenoberfläche der mittleren Funktionsebene (P8) und die Rauminnenoberfläche der Vorsatzschale (P9) näher untersucht (siehe Abb. 51).

In den Details mit Tür- und Oberlichtenanschluss ergeben sich, aufgrund der gespiegelten Leibung und dem damit einhergehenden, hohen Wärmeeintrag in die Konstruktion, für alle Punkte höhere Temperaturen als in den Anschlussdetails zwischen opakem Element und Tür bzw. Oberlichte (siehe Tab. 30). Wobei die tiefsten Temperaturen mit 13,6°C (Anschluss Oberlichte zu Oberlichte mit innerer Vorsatzschale aus Holz) an der Kante Verglasung zu Fensterstock (P1) auftreten und somit für die gesamte Innenoberfläche keine Tauwasser- oder Kondensatbildung zu erwarten ist.

Die Dreischeibenisolierverglasung sorgt, mit einem  $U_g$ -Wert von  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und erhöhten äußeren Wärmedurchgangswiderstand, für eine Innenoberflächentemperatur der Verglasung von  $17,04^\circ\text{C}$ . Gleichzeitig weist die Verglasung für einen, im Vergleich zum Aluminiumpaneel des opaken Elements nur mäßigen, Wärmestrom von und zum Rahmenprofilen auf. So zeigt sich im Anschlussdetail opakes Element zu Tür auch in den Oberflächentemperaturen am Türprofil der Kühlrippeneffekt des opaken Elements, wo durch den hohen Wärmestrom in den Metallblechen die Oberflächentemperaturen des Türprofils in Punkt P4 um ca. 3 K niedriger ausfallen, als in den Anschlüssen mit gleichen Oberlichten- bzw. Türelementen (siehe Tab. 30).

Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ] OL-OL		Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ] TÜR-TÜR		Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ] OP-Tür	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
P1	Kante Verglasung zu Rahmen	13,8	13,6	13,8	13,7	13,6	13,5
P2	Kante Fensterrahmen zu Stockrahmen	-	-	15,2	14,6	13,9	12,9
P3	Kante Stockrahmen zu Stockverbreiterung	15,7	15,2	15,2	14,6	13,9	12,9
P4	Kante Stockverbreiterung zu Vorsatzschale	16,2	15,0	16,0	14,8	13,4	11,4
P5	Leibungszugewandte Kante der Schachtabdeckung	18,2	17,2	18,2	17,1	16,4	13,8
-	Ungestörte Glasoberflächentemperatur	17,04					

**Tab. 30 Vergleich der Oberflächentemperaturen für die Anschlüsse zwischen zwei Oberlichten, Türen und dem Anschluss zwischen opakem Element und Tür**

Die Innenraumoberflächentemperatur in der Mitte des opaken Elements (P9) fällt in der Variante mit Metallvorsatzschale geringfügig niedriger aus, als in der Variante mit Holzvorsatzschale, obwohl die Metallvorsatzschale einen höheren Wärmedurchgangswiderstand aufweist, als die Holzvorsatzschale (siehe Tab. 31). Diese Temperaturdifferenz ist auf den Wärmestrom im Metallblech zwischen der Mitte des opaken Elements und des Anschlussbereiches zurückzuführen. Daraus folgt, dass die Mitte des opaken Elements, welche als Symmetrieebene die Begrenzung der Modellierung darstellt, nicht als ungestörter Bereich betrachtet werden kann.

An der Oberfläche der mittleren Funktionsebene, hinter der inneren Vorsatzschale, erreichen die Temperaturen an der Kante der Schachtabdeckung (P6), mit Temperaturen unter  $10^\circ\text{C}$  und Temperaturfaktoren von 0,65 im Detail mit innerer Vorsatzschale aus Metall und 0,59 mit innerer Vorsatzschale aus Holz, kritische Werte. Wobei sich diese Temperaturen, unter den

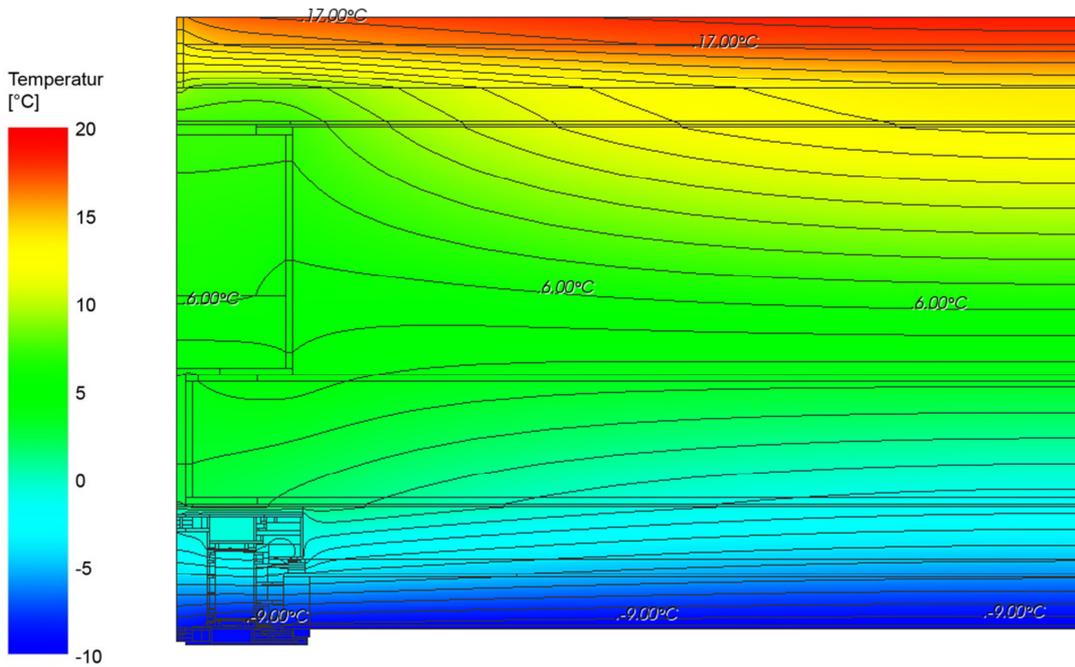
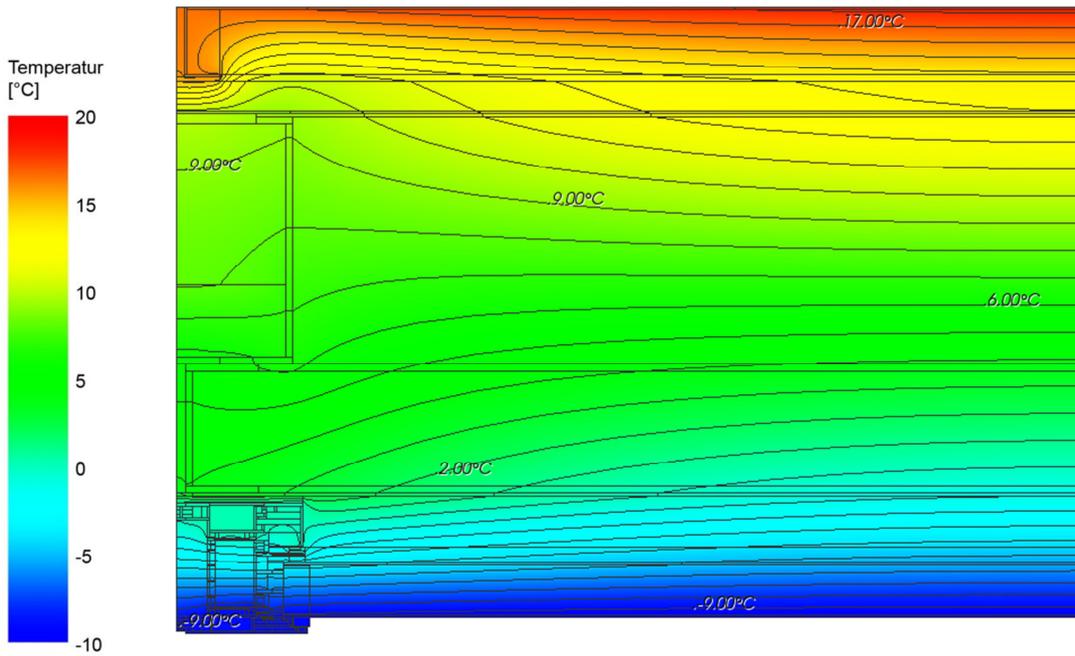


Abb. 52 Isothermenverlauf der Temperatur für den Anschluss zwischen zwei opaken Elementen; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz

Grenzwerten der ONÖRM B 8110-2, auf einen größeren Bereich der Oberfläche erstrecken (siehe Abb. 52). Aufgrund der nicht modellierbaren Hinterlüftung der Vorsatzschale kann nur schwer beurteilt werden welche Oberflächentemperaturen sich einstellen und inwieweit tatsächlich ein Tauwasser- bzw. Schimmelpilzbildungsrisiko vorliegt. Zusätzlich treten die kritischen Temperaturen an einer Metalloberfläche auf, die kondenswasserunempfindlich ist, schlechten Nährboden für Schimmelpilze bietet und ablaufendes Kondenswasser keine gefährdeten Baumaterialien erreichen kann. An der Testfassade wurde kein Anschluss zwischen zwei opaken Elementen verwirklicht. Bei Ausführung, vor allem mit einer inneren Vorsatzschale aus Holz, wo um ca. 2 K niedrigere Temperaturen erreicht werden, muss auf eine ausreichende Belüftung geachtet werden.

Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C]		Temperaturfaktor [-]		Grenzfeuchte [%]	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
P6	Kante der Schachtabdeckung	9,2	7,3	0,65	0,59	50%	44%
P7	Innenkante Vorsatzschale	16,5	15,7	0,88	0,86	80%	77%
P8	Ungestörte Oberfläche mittlere Funktionsebene	13,0	13,3	0,77	0,78	64%	65%
P9	Ungestörte Raumboberfläche	18,2	18,5	0,94	0,95	90%	91%

**Tab. 31 Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für den Anschluss zwischen zwei opaken Elementen**

### 6.3 Vertikalschnitt Kämpfer

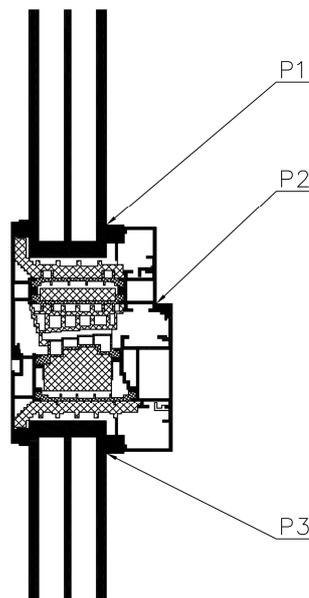


Abb. 53 Anordnung der ausgewählten Punkte des Kämpferdetails

Um das Bild der Fassade zu vervollständigen, wird an dieser Stelle auch der Kämpfer des Türelements auf kritische Oberflächenfeuchtigkeit untersucht. Es werden die Kanten zwischen Oberlichtenverglasung und Rahmen (P1), zwischen Rahmen zu Türflügel (P2) und zwischen Türflügel und Türverglasung (P3) ausgewertet (siehe Abb. 53). Mit minimalen Temperaturen von rund 13,8°C an den Kanten der Verglasungen, liegen die Temperaturen über denen der Anschlüsse zwischen opaken Element und Tür bzw. Oberlichte (siehe Tab. 32). Mit minimalen Temperaturfaktoren von 0,8 werden somit keine kritischen Werte erreicht.

Punkt Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C]	Temperaturfaktor [-]	Grenzfeuchte [%]
P1	Oberer Verglasungsrand	13,8	0,80	68%
P2	Kante Rahmen zu Türflügel	16,3	0,88	79%
P3	Unterer Verglasungsrand	13,8	0,80	68%

Tab. 32 Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für das Kämpferdetail

## 6.4 Vertikalschnitte Brüstungsträger

Bei der Betrachtung des Brüstungsträgers mit dessen Anschlüssen werden auf die unterschiedlichen Betrachtungsmethoden mit unterteiltem Träger, wie dies im Kapitel 5 erfolgt ist, verzichtet. Es wird jedoch weiterhin der Einfluss der einzelnen wärmebrückenverursachenden Bauteile und Einbauten analysiert.

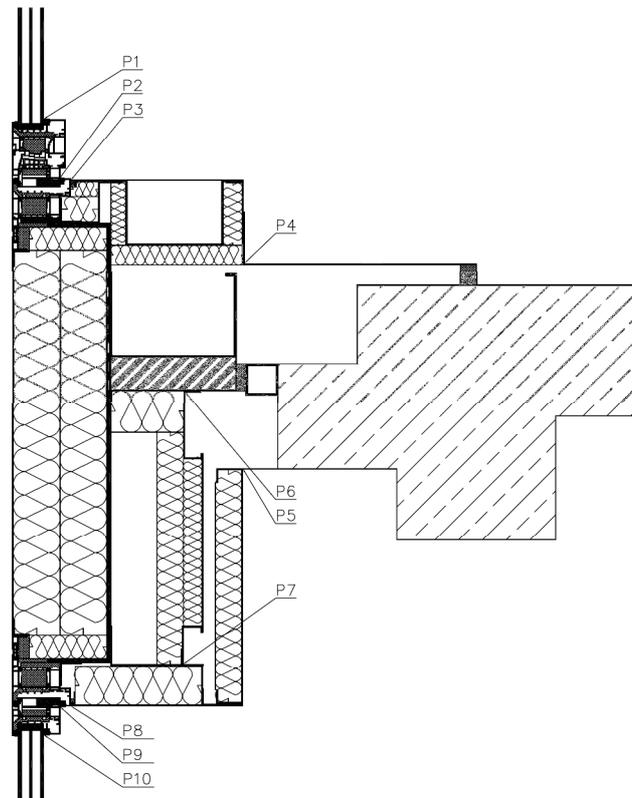
Untersucht wird der Einfluss der Einbauten mittels vier Varianten:

- Variante 1:  
Brüstungsträger in zweidimensionaler Modellierung ohne zusätzliche Einbauten
- Variante 2:  
Brüstungsträger mit thermischer Trennung, wobei die ausgewerteten Punkte in der Ebene des inneren Stahlsteiges der thermischen Trennung angeordnet sind
- Variante 3:  
Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern, wobei die ausgewerteten Punkte in der Ebene der Außenkante der 8 mm dicken Stahlwanne des Brüstungsträgers angeordnet sind
- Variante 4:  
Randkonsole in Verbindung mit der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern, wobei die ausgewerteten Punkte, wie in Variante 3, in der Ebene der Außenkante der 8 mm dicken Stahlwanne des Brüstungsträgers angeordnet sind

Die Mittelkonsole wird nicht näher untersucht, da das Detail mit Randkonsole und seitlichen Brüstungsträgerrand niedrigere Oberflächentemperaturen zur Folge hat als die Mittelkonsole mit thermischen Trennungen. Ebenfalls werden die Rohrdurchführungen aufgrund des marginalen Einflusses nicht betrachtet.

Im Realfall treten die erste Variante, modelliert als zweidimensionaler Brüstungsträger ohne thermische Trennung, und die dritte Variante, seitlicher Brüstungsträgerabschluss mit Fuge zwischen zwei Trägern ohne Randkonsole, nicht ohne die entsprechenden Einbauten auf. Diese beiden Varianten sind an dieser Stelle zur Verdeutlichung der Einflüsse der Einzelkomponenten mitangeführt und werden in den folgenden Tabellen grau dargestellt.

## 6.4.1 Brüstungsträger mit Türelement



**Abb. 54 Anordnung der ausgewählten Punkte des Brüstungsträgerdetails mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall**

Am Türelement werden sowohl im Schwellenbereich als auch im Sturzbereich die Kanten zwischen Verglasung und Rahmen (P1, P10), die Kanten zwischen Rahmen und Stockverbreiterung (P2, P9) und die Kanten der Stockverbreiterung zur inneren Vorsatzschale (P3, P8) näher betrachtet (siehe Abb. 54). Am Brüstungsträger werden die Temperaturen im Schwellenbereich an der Kante der Konsolenabdeckung (P4) und im Sturzbereich an der raumzugewandten Oberkante der Vorsatzschale (P5), der Oberkante des unteren Schachtes (P6) sowie an der Unterkante des unteren Schachtes (P7) ausgewertet.

Bei Betrachtung des Schwellenbereichs des Brüstungsträgerdetails mit Türelement stellen sich in Variante 1 mit zweidimensional modelliertem Träger die tiefsten Temperaturen an der Kante zwischen Verglasung und Flügelrahmen (P1) mit 13,7°C ein (siehe Tab. 33). Erst unter Berücksichtigung der thermischen Trennung (Variante 2) ergibt sich die niedrigste Oberflächentemperatur an der Kante der Stockverbreiterung zur Bodenabdeckung (P3) mit 11,2°C im Detail mit Metallvorsatzschale und 10,9°C im Detail mit innerer Holzvorsatzschale.

Mit dieser Oberflächentemperatur wird das Kriterium zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung in der Variante mit innerer Holzvorsatzschale unterschritten.

Bei Betrachtung der Variante 3, mit Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern, sinken die Temperaturen erwartungsgemäß weiter ab. Dies wird in der Variante 4, mit Randkonsole und den dadurch erhöhten Wärmeeintrag in die Konstruktion weitgehend kompensiert. Die Oberflächentemperaturen erreichen dadurch bis auf Punkt P4, der nahe der Konsole liegt, ähnliche Werte wie in Variante 2, mit Brüstungsträger und thermischer Trennung. Die tiefsten Oberflächentemperaturen entlang der Oberkante der Konsolenabdeckung (P4) werden nicht an der ausgewerteten seitlichen Brüstungsträgerkante erreicht, sondern direkt an der Randkonsole. Die dort auftretenden Oberflächentemperaturen sind jedoch im Vergleich zu anderen Punkten als unkritisch zu betrachten und werden daher nicht näher ausgewertet.

Oberflächen- temperaturen [°C]		Var. 1		Var. 2		Var. 3		Var.4	
		Brüstungs- träger		Brüstungs- träger mit thermischer Trennung		Fuge zwischen zwei Brüstungs- trägern		Fuge zwischen zwei Trägern mit Randkonsole	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
<b>Schwelle</b>									
P1	Kante Verglasung zu Flügelrahmen	13,7	13,7	13,4	13,4	13,3	13,3	13,4	13,4
P2	Kante Rahmen zu Stockverbreiterung	14,9	14,8	12,8	12,6	12,3	11,8	12,8	12,7
P3	Kante Stock- verbreiterung zu Bodenabdeckung	15,5	15,3	11,2	10,9	10,0	9,0	11,2	10,8
P4	Oberkante Konsolenabdeckung	18,7	18,5	16,7	16,5	16,9	15,8	15,7	15,4

**Tab. 33 Oberflächentemperaturen im Schwellenbereich des Brüstungsträgers mit Türelement für die Varianten Brüstungsträger, Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole**

Wie an der Schwelle treten auch im Sturzbereich in Variante 1 die niedrigsten Oberflächentemperaturen an der Kante Verglasung zu Rahmen (P1) auf (siehe Tab. 34). Weiters ergeben sich die tiefsten Temperaturen in den Varianten 2 bis 4 ebenfalls an der Kante der Stockverbreiterung zur Sturzabdeckung (P8). An dieser Stelle ergeben sich bis zu 5,8 K Differenz (Holzvorsatzschale) zwischen Variante 1 und Variante 2, was den großen Einfluss der thermischen Trennung unterstreicht. Mit Oberflächentemperaturen von 10,1°C (Metallvorsatzschale) und 7,3°C (Holzvorsatzschale) werden in Variante 4 die tiefsten

Oberflächentemperaturen erreicht und die Grenzwerte nach ÖNROM B 8110-2 in beiden Vorsatzschalenvarianten unterschritten.

In der Hinterlüftungsebene werden an der Unterkante des unteren Schachtes (P7) im Detail mit Holzvorsatzschale in den Varianten 2 bis 4 ebenfalls kritische Werte erreicht, wobei diese über den Temperaturen von Punkt P8 bleiben. Das Detail mit Metallvorsatzschale weist hier durch den größeren Wärmeeintrag über die Metallbleche wesentlich höhere Werte auf.

Oberflächen- temperaturen [°C]		Var. 1		Var. 2		Var. 3		Var. 4	
		Brüstungs- träger		Brüstungs- träger mit thermischer Trennung		Fuge zwischen zwei Brüstungs- trägern		Fuge zwischen zwei Trägern mit Randkonsole	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
<b>Sturz</b>									
P5	Oberkante innere Vorsatzschale	18,8	18,4	16,8	15,9	16,9	15,2	16,6	15,3
P6	Oberkante unterer Schacht	17,7	17,3	13,8	13,1	13,1	11,6	13,3	12,4
<b>P7</b>	<b>Unterkante unterer Schacht</b>	17,5	16,0	13,9	<b>10,7</b>	13,5	<b>9,0</b>	13,9	<b>9,7</b>
<b>P8</b>	<b>Kante Stock- verbreiterung zu Sturzabdeckung</b>	15,6	14,4	<b>10,8</b>	<b>8,6</b>	<b>9,4</b>	<b>6,6</b>	<b>10,1</b>	<b>7,3</b>
P9	Kante Rahmen zu Stockverbreiterung	15,4	14,9	13,5	12,7	13,0	12,0	13,3	12,3
<b>P10</b>	<b>Kante Verglasung zu Rahmen</b>	<b>13,6</b>	<b>13,4</b>	12,8	12,4	12,5	12,1	12,6	12,2

**Tab. 34 Oberflächentemperaturen im Sturzbereich des Brüstungsträgers mit Türelement für die Varianten Brüstungsträger, Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole**

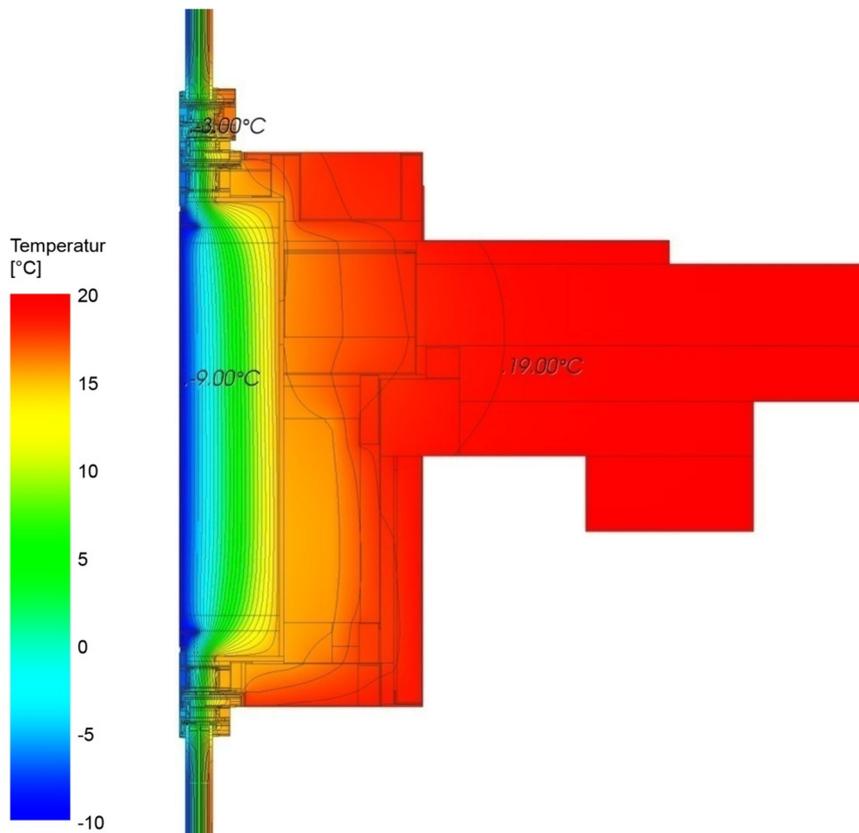
Die tiefsten Oberflächentemperaturen an der realen Fassade treten in der Variante mit Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole auf. In diesem Detail ergeben sich die niedrigste Temperatur im Schwellenbereich in der Variante mit Holzvorsatzschale an der Kante der Stockverbreiterung zur Bodenabdeckung (P3) und unterschreitet mit einem Temperaturfaktor von 0,70 den Grenzwert zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung (siehe Tab. 35). Durch den höheren Wärmeeintrag über die Metallvorsatzschale im Sturzbereich werden in Punkt P3 in der Variante mit Metallvorsatzschale um 0,4 K höhere Temperaturen erreicht, als in der Variante mit Holzvorsatzschale, und somit die Grenzwerte nach ÖNORM B 8110-2 eingehalten.

Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C]		Temperaturfaktor [-]		Grenzfeuchte [%]	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
<b>Schwelle</b>							
P1	Kante Verglasung zu Flügelrahmen	13,4	13,4	0,78	0,78	66%	66%
P2	Kante Rahmen zu Stockverbreiterung	12,8	12,7	0,77	0,76	63%	63%
<b>P3</b>	<b>Kante Stockverbreiterung zu Bodenabdeckung</b>	<b>11,2</b>	<b>10,8</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>	<b>57%</b>	<b>56%</b>
P4	Oberkante Konsolenabdeckung	15,7	15,4	0,86	0,85	77%	75%
<b>Sturz</b>							
P5	Oberkante innere Vorsatzschale	16,6	15,3	0,89	0,85	81%	74%
P6	Oberkante unterer Schacht	13,3	12,4	0,78	0,75	65%	62%
P7	Unterkante unterer Schacht	13,9	<b>9,7</b>	0,80	<b>0,66</b>	68%	<b>52%</b>
<b>P8</b>	<b>Kante Stockverbreiterung zu Sturzabdeckung</b>	<b>10,1</b>	<b>7,3</b>	<b>0,68</b>	<b>0,59</b>	<b>53%</b>	<b>44%</b>
P9	Kante Rahmen zu Stockverbreiterung	13,3	12,3	0,78	0,75	65%	61%
P10	Kante Verglasung zu Rahmen	12,6	12,2	0,76	0,74	62%	61%

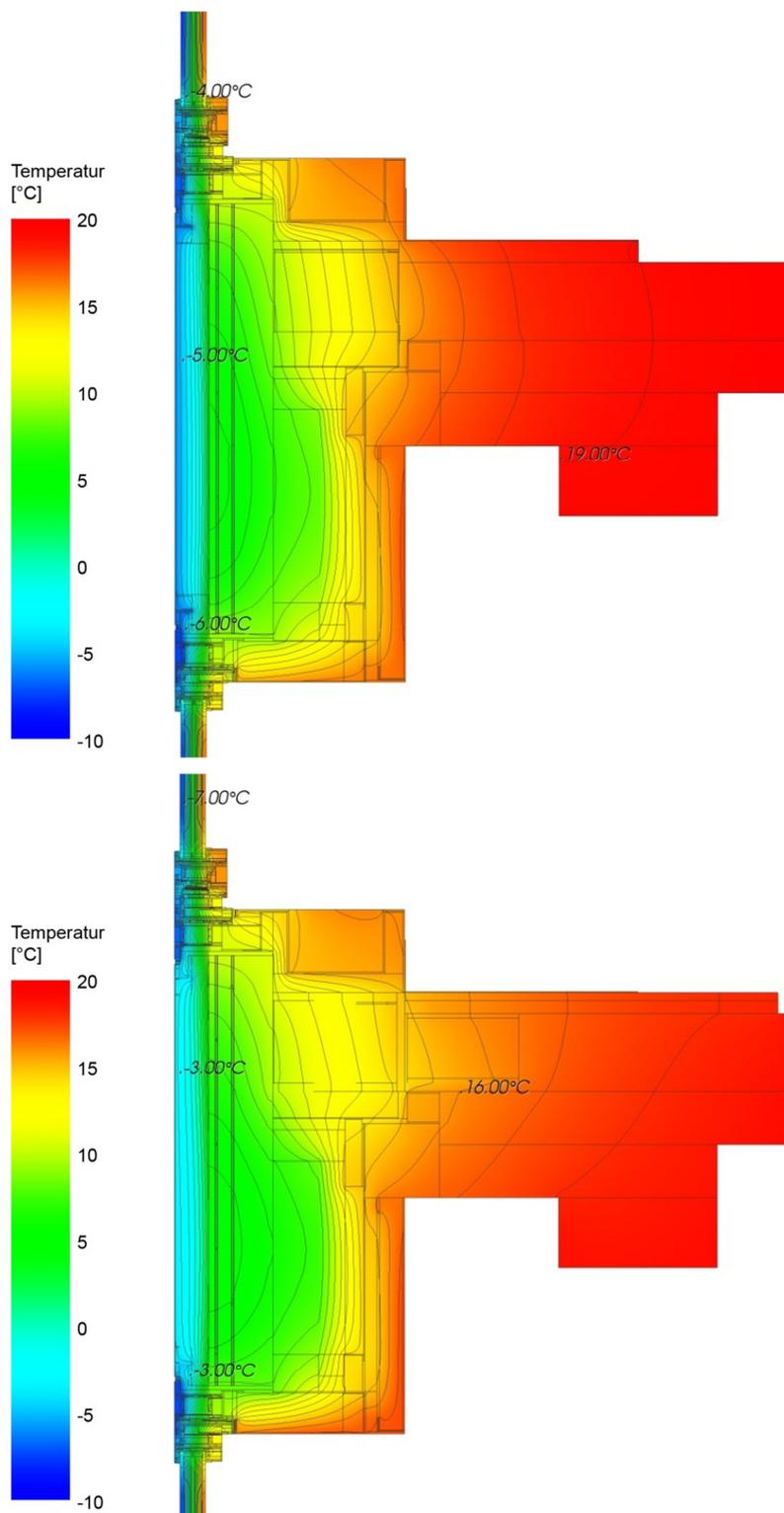
**Tab. 35 Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren des Brüstungsträgers mit Türelement für die Varianten Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole (Variante 4)**

Im Sturzbereich treten problematische Oberflächentemperaturen in der Hinterlüftungsebene an der Unterkante des unteren Schachtes (P7) und an der Kante der Stockverbreiterung zur Sturzabdeckung (P8) auf (siehe Tab. 35). In P7 wird im Detail mit Holzvorsatzschale ein Temperaturfaktor von 0,66 erreicht und somit werden die angegebenen Grenzwerte unterschritten. Durch den erhöhten Wärmeeintrag über die Metallbleche fällt die Temperatur in Punkt P7 in der Variante mit Metallvorsatzschale um ca. 4 K höher, aus als in der Variante mit Holzvorsatzschale. Die tiefsten Oberflächentemperaturen treten in Punkt P8 auf und erreichen in der Variante mit Holzvorsatzschale aufgrund der geringeren Wärmeleitung über die Leibungsfläche den geringsten Temperaturfaktor von 0,59, welcher die Grenzwerte der ÖNORM B 8110-2 deutlich unterschreitet.

In Variante 1 fallen die Temperaturen an den Kanten Verglasungen zu Rahmen sowohl an der Schwelle als auch am Sturz (P1, P10) niedriger aus als die Kanten Rahme zu Stockverbereitung (P2, P9). Durch die zusätzlichen Einbauten (Variante 2-4) sinken die Temperaturen an der Kante Rahmen zu Stockverbreiterung im Schwellenbereich (P2) unter den Wert der Kante der Verglasung zu Rahmen (P1) ab (siehe Abb. 55 und Abb. 56). Im Sturzbereich bleiben die Temperaturen der Kante Rahmen zu Stockverbreiterung (P9) knapp über denen der Kante Verglasung zu Rahmen (P10). Dieser Umstand ist dem z-förmigen Halteprofil im Schwellenbereich geschuldet, der zur Befestigung der Bodenkonvektorwanne und als Unterbau für die Auftrittsfläche dient. Mit den zusätzlichen Einbauten, die einen erhöhten Wärmestrom über dieses Element ermöglichen, kühlt die Leibungsinnenoberfläche im Schwellenbereich stärker aus als im Sturzbereich.

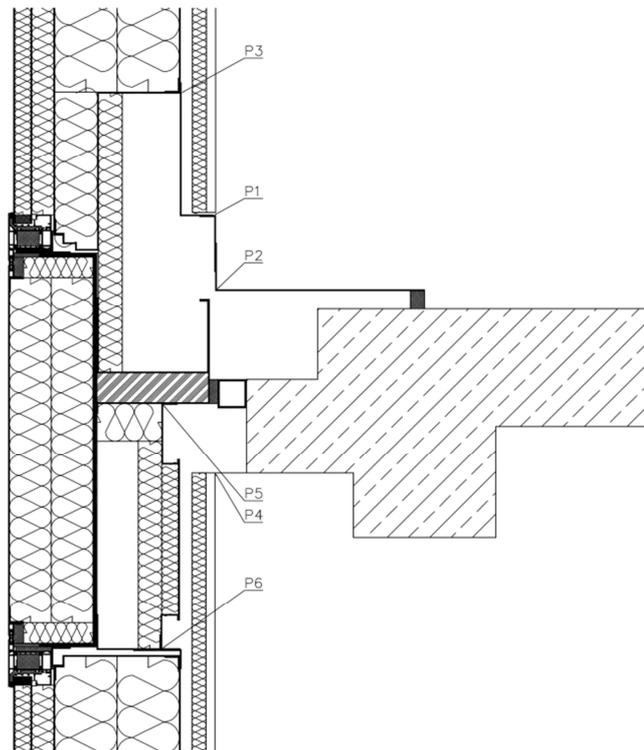


**Abb. 55 Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall, ohne thermischer Trennung (Variante 1)**



**Abb. 56 Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; oben mit thermischer Trennung (Variante 2) – Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung; unten mit Randkonsole (Variante 4)– Schnitt durch äußeren Steg der thermischen Trennung und Randkonsole**

## 6.4.2 Brüstungsträger mit opakem Element



**Abb. 57 Anordnung der ausgewählten Punkte des Brüstungsträgerdetails mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz**

Zur Betrachtung am Brüstungsträger mit opakem Element werden sechs Punkte näher untersucht. Die Punkte P1 bis P3 sind im Schwellenbereich situiert, wobei die Fuge zwischen Vorsatzschale und Schachtabdeckung (P1), die Kante an der Konsolenabdeckung (P2) und in der Hinterlüftungsebene die Oberkante der Schachtabdeckung des oberen Schachtes (P3) untersucht werden. Die Punkte P4 bis P6 befinden sich im Sturzbereich, wobei die raumzugewandte Oberkante der Vorsatzschale (P4), die Oberkante des unteren Schachtes (P5) und die Unterkante des unteren Schachtes (P6) ausgewertet werden.

Wie auch in den Details mit Türelement ergeben sich in den Details mit zusätzlichen Einbauten (Variante 2-4) in den betrachteten Punkten niedrigere Temperaturen als in Variante 1 und die Werte in Variante 4 fallen höher aus als in Variante 3. Analog zum Anschlussdetail mit Türelement fallen auch im Anschlussdetail mit opakem Element in Variante 4 die Temperaturen nahe der Randkonsole (P1, P2) niedriger aus als in Variante 3.

Im Schwellenbereich treten in keiner Variante kritische Oberflächentemperaturen auf (siehe Tab. 36). Die niedrigsten Temperaturen fallen in der Hinterlüftungsebene an der Oberkante

des oberen Schachtes (P3) mit 13,8°C (Metallvorsatzschale) und 13,2°C (Holzvorsatzschale) an.

Da die in Tab. 36 angegebenen Punkte der Variante 4 in der Ebene der seitlichen Kante des Brüstungsträgers angeordnet sind, wird die niedrigste Temperatur entlang der Oberkante der Konsolenabdeckung nicht in Punkt P2 erreicht. Direkt an der Randkonsole ergeben sich geringfügig niedrigere Werte mit minimalen Oberflächentemperaturen von 13,6°C in der Variante mit Metallvorsatzschale und 13,1°C in der Variante mit Holzvorsatzschale.

Oberflächentemperaturen [°C]		Var. 1		Var. 2		Var. 3		Var. 4	
		Brüstungsträger		Brüstungsträger mit thermischer Trennung		Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern		Fuge zwischen zwei Trägern mit Randkonsole	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
<b>Schwelle</b>									
P1	Fuge an Unterkante innere Vorsatzschale	17,1	16,2	15,9	14,7	15,6	14,2	15,1	13,7
P2	Oberkante Konsolenabdeckung	17,2	16,7	15,9	15,1	15,5	14,7	14,4	13,7
<b>P3</b>	<b>Oberkante oberer Schacht</b>	<b>15,5</b>	<b>15,1</b>	<b>14,1</b>	<b>13,5</b>	<b>13,7</b>	<b>13,1</b>	<b>13,8</b>	<b>13,2</b>
<b>Sturz</b>									
P4	Oberkante innere Vorsatzschale	17,1	16,5	15,6	14,6	15,2	14,0	15,3	14,0
<b>P5</b>	<b>Oberkante unterer Schacht</b>	14,6	14,1	11,5	<b>10,7</b>	<b>10,4</b>	<b>9,6</b>	11,3	<b>10,5</b>
<b>P6</b>	<b>Unterkante unterer Schacht</b>	<b>9,5</b>	<b>9,9</b>	<b>5,3</b>	<b>5,7</b>	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,7</b>

**Tab. 36 Oberflächentemperaturen des Brüstungsträgers mit opakem Element für die Varianten Brüstungsträger, Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole**

Im Sturzbereich ergeben sich an der Raumbofläche ebenfalls keine kritischen Temperaturen. Im Gegensatz dazu sinken die Temperaturen in der Hinterlüftungsebene der Vorsatzschale an der Raumseite des unteren Schachtes (P6) dramatisch ab. Bereits im Detail des zweidimensional modellierten Brüstungsträgers ohne thermischer Trennung (Variante 1) werden in beiden Vorsatzschalendetails in Punkt P6 Oberflächentemperaturen unter 10°C erreicht. Bei Berücksichtigung der thermischen Trennung (Variante 2) sinken die Temperaturen weiter ab und erreichen an der Unterkante des unteren Schachtes minimal 5,3°C (Metallvorsatzschale) und an der Oberkante des unteren Schachtes minimal 10,7°C (Holzvorsatzschale). Durch die seitliche Randausbildung des Brüstungsträgers werden dort

noch tiefere Temperaturen erreicht, die durch den Wärmeeintrag der Randkonsole weitgehend kompensiert werden.

Diese niedrigen Oberflächentemperaturen in der Hinterlüftungsebene entstehen durch die, von diesen Punkten aus gesehen, nur geringfügig behinderten Wärmeleitung über die Stahlbleche nach außen und die, in Relation dazu hohen Wärmedurchgangswiderstände der inneren Vorsatzschalen. Betrachtet man im Detail die Wärmeströmung vom und zum Punkt P6, so wird im Brüstungsträgerdetail ohne thermische Trennung (Variante 1) der geringste äußerer Wärmedurchgangswiderstand maßgebend vom Aluminiumprofil gebildet und der innere Wärmedurchgangswiderstand von der inneren Vorsatzschale inkl. Lufthohlraum. Da die innere Vorsatzschale einen hohen Wärmedurchgangswiderstand aufweist, führt dies zu Temperaturen von 9,5°C (P6, Metallvorsatzschale). Stellt man dieselbe Überlegung für das Detail mit Brüstungsträger und thermischer Trennung (Variante 2-3) an, so wird der geringste äußere Wärmeübergangswiderstand maßgeblich vom Polyamidquader der thermischen Trennung gebildet und es ergeben sich dem entsprechend niedrigere Temperaturen von ca. 5,3°C (P6, Metallvorsatzschale). Eine Erhöhung des, die innere Vorsatzschale durchdringenden, Stahlquerschnitts, wie es die Randkonsole (Variante 4) tut, führt zu höheren Wärmeströmen zu diesen kritischen Punkten und die Oberflächentemperaturen fallen entsprechend höher aus.

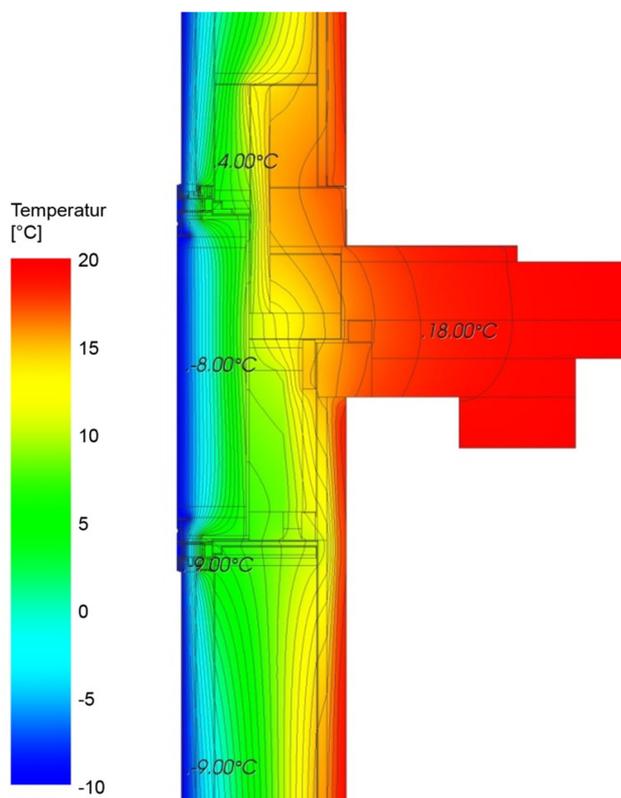
Pkt. Nr.	Punktbezeichnung	Temperatur [°C]		Temperaturfaktor [-]		Grenzfeuchte [%]	
		iVSM	iVSH	iVSM	iVSH	iVSM	iVSH
<b>Schwelle</b>							
P1	Fuge an Unterkante innere Vorsatzschale	15,1	13,7	0,84	0,79	73%	67%
P2	Oberkante Konsolenabdeckung	14,4	13,7	0,82	0,79	70%	67%
<b>P3</b>	<b>Oberkante Schachtabdeckung</b>	<b>13,8</b>	<b>13,2</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>67%</b>	<b>65%</b>
<b>Sturz</b>							
P4	Oberkante innere Vorsatzschale	15,3	14,0	0,85	0,80	74%	68%
<b>P5</b>	<b>Oberkante unterer Schacht</b>	<b>11,3</b>	<b>10,5</b>	<b>0,71</b>	<b>0,69</b>	<b>57%</b>	<b>54%</b>
<b>P6</b>	<b>Unterkante unterer Schacht</b>	<b>5,3</b>	<b>5,7</b>	<b>0,52</b>	<b>0,53</b>	<b>38%</b>	<b>39%</b>

**Tab. 37 Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren des Brüstungsträgers mit opakem Element für die Varianten Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole (Variante 4)**

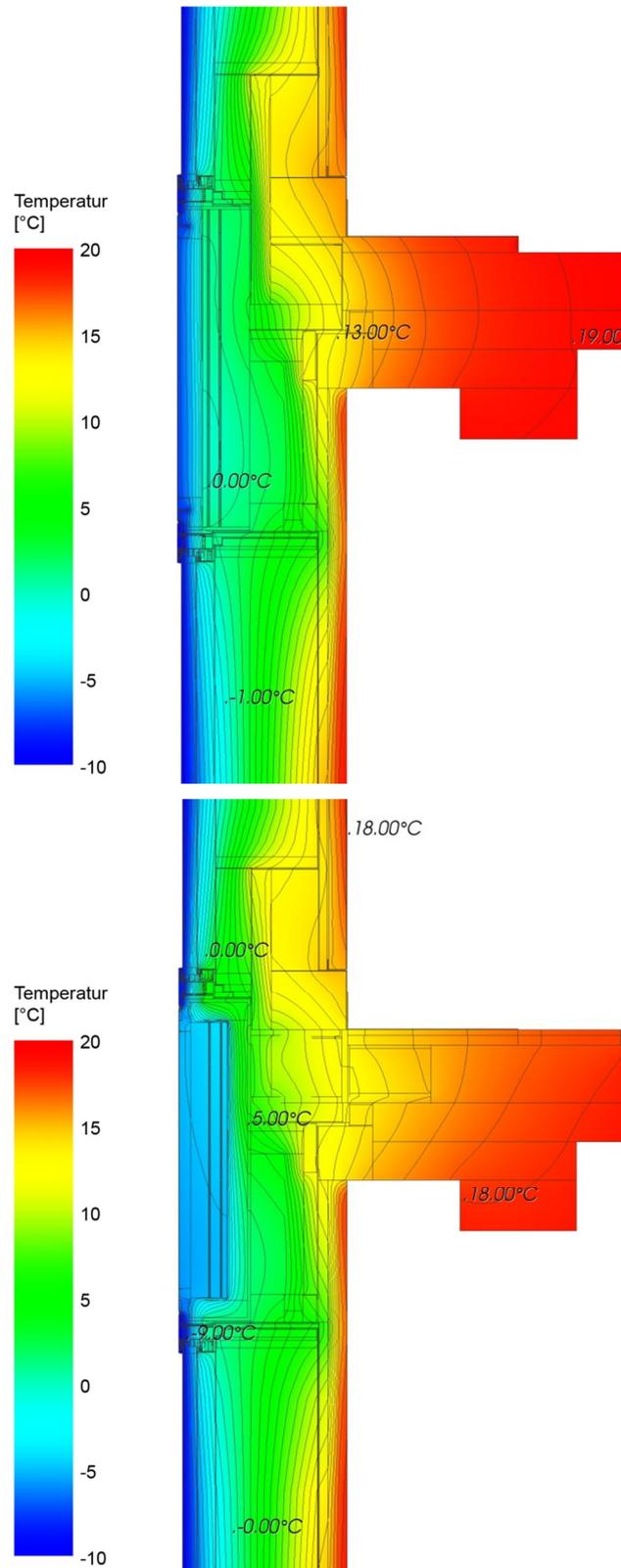
Da Variante 1, zweidimensional modellierter Brüstungsträger ohne thermischer Trennung, und Variante 3, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern ohne Randkonsole, rein fiktive Modelle sind, treten die real tiefsten Oberflächentemperaturen in Variante 4 auf, wo diese im

Schwellenbereich an der Randkonsole (P2) und im Sturzbereich an der Unterkante des unteren Schachtes (P6) erreicht werden. Die niedrigsten Werte ergeben sich dabei mit  $5,3^{\circ}\text{C}$  (Metallvorsatzschale) und  $5,7^{\circ}\text{C}$  (Holzvorsatzschale) in Punkt P6, was Temperaturfaktoren von 0,52 bzw. 0,53 zur Folge hat und damit die Grenzwerte nach ÖNORM B 8110-2 deutlich unterschreitet (siehe Tab. 37).

Bei Betrachtung der Isothermenverläufe des Details mit thermischer Trennung und dem Detail mit Randkonsole in Abb. 59 zeigt sich auch im Vergleich zum Isothermenverlauf des Details mit Brüstungsträger ohne diese Einbauten (siehe Abb. 58) ein steigender Einfluss der Stahlbetondecke mit thermischer Trennung und Konsole. Dies bestätigt die Annahme, dass die Stahlbetondecke in dreidimensionalen Berechnungen mit derlei Einbauten, trotz des geringen Einflusses in den zweidimensionalen Betrachtungen zur Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers (siehe Kapitel 5.3.4), nicht zu vernachlässigen ist.



**Abb. 58 Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz, ohne thermischer Trennung (Variante 1)**



**Abb. 59 Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz; oben mit thermischer Trennung (Variante 2) – Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung; unten mit Randkonsole (Variante 4)– Schnitt durch äußeren Steg der thermischen Trennung und Randkonsole**

## 6.5 Messdatenauswertung

Die Messungen am Prototypen II starteten Ende Jänner 2013 und umfassen über 250 Messstellen, wobei im Abstand von 5 Minuten Messwerte aufgezeichnet werden. Die multifunktionale Fassade selbst ist an der Südostfassade des Gebäudes der FIBAG angebracht. In beiden Geschoßen liegen dahinter zwei Eckräume gleicher Größe, welche auch an die Südwestfassade angrenzen. Der Raum im ersten Obergeschoß (mit Metallvorsatzschale) wird auch als Besprechungsraum genutzt, der Raum im zweiten Obergeschoß (mit Holzvorsatzschale) beinhaltet die Messtechnikanlage und wird im betrachteten Zeitraum nicht verwendet. Der Raum im ersten Obergeschoß wird mittels konventionellen bodennahen Heizkörper und den im Bereich der Türelemente der multifunktionalen Fassade installierten Bodenkonvektoren beheizt. In der abgehängten Decke ist eine Klimaanlage installiert. Im zweiten Obergeschoß ist zusätzlich das, in die Fassade integrierte, LTG-Gerät in Betrieb.

Pkt. Nr.	Messstellenbeschreibung
<b>Messpunkte 1.OG (iVSM)</b>	
<b>MP108</b>	Tai; OP, vor innerer Vorsatzschale Mitte (PV)
<b>MP111</b>	Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Mitte (PV)
<b>MP115</b>	Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Oben (PV)
<b>Messpunkte 2.OG (iVSH)</b>	
<b>MP13</b>	Tai; TÜR, Schwelle, Mitte: bei Kante Verglasung zu Rahmen
<b>MP14</b>	Tai; TÜR, Sturz, Mitte: bei Kante Verglasung zu Rahmen
<b>MP38</b>	Tsi; TÜR, Schwelle, Mitte: Kante Rahmen zu Stockverbreiterung
<b>MP40</b>	Tsi; TÜR, Sturz, Mitte: Stockverbreiterung zu Sturzabdeckung
<b>MP72</b>	Tai; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe (ST) über LTG
<b>MP83</b>	Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe (ST)
<b>MP135</b>	Tai; OP, vor innerer Vorsatzschale Mitte (ST)
<b>MP138</b>	Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Mitte (ST)
<b>MP142</b>	Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Oben (ST)
<b>MP483</b>	Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe (ST) über LTG

Tab. 38 Übersicht ausgewerteter Messpunkte<sup>5</sup>

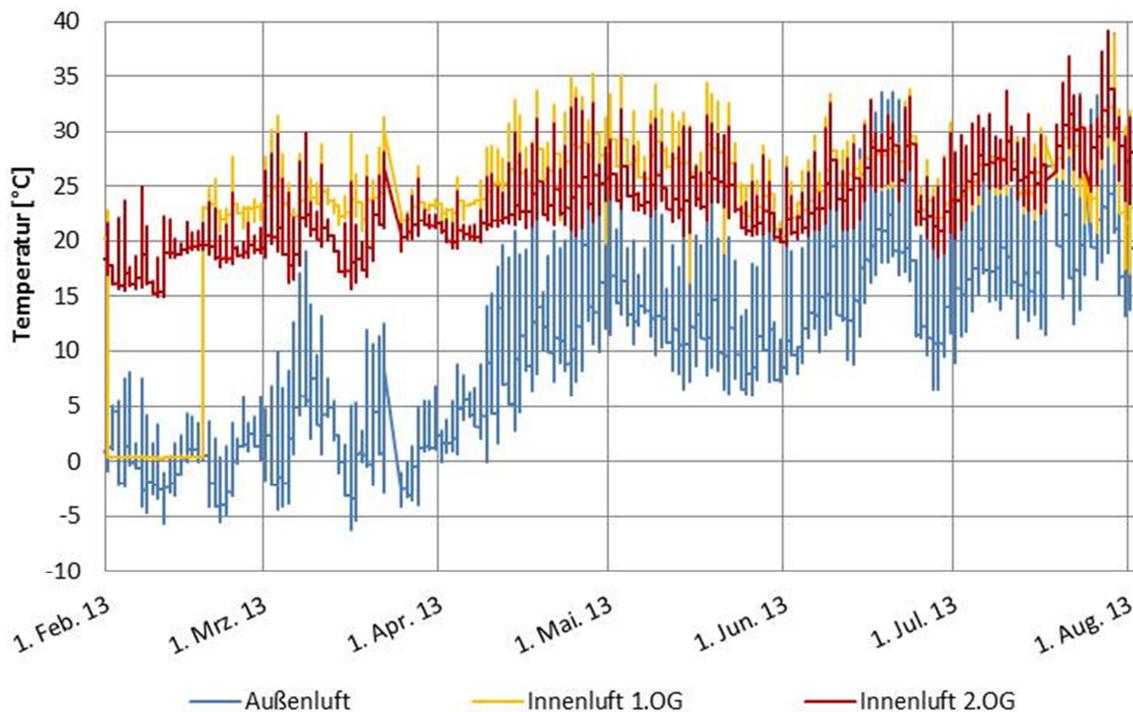
In dieser Arbeit werden Messpunkte untersucht die Temperaturen an oder nahe der Bauteilinnenoberfläche wiedergeben. Alle ausgewerteten Datensätze sind in Tab. 38

<sup>5</sup> Tai: Innenlufttemperatur; Tsi: Innenoberflächentemperatur; die Klammer gibt an welches Element sich in der dazugehörigen äußeren Funktionsebene befindet.

zusammengefasst. Die Lage der Messstellen kann den Plänen in Anhang VIII entnommen werden. Um weitere Auswertungen zu einem späteren Zeitpunkt zu vereinfachen, werden in dieser Arbeit die gleichen Messpunktbezeichnungen wie in der Messdatenaufzeichnung des Forschungsprojektes MPPF verwendet.

Um die auszuwertenden Datenmengen weiter zu reduzieren, werden nur Werte zwischen 1. Februar 2013 und 31. März 2013 berücksichtigt. Vor diesem Zeitraum sind noch nicht alle Sensoren eingebaut. Nach diesem Zeitraum steigen die minimalen Tagestemperaturen der Außenluft dauerhaft über  $0^{\circ}\text{C}$  an (siehe Abb. 60), wodurch keine kritischen Oberflächentemperaturen mehr zu erwarten sind.

Neben der generellen Betrachtung des ausgewählten Zeitraums, werden für den 22.02.2013 die gemessenen Werte von 04:00 bis 06:00 gemittelt und als Einzahlangaben ausgegeben. Die Wahl fällt auf diesen Bereich, da über diesen Zeitraum Außenlufttemperaturen von unter  $-4^{\circ}\text{C}$  auftreten und über einem längeren Zeitraum davor niedrige Temperaturen, ohne hohe Tagesschwankungen vorherrschen (Tagesmaxima der Außenlufttemperaturen unter  $5^{\circ}\text{C}$ ).



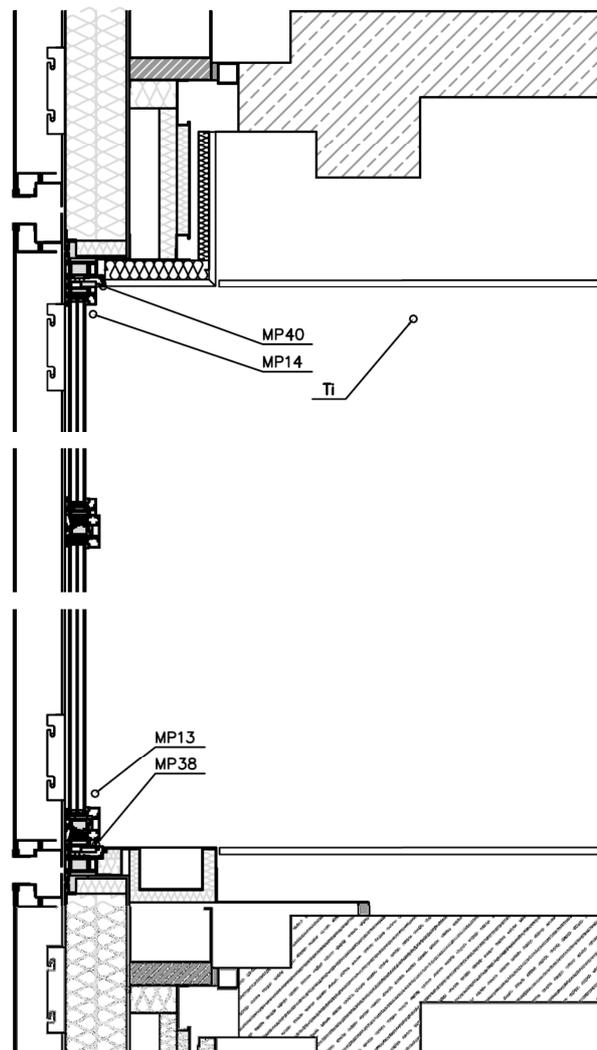
**Abb. 60 Temperaturverläufe der Außenluft sowie der Innenluft im 1.OG und 2.OG**

Für den ausgewählten Zeitraum werden neben den Temperaturverläufen Temperaturfaktoren und Werte der relativen Luftfeuchtigkeit ausgewertet. Die Temperaturfaktoren werden mittels Messdaten nach Form. 6 berechnet. Die Werte der

relativen Luftfeuchtigkeit für die Messpunkte werden aus den Raumklimadaten (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) und den gemessenen Oberflächentemperaturen des betrachteten Punktes ermittelt. Zu Vergleichszwecken zwischen Berechnungsergebnissen und Messdaten der zwei Stockwerke sind die Oberflächentemperaturen selbst aufgrund der unterschiedlichen Außen- und Innenraumtemperaturen nicht geeignet, daher wird diesbezüglich auf Temperaturfaktoren zurückgegriffen. Alle Ergebnisse zu den Auswertungen und getätigten Berechnungen sind in Anhang VIII zusammengefasst.

Ein Vergleich zwischen Messergebnissen und Berechnungsergebnissen sind nur mit Einschränkungen möglich, da zwischen Planung und Ausführung geringfügige Abweichungen auftreten. So ist z.B. die Dämmungen im unteren Schacht für die Solarthermieleitungen noch nicht zur Gänze eingebaut worden. Ebenfalls fehlt zu diesem Zeitpunkt die Steinwollendämmung in den vertikalen Schächten und den seitlichen Leibungen des Türelementes. Da durch den hohen Anteil an Metallblechen Wärmeenergie vorwiegend über diese transportiert wird, ist der Einfluss der fehlenden Dämmungen schwierig abzuschätzen. Weitere Einschränkung der Vergleichbarkeit stellen die Wärmeeinträge von haustechnischen Leitungen, die Verteilung der Innenlufttemperatur über die Raumhöhe und die in den Berechnungen normativ hoch angesetzten inneren Wärmeübergangswiderstände dar. Genaue Betrachtungen wurden diesbezüglich im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgenommen.

## 6.5.1 Türelement



**Abb. 61 Anordnung der Messpunkte am Türelement im 2.OG (iVSH)**

Am Türelement wurden nur im 2.OG Messsensoren angebracht, wo eine innere Vorsatzschale aus Holz ausgeführt wurde. Die zwei Messpunkte nahe der Kante Verglasung zu Rahmen (MP13, MP14) liegen nicht direkt an der Bauteiloberfläche, weisen daher nicht die niedrigsten Temperaturen in diesem Bereich auf. Trotzdem werden diese Messstellen für eine generelle Beurteilung herangezogen. Mit  $16,15^{\circ}\text{C}$  (MP13) und  $17,08^{\circ}\text{C}$  (MP14) wurden am 22.02.2013 keine kritischen Temperaturen gemessen und die Temperaturfaktoren von 0,91 bzw. 0,95 erreicht (siehe Tab. 39). Dabei fällt die Temperatur im Sturzbereich um ca. 1 K höher aus als an der Schwelle. Auch die Verläufe der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit weisen keine kritisch niedrigen Werte auf.

Gemittelte Werte aus den Messergebnissen vom 22.03.2013 (04:00 – 06:00)							
Pkt-Nr.	Beschreibung	T <sub>a</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>sa</sub>	T <sub>si</sub>	f <sub>Rsi</sub> - Messung	f <sub>Rsi</sub> - Berechnung
<b>1.OG (iVSM)</b>							
MP13	Tai; TÜR, Schwelle	-4,3	18,2	16,2		<b>0,91</b>	-
MP14	Tai; TÜR, Sturz			17,1		<b>0,95</b>	-
MP38	Tsi; TÜR, Schwelle				12,0	<b>0,72</b>	<b>0,76<sup>6</sup></b>
MP40	Tsi; TÜR, Sturz				15,5	<b>0,88</b>	<b>0,63<sup>7</sup></b>

**Tab. 39 Außen-, Innenraum- und Oberflächentemperaturen sowie Temperaturfaktoren für die Messpunkte am Türelement im 2.OG (iVSH)**

Am Aluminiumrahmen der Schwelle (MP38) bzw. an der Stockverbreiterung im Sturzbereich (MP40) werden erwartungsgemäß wesentlich niedrigere Temperaturen erreicht als in den zwei vorangegangenen Messpunkten, wobei sich auch hier am Sturz höhere Temperaturen einstellen. Die niedrigeren Temperaturen an der Schwelle werden einerseits durch den geringeren Wärmedurchgangswiderstand des Türprofils im Vergleich zum Wärmedurchgangswiderstand des Oberlichtenprofils (siehe auch 5.3) und andererseits durch die bodennahe Lage und der konvektionsunterbindenden Eckausbildung, aufgrund dessen eine geringere Wärmezuführung aus dem Raum vorherrscht als im Sturzbereich, verursacht.

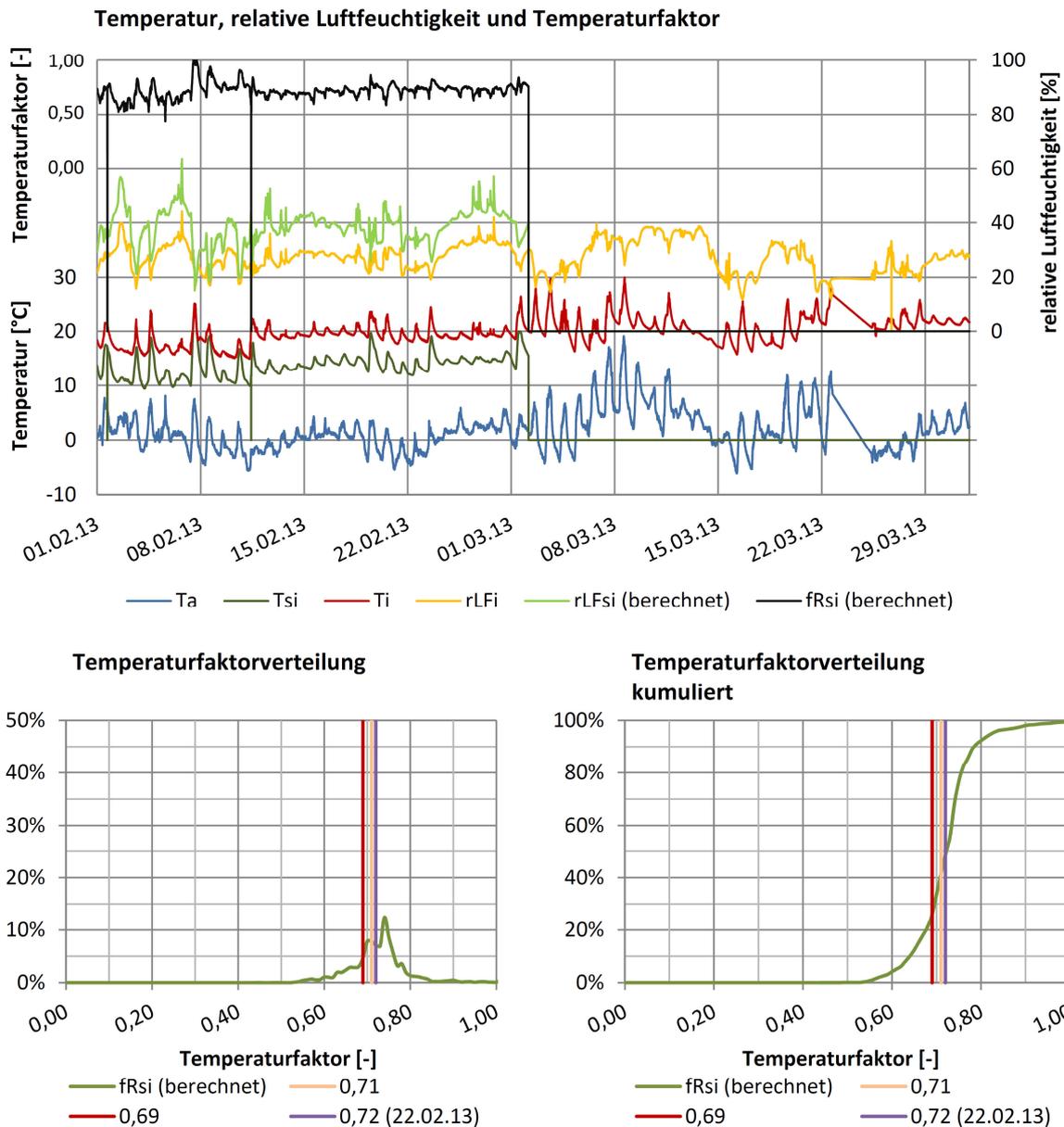
Der für die Kante Rahmen zu Stockverbreiterung (nähe MP38) berechnete Temperaturfaktor stellt das Detail geringfügig günstiger dar als die Messungen zeigen. Dies geht vermutlich auf die in der Berechnung verwendeten Innentemperaturen zurück, welche über den gesamten Raum gleich angesetzt werden, wo sich im Realfall in Bodennähe aber tiefere Temperaturen einstellen. Weiters wurden die modellierten Steinwollgedämmungen im Schwellenbereich unter der Brüstungsträgerabdeckung nicht eingebaut, was zu einem höheren Wärmeverlust nach außen führt, als in der Modellierung dargestellt. Der Messpunkt MP40 (Kante Stockverbreiterung zu Leibungsverkleidung) sollte aufgrund der Berechnungsergebnisse niedrigere Temperaturen aufweisen als der Messpunkt MP38, was durch die zuvor beschriebenen Temperaturdifferenzen zwischen bodennahen und deckennahen Luftschichten nicht eintritt.

Bei Betrachtung des Messpunktes MP38, wo ein Temperaturfaktor von 0,72 für den ausgewählten Zeitraum am 22.03.2013 erreicht wird, zeigen sich bei der Temperaturfaktorverteilung, dass über den Zeitraum Februar und März etwas mehr als 20 %

<sup>6</sup> Wert aus Berechnung mittels Variante 2 (Brüstungsträger mit thermischer Trennung) mit innerer Holzvorsatzschale für P2 (Kante Rahmen zu Stockverbreiterung) (siehe Kapitel 6.4.1).

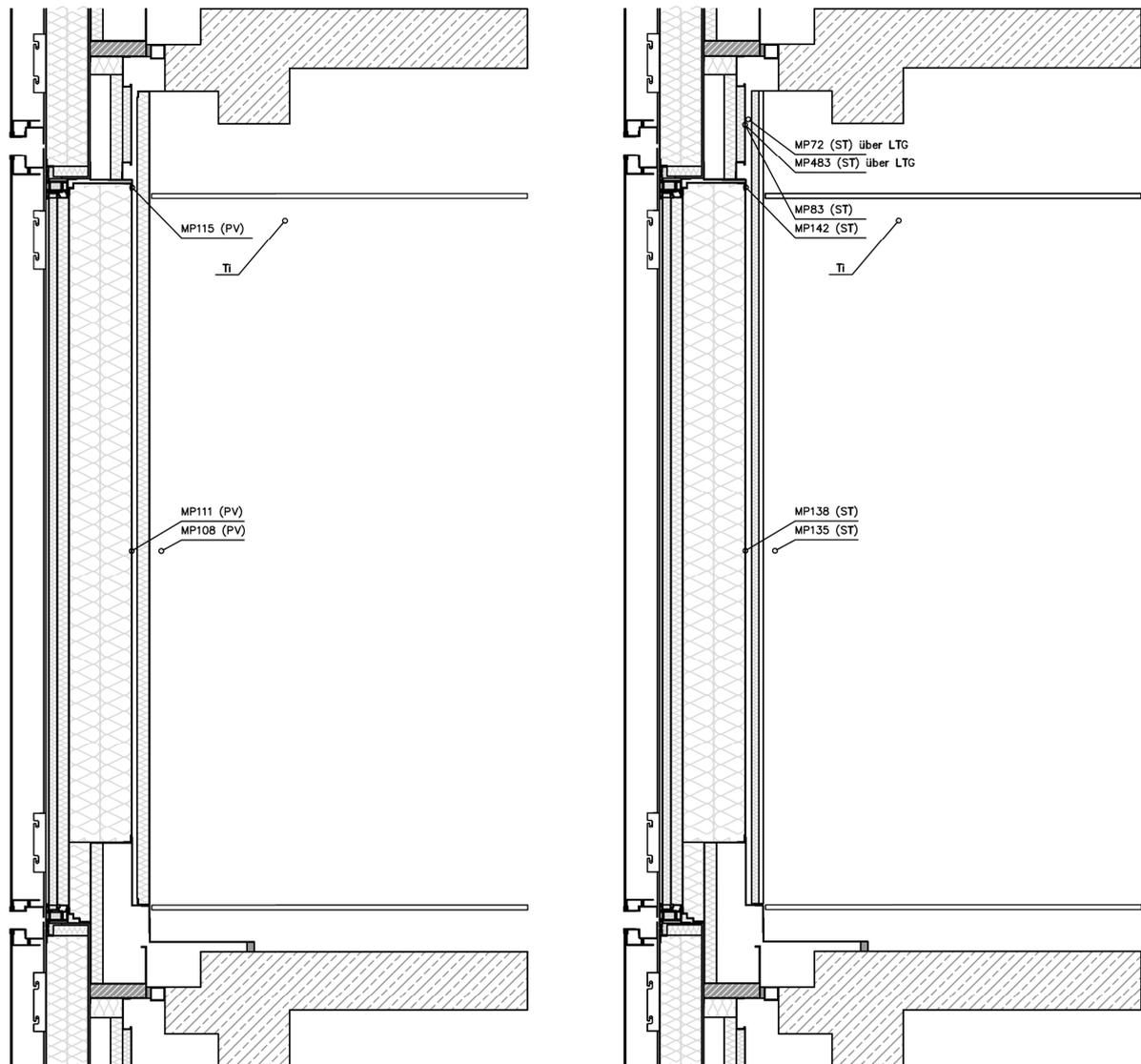
<sup>7</sup> Wert aus Berechnung mittels Variante 2 (Brüstungsträger mit thermischer Trennung) mit innerer Holzvorsatzschale für P8 (Kante Stockverbreiterung zu Leibungsverkleidung) (siehe Kapitel 6.4.1).

der Zeit der Grenzwert zur Kondensatbildung ( $f_{Rsi} = 0,69$ ) unterschritten wird (siehe Abb. 62). Aufgrund des temperaturträgen Verhaltens von Baumaterialien und der dadurch entstehenden Phasenverschiebungen sind diese Ergebnisse jedoch nur als Richtwerte anzusehen. Trotz längerer Unterschreitung der Grenzwerte erreicht die relative Luftfeuchtigkeit an der Bauteiloberfläche einerseits aufgrund der konservativen Betrachtung durch die Normung und andererseits aufgrund der niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit im Raum selten Werte über 60 %.



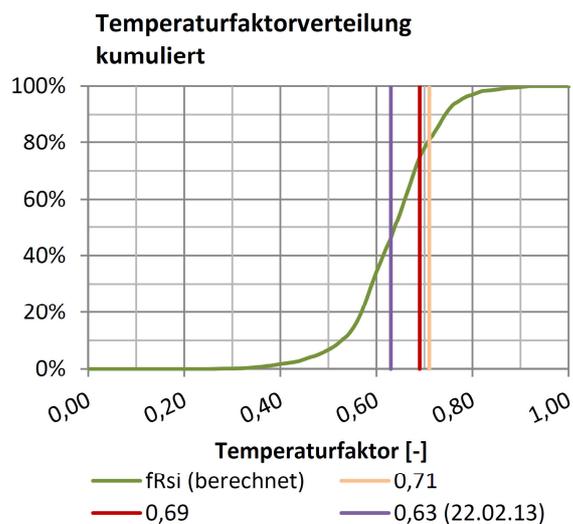
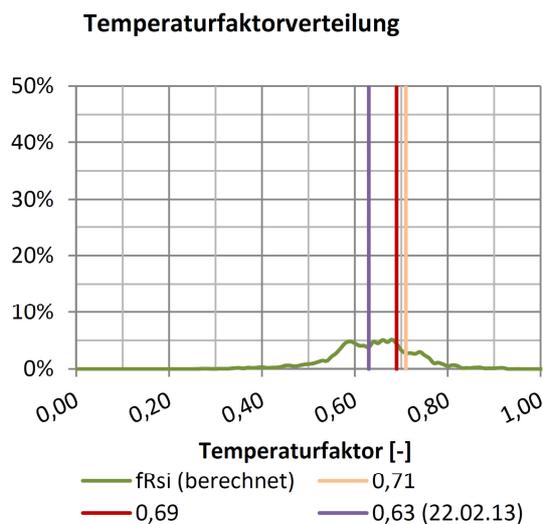
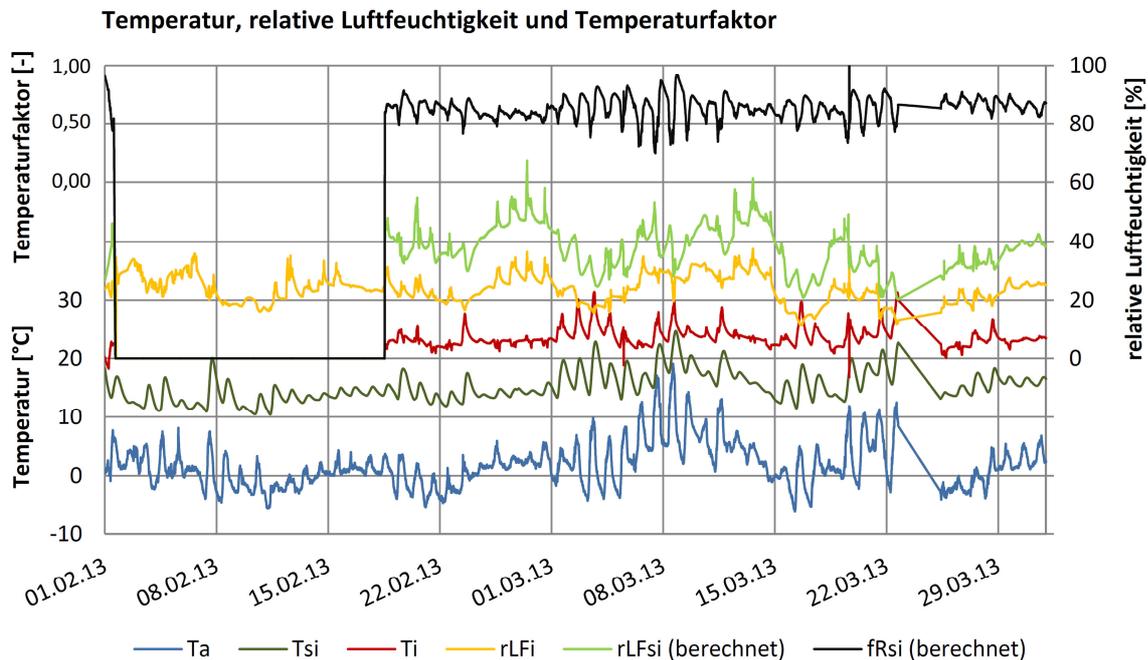
**Abb. 62 Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Temperaturfaktor für den Messpunkt MP38: Tsi; TÜR, Schwelle, Mitte: Kante Rahmen zu Stockverbreiterung**

### 6.5.2 Opakes Element und Brüstungsträger



**Abb. 63 Anordnung der Messpunkte am opaken Element und Brüstungsträger;  
links im 1.OG (iVSM), rechts im 2.OG (iVSH)**

Am opaken Element und Brüstungsträger wurden Temperatursensoren an und nahe der Innenoberfläche sowohl im ersten als auch im zweiten Obergeschoß angebracht. Vor den Vorsatzschalen (MP108 im 1.OG, MP135 im 2.OG) herrschen, mit Abweichungen von maximal 0,3 K, Temperaturen nahe der Raumlufttemperatur (siehe Tab. 40).



**Abb. 64 Temperaturen, relative Luftfeuchtigkeit und Temperaturfaktoren für den Messpunkt MP115: Tsi, OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel oben**

Im ersten Obergeschoß nahe der Mitte des opaken Elementes erreichen die Oberflächentemperaturen des inneren Dämmpaneels (Einstellpaneel) in der Hinterlüftungsebene (MP111 im 1.OG) um ca. 7 K niedrigere Temperaturen als die Raumluft, was noch zu keinen kritischen Werten führt. Nahe des oberen Abschlusses des opaken Elementes, wo die Metallbleche des Brüstungsträgers und des opaken Elementes eine starke Wärmebrücke formen, zeigt der angeordnete Messpunkt eine deutliche Abkühlung

und erreicht eine Temperatur von 12,2°C (MP115). Mit 0,63 ist der Temperaturfaktor auch in den Messergebnissen deutlich unter den Grenzwerten nach ÖNORM B 8110-2. Durch die niedrige relative Luftfeuchtigkeit der Raumlufte steigt die relative Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche im Betrachtungszeitraum Februar und März aber nur an wenigen Stunden über 60 % (siehe Abb. 64).

Gemittelte Werte aus den Messergebnissen vom 22.03.2013 (04:00 – 06:00)								
Pkt-Nr.	Beschreibung	T <sub>a</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>sa</sub>	T <sub>si</sub>	f <sub>Rsi</sub> - Messung	f <sub>Rsi</sub> - Berechnung	
<b>1.OG (iVSM)</b>								
MP108	Tai; OP Mitte, vor innerer Vorsatzschale	-4,3	21,9	21,6		<b>0,99</b>	-	
MP111	Tsi; OP Mitte, in Hinterlüftungsebene					15,1	<b>0,74</b>	<b>0,77<sup>8</sup></b>
MP115	Tsi; OP Oben, in Hinterlüftungsebene					12,2	<b>0,63</b>	<b>0,52<sup>9</sup></b>
<b>2.OG (iVSH)</b>								
MP135	Tai; OP Mitte, vor innerer Vorsatzschale	-4,3	18,2	18,1		<b>0,99</b>	-	
MP138	Tsi; OP Mitte, in Hinterlüftungsebene					18,2	<b>1,00</b>	<b>0,78<sup>10</sup></b>
MP142	Tsi; OP Oben, in Hinterlüftungsebene					12,2	<b>0,73</b>	<b>0,53<sup>11</sup></b>
MP83	Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene					13,8	<b>0,80</b>	-
<b>2.OG (iVSH) über LTG</b>								
MP72	Tai; BT, in Hinterlüftungsebene	-4,3	18,2	18,0		<b>0,99</b>	-	
MP483	Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene					16,8	<b>0,94</b>	-

**Tab. 40 Außen-, Innen- und Oberflächentemperaturen sowie Temperaturfaktoren für die Messpunkte am opaken Element im 1. OG (iVSM) und 2.OG (iVSH)**

Im zweiten Obergeschoß erreichen die Temperaturen an den Messstellen in der Mitte des opaken Elementes (MP135, MP138) Werte nahe der Raumlufteemperatur. Diese hohen Temperaturen werden durch die Abwärme der, im unteren Bereich des opaken Elements verlaufenden, Heizungszuleitungen für das, nur im zweiten Obergeschoß eingebaute, LTG-

<sup>8</sup> Wert aus Berechnung des Anschlusses zweier opaker Elemente mit innerer Metallvorsatzschale für P8 (ungestörte Oberfläche des inneren Paneels) (siehe Kapitel 6.2.3).

<sup>9</sup> Wert aus Berechnung mittels Variante 2 (Brüstungsträger mit thermischer Trennung) mit innerer Metallvorsatzschale für P6 (Unterkante unterer Schacht) (siehe Kapitel 6.4.2).

<sup>10</sup> Wert aus Berechnung des Anschlusses zweier opaker Elemente mit innerer Holzvorsatzschale für P8 (ungestörte Oberfläche des inneren Paneels) (siehe Kapitel 6.2.3).

<sup>11</sup> Wert aus Berechnung mittels Variante 2 (Brüstungsträger mit thermischer Trennung) mit innerer Holzvorsatzschale für P6 (Unterkante unterer Schacht) (siehe Kapitel 6.4.2).

---

Gerät verursacht. Im Bereich der Wärmebrücke (MP142) entsteht dadurch bei niedrigerer Raumtemperatur eine annähernd gleiche Oberflächentemperaturen wie am Messpunkt im ersten Obergeschoß (MP115). Daher sind diese Messergebnisse für eine Beurteilung nicht geeignet.

Der Messpunkt an der Innenoberfläche der Wartungsklappe (MP83), welcher mittig angebracht ist, weist mit 13,8°C etwas höhere, und dadurch unkritische, Temperaturen auf als an der Oberfläche der Wärmebrücke gemessen werden (MP142). Die Messpunkte in ähnlicher Lage über dem opaken Element mit LTG-Gerät, wobei mit MP72 die Lufttemperatur in der Hinterlüftungsebene und mit MP483 die Oberflächentemperatur der Wartungsklappe erfasst wird, zeigen wesentlich höhere Temperaturen. Durch das wärmeabgebende LTG-Gerät stellt sich hier eine Konvektionsströmung nach oben ein, die zu einer Erhöhung der Temperaturen an der Innenseite der Fassade führt.

## 6.6 Oberflächentemperaturen und Oberflächenluftfeuchtigkeit – Zusammenfassung

- Entlang der vertikalen Fuge des Türelements inklusive seitlicher Leibung ergeben sich, unabhängig von der Vorsatzschalenvariante, keine kritischen Oberflächentemperaturen.
- Das opake Element verursacht mit den außenliegenden Metallblechen, die durch hohe Wärmeleitfähigkeiten als Kühlrippen wirken, an der Kante zwischen Türprofil und seitlicher Leibung niedrigere Temperaturen als am Glasrandverbund.
- Über die Leibung kann in den Blechen der Metallvorsatzschale wesentlich mehr Wärmeenergie transportiert werden als in den Platten der Holzvorsatzschale. Das führt in der Variante mit Metallvorsatzschale zu um bis zu 3 K höheren Oberflächentemperaturen am Türprofil als in der Variante mit Holzvorsatzschale.
- Im Sturzbereich des Türelements ergeben sich, wie auch entlang der seitlichen Leibung, die tiefsten Oberflächentemperaturen des Türprofils an der Kante zur Leibung (Sturzabdeckung). Mit 10,1°C im Detail mit Metallvorsatzschale und 7,3°C im Detail mit Holzvorsatzschale werden Temperaturen unter dem Grenzwert der ÖNORM B 8110-2 zur Vermeidung von Kondensat erreicht.
- Im Schwellenbereich des Türelements fallen die Oberflächentemperaturen des Aluminiumrahmens aufgrund der größeren Wärmeableitung über die Metallbleche höher aus als im Sturzdetaill und unterschreiten den Grenzwert zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung geringfügig.
- In den Details mit opakem Element treten an der raumzugewandten Oberfläche der inneren Vorsatzschale keine kritischen Werte auf.
- Bei Betrachtung der ausgewerteten Punkte in der Hinterlüftungsebene werden im Horizontalanschluss zweier opaker Elemente (in der Testfassade nicht verwirklicht) an der Schachtabdeckung über einen größeren Bereich Oberflächentemperaturen unter 10°C erreicht (Kante Schachtabdeckung: Metallvorsatzschale 9,2°C; Holzvorsatzschale 7,3°C). Es ergibt sich somit der minimalste Temperaturfaktor von 0,59 in der Variante mit Vorsatzschale aus Holz.
- Im Schwellenbereich des opaken Elements entstehen in der Hinterlüftungsebene der Vorsatzschale keine kritischen Temperaturen.
- Im Anschluss des opaken Elements zum Brüstungsträger (Sturzbereich) fallen die Temperaturen in der Hinterlüftungsebene am Brüstungsträger auf unter 6°C ab (Unterkante unterer Schacht), mit nur geringen Unterschieden zwischen den

---

Vorsatzschalenvarianten. Einerseits ist das auf die hohe Wärmeleitung der wärmedämmungsumschließenden Bleche des opaken Elements und des Brüstungsträgers sowie auf die thermischen Trennungen zurückzuführen. Andererseits wird dieser Umstand auch den verhältnismäßig hohen Wärmedurchgangswiderständen der inneren Vorsatzschalenvarianten geschuldet.

- In der Hinterlüftungsebene des Brüstungsträgers im Sturzbereich des Türelements fallen die niedrigsten Temperaturen, mit 10,1°C in der Variante mit Metallvorsatzschale und 7,3°C in der Variante mit Holzvorsatzschale (Unterkante unterer Schacht), wesentlich höher aus als im Anschlussdetail des opaken Elements, was auf den höheren Wärmeeintrag über die Leibungsfläche zurückzuführen ist.
- Durch die nicht modellierbare Luftdurchströmung der Hinterlüftungsebene und die damit einhergehende Erhöhung der Oberflächentemperaturen ist das tatsächliche Risiko einer Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung durch Berechnungen schwer abschätzbar.
- Dreidimensionale Modellierungen von Eckanschlüssen der Türprofile mit opakem Element und Brüstungsträger sind aufgrund der komplexen Modellierung und der hohen Elementanzahlen nicht möglich. In Kombination mit Brüstungsträgerabschlüssen können sich in Eckbereichen tiefere Temperaturen einstellen, was aber durch den normativ erhöhten inneren Wärmeübergangswiderstand bei Betrachtung der kritischen Oberflächentemperaturen teilweise berücksichtigt ist.
- Die Messergebnisse bestätigen die Lage der kritischen Bereiche aus den Berechnungen. So stellen sich an der Schwelle am Türelement auch in den Messergebnissen Temperaturfaktoren von 0,72 ein. Durch die Temperaturschichtung über die Raumhöhe und aufgrund von Luftströmungen ist dies für den Sturzbereich aber nicht der Fall.
- Die tiefsten gemessenen Oberflächentemperaturen in der Hinterlüftungsebene der inneren Vorsatzschale ergeben sich, wie in den Berechnungen, im Anschlussbereich des Brüstungsträgers zum opaken Element (Unterkante unterer Schacht). Die dort gemessenen 12,2°C ergeben bei einer Innenraumtemperatur von 21,9°C einen Temperaturfaktor von 0,63 – somit deutlich unter den Grenzwerten lt. Normung.
- Durch die niedrigen Werte der raumseitigen Luftfeuchtigkeit (nahezu ständig unter 40 %) treten an den Messpunkten der Fassadenoberfläche nur während weniger Stunden in den Monaten Februar und März Werte knapp über 60 % auf.

## 7 Erkenntnisse und Optimierungspotential

Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeiten von Metallen werden ungestörte Bereiche erst in größerer Entfernung von Wärmebrücken erreicht. Durch die geringe Höhe des Brüstungsträgers ist dadurch eine Teilung des Trägers in zwei Betrachtungsbereiche in der Regel nur mit großen Genauigkeitsverlusten möglich. In zweidimensionalen Berechnungen wird durch die Unterteilung des Trägers der mögliche Wärmestrom zwischen den Betrachtungsbereichen unterbunden, wodurch das Ergebnis der Berechnung günstiger ausfällt und somit ein geringerer längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient berechnet wird. In den dreidimensionalen Betrachtungen stellt sich durch die thermische Trennung ein Wärmestrom orthogonal zur Fassadenfläche ein. Dadurch erfolgt auch an der gewählten Schnittebene bei Modellierung des gesamten Trägers der Wärmestrom parallel zu dieser adiabaten Ebene und der entstehende Fehler im Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten minimiert sich für diese Zusammensetzung. Die Betrachtung der Einzelbauteile ist trotzdem mit großen Ungenauigkeiten behaftet, da sich in den Einzelmodellierungen unterschiedliche Wärmeströme und Richtungen ausbilden und erst bei der Modellierung des Gesamtsystems die erforderlichen Bedingungen zur fehlerminimierten Unterteilung erreicht werden. Daher ist die Unterteilung des Trägers in dieser Zusammenstellung zwar zur Ermittlung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten geeignet, aber kann in Untersuchungen zu Oberflächentemperaturen mit unterschiedlichen Szenarien zu großen Abweichungen in den Ergebnissen führen.

Veränderungen an der Fassadenausführung zur thermischen Optimierung können unter anderem eine Änderung des Tragverhaltens, des Montageablaufes, des akustischen Verhaltens und des Erscheinungsbildes bewirken. Deshalb sind alle Veränderungen auch hinsichtlich der Auswirkungen auf Funktionen und Ausführbarkeit zu betrachten. Thermische Optimierungen beeinflussen den Wärmeverlust einzelner Details und in weiterer Folge den Gesamtwärmeverlust der Fassade in gleichem Maße wie die innere Oberflächentemperatur und werden an dieser Stelle daher gemeinsam behandelt.

- Im seitlichen Leibungsbereich des Türelements ist zwischen den Metallprofilen des vertikalen Schachtes und der inneren Metallvorsatzschale keine Wärmedämmung verbaut, obwohl Platz für zumindest 17 mm Steinwollgedämmung ist, um eine gleiche Leibungsdicke wie die Holzvorsatzschale (19 mm Sperrholzplatte) zu erreichen.
- Die Türelemente sind mit L-förmigen Profilen im Sturz- und Schwellenbereich am Brüstungsträger befestigt. Dieses Befestigungsprofil sorgt in Kombination mit den thermischen Trennungen im Brüstungsträger für einen erhöhten Wärmestrom von der

---

Innenoberfläche des Aluminiumtürprofils nach außen. Um diesen Wärmestrom zu verringern, kann die Befestigung der Türelemente am Brüstungsträger punktweise statt linear erfolgen.

- Die Stockverbreiterung stellt im Vergleich zum Rahmenprofil eine Wärmebrücke dar, die durch ein breiteres Rahmenprofil ersetzt werden könnte, was aber den Verlust einer universalen Austauschbarkeit der Elemente (Türelement und opakes Element) zur Folge haben würde.
- Das Türelement ist bündig mit der Außenkante der Fassade angeordnet. Eine Verschiebung des Türelements nach innen bewirkt eine günstigere Isothermenverteilung im Anschlussbereich zum Brüstungsträger und ermöglicht eine außenliegende Überdämmung des Türrahmens. Ein solcher Eingriff zieht aber weitreichende konstruktive Folgen nach sich.
- Um Kühlrippeneffekte des äußeren, dünnen Metallpaneels zu verringern, ist es notwendig, die Anzahl der sich in diesem Bereich befindenden, hintereinanderliegenden Metallbleche zu reduzieren. Ein Lösungsansatz wäre, das opake Element, welches in dieser Ausführung aus zwei Elementen besteht, aus nur einem Element zu erzeugen. Es ist ein ähnlicher Aufbau, wie der des Brüstungsträgers möglich, vor allem im Hinblick auf den Anschluss zwischen opakem Element und Brüstungsträger sowie zwischen opakem Element und Türelement, wobei das Aluminiumrahmenprofil im opaken Element entfällt.
- Die Entwicklung eines opaken Elements mit Parapet und Fenster kann bei geringer Verminderung des Lichteinfalles zur Reduktion des Wärmeverlustes beitragen.
- Wärmedämmungsdurchdringende oder -umschließende Metallbauteile, wie sie vor allem im opaken Element, aber auch im Schwellenbereich des Türelements und in den Schächten eingesetzt wurden, sorgen für hohe Wärmeverluste und können, zum Beispiel in abgewandelter Form, wie die thermische Trennung im Brüstungsträger, thermisch getrennt ausgeführt werden. Besitzen diese Bleche keine hohe statische Tragwirkung ist es auch denkbar, diese durch glasfaserverstärkte Kunststoffe mit niedrigen Wärmeleitfähigkeiten zu ersetzen.
- Eine Verringerung der Anzahl der thermischen Trennungen stellt in diesem Fassadenprototyp die einfachste Variante dar, Wärmeverluste zu reduzieren, da diese für ca. 26 % des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten verantwortlich sind. In der Testfassade wurden diese in einem Raster von 250 mm eingebaut, um nachträgliche Änderungen im Versuchsaufbau der äußeren Funktionsebene zu ermöglichen. Im herkömmlichen Fall sind diese nur in wesentlich größeren Abständen bzw. durch die seitliche Brüstungsträgerausführung gar nicht erforderlich.

- Falls es die statischen Erfordernisse zulassen, kann von einer Befestigung der thermischen Trennungen am oberen und unteren Brüstungsträgerrand abgesehen werden. So sinkt der Wärmestrom über die thermische Trennung vor allem über die Leibungsflächen im Türbereich drastisch.
- Die Berechnungen haben hohe Wärmeströme in beinahe allen Metallbauteilen gezeigt. Eine Trennung aneinander liegender Bleche mit Kunststoffzwischenlagen sorgt für eine wesentliche Verringerung der transportierten Wärmeenergie. Dies kann unter anderem zwischen den Brüstungsträgern und den inneren Metallschächten, den Befestigungswinkeln zwischen Aluminiumprofile und Brüstungsträger (sowohl im opaken Element als auch im Türelement) und den Randabschlüssen des inneren, dicken Metallpaneels des opaken Elements erfolgen.
- Da die thermischen Trennungen des Brüstungsträgers für einen großen Teil des Wärmetransportes verantwortlich sind, kann es von Vorteil sein den Brüstungsträger selbst in geringerer Stärke auszuführen und an Stelle dessen an der Innenseite eine Dämmung anzubringen. Dabei ist aber besonderes Augenmerk auf die Verhinderung von Feuchtigkeitseinträgen in die innere Dämmung zu legen.
- Gewisse Metallquerschnitte scheinen statisch nicht erforderlich zu sein, wie zum Beispiel die U-Profile der seitlichen Abschlüsse der opaken Elemente. Weiters sind Verbindungsmittel linear angeschlossen, wo eine punktuelle Verbindung ausreichend erscheint (zum Beispiel Befestigungswinkel der Bodenkonvektoren im Schwellenbereich der Tür). Eine Verminderung der Metallquerschnitte und der Verbindungslängen reduziert den Wärmetransport in den besagten Metallbauteilen.
- Die Entwicklung von längeren Brüstungsträgern und größeren raumbildenden Elementen kann die Anzahl der vertikalen Fugen pro Laufmeter Fassade verringern und erzeugt so indirekt eine Verminderung des Wärmeverlustes.
- Abdecken des oberen, auf der Stahlbetondecke aufliegenden Konsolenflansches mit Wärmedämmung stellt eine sehr einfach durchzuführende Möglichkeit dar, Wärmeverluste zu minimieren, wobei der positive Effekt, aufgrund des geringen Anteils der Konsolen am Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade minimal ausfallen wird.
- Zur Erhöhung kritischer Oberflächentemperaturen in der Hinterlüftungsebene der inneren Vorsatzschale, ohne die mittlere Funktionsebene zu verändern, ist es einerseits möglich Lüftungsquerschnitte zum Innenraum zu vergrößern bzw. zu schaffen und andererseits den Wärmedurchgangswiderstand der inneren Vorsatzschale zu verringern (Ausführung einer dünneren Dämmschicht). Dadurch erhöht sich jedoch der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Fassade.

---

Durch geringfügige Adaptionen, die auch Einschränkungen nach sich ziehen können, ist es durchaus denkbar, den Wärmedurchgangskoeffizienten der Fassade um bis zu 20% zu senken. Die Veränderungen mit dem größten Einfluss stellt die Reduktion der Anzahl der thermischen Trennungen des Brüstungsträgers dar, was jedoch den Verlust der Flexibilität bezüglich der Montage unterschiedlicher Module in der äußeren Funktionsebene nach sich zieht. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeiten der Metalle stehen die einzelnen modellierten Bereiche in Wechselwirkung, was bei Adaptionen eine Neuberechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten erfordert. Dies ist auch bei einfach erscheinenden Maßnahmen wie die Verringerung der thermischen Trennungen notwendig. Daher können keine genauen Angaben der Wärmeverlustminimierung ohne detaillierte Berechnung gegeben werden.

## 8 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es im ersten Schritt die Bauteilgeometrie in der Software AnTherm zu modellieren, was sich aufgrund der Komplexität der Fassade als äußerst aufwändig erwies. Im zweiten Schritt wurden die Wärmeverluste der Prototypfassade in Form von Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten ermittelt. Im dritten Schritt galt es Bereiche mit kritischen Innenoberflächentemperaturen zu identifizieren und auf Kriterien zur Hintanhaltung von Schimmelpilzbildung und Vermeidung von Kondensat zu prüfen. Im vierten und letzten Schritt wurden die gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um Optimierungsmöglichkeiten auszuarbeiten.

Der Fassadenprototyp II weist trotz der vielfältigen Funktionen, deren gemeinsame Ausführung konstruktiv nicht einfach zu realisieren ist, einen guten Wärmeschutz mit einem Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten unter  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf. Ca. 60 % des Wärmeverlustes erfolgt über Wärmebrücken, was auf ein erhebliches Verbesserungspotential hinweist. Hervorzuheben ist dabei der große Anteil der thermischen Trennungen, welche einfache Möglichkeiten zur Reduktion des Wärmeverlustes bieten.

Die Berechnungen zeigen an raumzugewandten Oberflächen nur an den Aluminiumrahmenprofilen der Tür kritische Temperaturen, was zu Temperaturfaktoren geringfügig unter den, lt. ÖNORM B 8110-2, zulässigen Werten führen. In der Hinterlüftungsebene der inneren Vorsatzschale erreichen die Temperaturen an Wärmebrücken nicht zuletzt aufgrund der relativ hohen Wärmedurchgangswiderstände der Vorsatzschalen wesentlich niedrigere Werte. Der nicht modellierbare Luftwechsel zwischen Hinterlüftungsebene und Innenraum macht eine ausreichend zuverlässige Bewertung durch Berechnungen nicht möglich. Die ausgewerteten Messergebnisse bestätigen die zuvor ermittelten kritischen Punkte, es wurden aber nur selten an Bauteiloberflächen Werte der relativen Luftfeuchtigkeit über 60 % erreicht. Dies liegt einerseits an der Normung, wo konservative Grenzen für Temperaturfaktoren angegeben sind, und andererseits an den niedrigen Werten der relativen Luftfeuchtigkeit in den Räumen (unter 40 %), wodurch auch bei niedriger Oberflächentemperatur keine hohe relative Luftfeuchtigkeit erreicht wird.

In thermischer Hinsicht besteht somit Optimierungspotential, was durchaus mit einfachen Mitteln umzusetzen ist, wie die beschriebenen Möglichkeiten zeigen. Bei einer Multifunktionalen Plug & Play Fassade ist jedoch auf die Wechselwirkungen mit anderen Komponenten der Fassade Rücksicht zu nehmen, wodurch die uneingeschränkte Umsetzung nicht immer möglich ist.



---

## Literaturverzeichnis

- [1] Brigitte Bach, Susanne Gosztony, Michael Grobbauer, Richard Heimrath, Christoph Hochenauer, Erwin Hochreiter, Peter Kautsch, Thomas Mach, Ardeshir Mahdavi, Peter Maydl, Mario J. Müller, Jürgen Neugebauer, Kristina Orehounig, Alexander Passer, Mirza Popovac, Rene Rieberer, Markus Rennhofer, Ernst Schmutzer, Hermann Schranzhofer, Matthias Schuss, Wolfgang Streicher, Heinz Wascher, Shokufeh Zamini: K-Project Final Evaluation Core Document – Multifunctional Plug & Play Facade (FFG Project Number: 815075). zur Zeit des Verfassens der Arbeit noch nicht veröffentlicht
- [2] Michael Grobbauer – Technische Universität Graz, Institut für Hochbau: Erfindungsmeldung. Multifunktionsfassade in Modulbauweise mit „Plug and Play – Fähigkeit“. 2012
- [3] Tomasz Kornicki: <http://www.antherm.at/antherm/Validierung/Validation10211.pdf> – 23.07.2013
- [4] Tomasz Kornicki: <http://www.antherm.at/antherm/Validierung/Validation10077.pdf> – 23.07.2013
- [5] Klaus Kreč: [http://www.antherm.at/antherm/Validierung/Validation10211\\_Stellungnahme\\_Krec\\_20090307.pdf](http://www.antherm.at/antherm/Validierung/Validation10211_Stellungnahme_Krec_20090307.pdf) – 23.07.2013

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

**ÖNORM EN 673:** Glas im Bauwesen – Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) – Berechnungsverfahren. Ausgabe: 2011-03-15

**ÖNORM EN 13119:** Vorhangfassaden – Terminologie. Ausgabe 2007-07-01

**ÖNORM EN ISO 6946:** Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren. Ausgabe: 2008-04-01

**ÖNORM EN ISO 6946:** Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren. Ausgabe: 2005-06-01 (zurückgezogen)

- 
- ÖNORM EN ISO 10211:** Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen. Ausgabe: 2008-04-01
- ÖNORM EN ISO 10077-1:** Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Teil 1: Allgemeines. Ausgabe: 2010-05-15
- ÖNORM EN ISO 10077-2:** Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen. Ausgabe: 2012-11-15
- ÖNORM EN ISO 10077-2:** Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen. Ausgabe: 2003-12-01 (zurückgezogen)
- ÖNORM EN ISO 10456:** Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte. Ausgabe: 2010-02-15
- ÖNORM EN ISO 12631:** Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Ausgabe: 2013-01-15
- ÖNORM EN ISO 13788:** Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächentemperatur und Tauwasserbildung im Bauteilinneren. Berechnungsverfahren. Ausgabe 2002-01-01

---

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Multifunktionale Plug & Play Fassade – Prototyp I: oben Gebäudeansicht, unten Ausschnitt des Bereichs mit Prototypen I [1] .....	4
Abb. 2	Links im Bild die zweigeschossige Testfassade des Prototypen II [1] .....	5
Abb. 3	Vertikalschnitte durch äußere, mittlere und innere Funktionsebene der Fassade ....	7
Abb. 4	Vertikalschnitt durch Brüstungsträger und Konsole.....	9
Abb. 5	Horizontalschnitt durch Brüstungsträger in Höhe des oberen Schachtes (Darstellung ohne Leitungseinbauten) .....	10
Abb. 6	Horizontaler Anschluss zwischen opakem Element und Tür mit innerer Vorsatzschale aus Holz .....	12
Abb. 7	Äußere Funktionsebene mit Prallscheiben.....	14
Abb. 8	Innere Funktionsebene im Sturzbereich des Türelements; links Metallvorsatzschale, rechts Holzvorsatzschale .....	17
Abb. 9	Modellierung der thermischen Trennung.....	22
Abb. 10	Modellierung der Rohrdurchführung .....	23
Abb. 11	Modellierung des Rahmenprofils AWS 90.SI.....	28
Abb. 12	Modellierung des Randverbunds der Dreischeibenverglasung .....	30
Abb. 13	Repräsentativer wärmetechnischer Abschnitt der Fassade .....	32
Abb. 14	Übersicht Wärmedurchgangskoeffizienten; links Berechnung mit gesamtem Träger; rechts Berechnung mit unterteiltem Träger.....	35
Abb. 15	Horizontalschnitt durch Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	37
Abb. 16	Wärmestrom im Horizontalschnitt durch Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	39
Abb. 17	Wärmestrom im Horizontalschnitt durch Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Holz.....	39
Abb. 18	Wärmestromlinien im Horizontalschnitt durch Fuge zweier opaker Elemente mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	41
Abb. 19	Wärmestromlinien im Horizontalschnitt durch Fuge zweier opaker Elemente mit innerer Vorsatzschale aus Holz.....	41
Abb. 20	Vertikalschnitt durch Kämpfer; links modelliertes Detail, rechts Original.....	42

---

Abb. 21	Vertikalschnitt durch Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; links geteilt in Sturz (unten) und Schwelle (oben), rechts gesamter Träger .....	43
Abb. 22	Vertikalschnitt durch Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz; links geteilt in Sturz (unten) und Schwelle (oben), rechts gesamter Träger .....	44
Abb. 23	Wärmestrom im Anschluss des unterteilten Brüstungsträgers zur Oberlichte, mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	46
Abb. 24	Wärmestrom im Anschluss des unterteilten Brüstungsträgers zur Oberlichte, mit innerer Vorsatzschale aus Holz.....	46
Abb. 25	Wärmestrom im Brüstungsträger mit opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteilten Träger, rechts Berechnung mit gesamten Träger .....	48
Abb. 26	Wärmestrom im Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteilten Träger, rechts Berechnung mit gesamten Träger .	48
Abb. 27	Isothermenverlauf der Temperatur im Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteiltem Träger, rechts Berechnung mit gesamtem Träger.....	50
Abb. 28	Isothermenverlauf der Temperatur im Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; links Berechnung mit unterteiltem Träger, rechts Berechnung mit gesamtem Träger.....	50
Abb. 29	Modellierung des Brüstungsträgers mit Türelement und Vorsatzschale aus Metall; links ohne Stahlbetondecke, rechts mit Stahlbetondecke.....	52
Abb. 30	Modellierung der thermischen Trennung im Bereich des unteren Schachtes, mit innerer Vorsatzschale aus Metall (Steinwolle­dämmung im Brüstungsträger ausgeblendet) .	54
Abb. 31	Modellierung der thermischen Trennung im Anschlussdetail Brüstungsträger zu Oberlichte, mit innerer Vorsatzschale aus Metall (Steinwolle­dämmung im Brüstungsträger ausgeblendet).....	55
Abb. 32	Modellierung der thermischen Trennung im gesamten Brüstungsträger mit opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Holz (Steinwolle­dämmung im Brüstungsträger ausgeblendet).....	56
Abb. 33	Wärmestrom im Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Anschluss an opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung .....	58
Abb. 34	Wärmestrom im Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Anschluss an Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung .....	58

---

Abb. 35	Modellierung der Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern mit innerer Vorsatzschale aus Metall zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Steinwolledämmung im Brüstungsträger ausgeblendet) .....	60
Abb. 36	Wärmestrom im Anschluss zwischen zwei Brüstungsträgern, mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Horizontalschnitt durch innere Schraube der thermischen Trennung im Bereich des unteren Schachtes (Berechnungsvariante 3).....	62
Abb. 37	Isothermenverlauf im Anschluss zwischen zwei Brüstungsträgern, mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Horizontalschnitt durch innere Schraube der thermischen Trennung im Bereich des unteren Schachtes (Berechnungsvariante 3).....	62
Abb. 38	Modellierung der Konsolen; links Mittenkonsole, rechts Randkonsole (Steinwolledämmung im Brüstungsträger, innere Schächte, Einbauten und Stahlbetondecke ausgeblendet).....	65
Abb. 39	Wärmestrom im Brüstungsträger (inkl. Fuge zwischen zwei Trägern) mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Vertikalschnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung ohne Randkonsole.....	66
Abb. 40	Wärmestrom im Brüstungsträger (inkl. Fuge zwischen zwei Trägern) mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Vertikalschnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung mit Randkonsole.....	66
Abb. 41	Modellierung der halben Rohrdurchführungen im Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Holz.....	68
Abb. 42	Wärmestrom im Brüstungsträger inkl. thermischer Trennung mit Anschluss an opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Metall; Axonometrie mit Vertikalschnitt durch Rohr.....	69
Abb. 43	Anteile an den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten nach Bauteilen.....	74
Abb. 44	Anteile an den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten nach Bauteilgruppen.....	75
Abb. 45	Prozentuale Differenz zwischen den Vorsatzschalenvarianten.....	76
Abb. 46	Anordnung der ausgewählten Punkte des horizontalen Anschlusses zwischen opakem Element und Tür mit innerer Vorsatzschale aus Metall.....	79
Abb. 47	Isothermenverlauf der Temperatur für den Anschluss zwischen opakem Element und Tür; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz .....	80
Abb. 48	Wärmestromlinien im Anschluss zwischen opakem Element und Oberlichte; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz .....	82

---

Abb. 49	Anordnung der ausgewählten Punkte des horizontalen Anschlusses zwischen opakem Element und Oberlichte mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	83
Abb. 50	Isothermenverlauf der Temperatur für den Anschluss zwischen opakem Element und Oberlichte; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz .....	84
Abb. 51	Anordnung der ausgewählten Punkte des horizontalen Anschlusses zwischen zwei opaken Elementen mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	86
Abb. 52	Isothermenverlauf der Temperatur für den Anschluss zwischen zwei opaken Elementen; oben mit innerer Vorsatzschale aus Metall, unten mit innerer Vorsatzschale aus Holz .....	88
Abb. 53	Anordnung der ausgewählten Punkte des Kämpferdetails.....	90
Abb. 54	Anordnung der ausgewählten Punkte des Brüstungsträgerdetails mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall .....	92
Abb. 55	Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall, ohne thermischer Trennung (Variante 1).....	96
Abb. 56	Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Metall; oben mit thermischer Trennung (Variante 2) – Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung; unten mit Randkonsole (Variante 4)– Schnitt durch äußeren Steg der thermischen Trennung und Randkonsole .....	97
Abb. 57	Anordnung der ausgewählten Punkte des Brüstungsträgerdetails mit opaken Element und innerer Vorsatzschale aus Holz.....	98
Abb. 58	Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz, ohne thermischer Trennung (Variante 1).....	101
Abb. 59	Isothermenverlauf der Temperatur für den Brüstungsträger mit opakem Element und innerer Vorsatzschale aus Holz; oben mit thermischer Trennung (Variante 2) – Schnitt durch inneren Steg der thermischen Trennung; unten mit Randkonsole (Variante 4)– Schnitt durch äußeren Steg der thermischen Trennung und Randkonsole .....	102
Abb. 60	Temperaturverläufe der Außenluft sowie der Innenluft im 1.OG und 2.OG .....	104
Abb. 61	Anordnung der Messpunkte am Türelement im 2.OG (iVSH) .....	106
Abb. 62	Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Temperaturfaktor für den Messpunkt MP38: Tsi; TÜR, Schwelle, Mitte: Kante Rahmen zu Stockverbreiterung.....	108
Abb. 63	Anordnung der Messpunkte am opaken Element und Brüstungsträger; links im 1.OG (iVSM), rechts im 2.OG (iVSH) .....	109
Abb. 64	Temperaturen, relative Luftfeuchtigkeit und Temperaturfaktoren für den Messpunkt MP115: Tsi, OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel oben .....	110

---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Wärmeübergangswiderstände und -koeffizienten .....	20
Tab. 2	Diskretisierungsuntersuchung am Detail des Brüstungsträgers mit Türelement und innerer Vorsatzschale aus Holz.....	25
Tab. 3	Materialkennwerte .....	27
Tab. 4	Wärmedurchgangskoeffizient der Füllung ( $U_p$ -Wert); Auszug aus Ausgabebericht AnTherm .....	28
Tab. 5	Flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile.....	36
Tab. 6	Flächenbezogene Wärmedurchgangswiderstände der Bauteile.....	36
Tab. 7	Tabellarische Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen opakem Element und Tür, mit innerer Vorsatzschale aus Metall .....	38
Tab. 8	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten vertikaler Fugen zwischen opakem Element und Türelement .....	40
Tab. 9	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten vertikaler Fugen zwischen gleichen raumbildenden Elementen .....	40
Tab. 10	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Kämpfers im Türelement .	42
Tab. 11	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten mit unterteiltem Träger .....	45
Tab. 12	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten mit gesamtem Träger .....	47
Tab. 13	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers; Abweichung von Berechnungen mit unterteiltem Träger zu Berechnungen mit gesamtem Träger .....	49
Tab. 14	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten des Brüstungsträgers; Berechnung mit und ohne Stahlbetondecke.....	52
Tab. 15	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Berechnungsvariante 1 .....	54
Tab. 16	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Berechnungsvariante 2.....	56
Tab. 17	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Berechnungsvariante 3.....	57
Tab. 18	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung - Vergleich der Berechnungsmethoden.....	59

---

Tab. 19	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern - Berechnungsvariante 2.....	61
Tab. 20	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern - Berechnungsvariante 3.....	63
Tab. 21	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern - Vergleich der Berechnungsmethoden.....	63
Tab. 22	Vergleich der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der thermischen Trennung und der vertikalen Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern – Berechnungsvariante 3.....	64
Tab. 23	Punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der Konsolen.....	67
Tab. 24	punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten der Rohrdurchführungen.....	69
Tab. 25	Berechnung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten mit unterteiltem Träger und innerer Vorsatzschale aus Metall.....	72
Tab. 26	Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten der Fassade.....	73
Tab. 27	Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für den Anschluss zwischen opakem Element und Tür.....	81
Tab. 28	Vergleich der Oberflächentemperaturen der Anschlüsse zwischen opaken Element und Oberlichte und opaken Element und Tür.....	85
Tab. 29	Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für den Anschluss zwischen opaken Element und Oberlichte.....	85
Tab. 30	Vergleich der Oberflächentemperaturen für die Anschlüsse zwischen zwei Oberlichten, Türen und dem Anschluss zwischen opakem Element und Tür.....	87
Tab. 31	Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für den Anschluss zwischen zwei opaken Elementen.....	89
Tab. 32	Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren für das Kämpferdetail.....	90
Tab. 33	Oberflächentemperaturen im Schwellenbereich des Brüstungsträgers mit Türelement für die Varianten Brüstungsträger, Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole.....	93
Tab. 34	Oberflächentemperaturen im Sturzbereich des Brüstungsträgers mit Türelement für die Varianten Brüstungsträger, Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole.....	94
Tab. 35	Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren des Brüstungsträgers mit Türelement für die Varianten Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole (Variante 4).....	95

---

Tab. 36	Oberflächentemperaturen des Brüstungsträgers mit opakem Element für die Varianten Brüstungsträger, Brüstungsträger mit thermischer Trennung, Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern und Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole .....	99
Tab. 37	Oberflächentemperaturen und Temperaturfaktoren des Brüstungsträgers mit opakem Element für die Varianten Fuge zwischen zwei Brüstungsträgern inkl. Randkonsole (Variante 4).....	100
Tab. 38	Übersicht ausgewerteter Messpunkte .....	103
Tab. 39	Außen-, Innenraum- und Oberflächentemperaturen sowie Temperaturfaktoren für die Messpunkte am Türelement im 2.OG (iVSH) .....	107
Tab. 40	Außen-, Innen- und Oberflächentemperaturen sowie Temperaturfaktoren für die Messpunkte am opaken Element im 1. OG (iVSM) und 2.OG (iVSH) .....	111

## Formelverzeichnis

Form. 1	Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten .....	24
Form. 2	Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmenprofils nach ÖNORM EN ISO 10077-2.....	29
Form. 3	Berechnung des Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten einer Vorhangfassade nach ÖNORM EN ISO 12631 .....	31
Form. 4	Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten nach ÖNORM EN ISO 10211 .....	38
Form. 5	Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des gesamten Brüstungsträgers mit Werten aus Berechnungen mit unterteiltem Träger .....	49
Form. 6	Berechnung des Temperaturfaktors nach ÖNORM EN ISO 10211 bzw. EN ISO 13788 .....	77



# **Anhang I      Ergebnisse eindimensionaler Berechnungen**

<b>I.1 U-Wert Ermittlung Verglasung</b>	<b>1</b>
<b>I.2 U-Wert Ermittlung Brüstungsträger</b>	<b>2</b>
<b>I.2.1 U-Wert Ermittlung Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Metall</b>	<b>2</b>
<b>I.2.2 U-Wert Ermittlung Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Holz</b>	<b>2</b>
<b>I.2 U-Wert Ermittlung opakes Element</b>	<b>3</b>
<b>I.3.1 U-Wert Ermittlung opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Metall</b>	<b>3</b>
<b>I.3.2 U-Wert Ermittlung opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Holz</b>	<b>3</b>



Flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten werden von der Software AnTherm automatisiert erstellt und können bei Bedarf in Form von Bauteillisten in jedem Projekt ausgegeben werden. Die nachfolgenden Angaben zu den jeweiligen Wandaufbauten stellen Auszüge aus diesen Berichten dar.

## I.1 Verglasung

\_Aussen <-> \_Innen @ BottomBack: (11, -523, 0) x (59, -523, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	Rs [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_Aussen/EN ISO 6946:1996 Exterior wall, ventilated Rse			0.1300	7.6923	0.1300	_Aussen
Natronglas (inkl. Floatglas)	1.0000	6.0000			0.0060	
Argon	0.0300	16.0000			0.5333	
Natronglas (inkl. Floatglas)	1.0000	4.0000			0.0040	
Argon	0.0300	16.0000			0.5333	
Natronglas (inkl. Floatglas)	1.0000	6.0000			0.0060	
_Innen/EN ISO 6946:1996 Exterior wall (not ventilated)			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Rsi						
		<b>48.0000</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>0.7448</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	

## I.2 Brüstungsträger

### I.2.1 Innere Vorsatzschale aus Holz

\_Aussen <-> \_Innen @ TopBack: (0, 228, 0) x (435, 228, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	Rs [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_Aussen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Aussen
Exterior wall, ventilated Rse						
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	176.0000			3.5200	
Stahl	50.0000	8.0000			0.0002	
Cavity Horizontal d=87 w=441,6 dT=5 A=38274	0.4417	87.0000			0.1970	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	85.0000			1.7000	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Cavity Horizontal d=46 w=299 dT=5	0.2696	26.0000			0.0964	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	30.0000			0.6000	
Sperrholz 500 kg/m <sup>3</sup>	0.1300	19.0000			0.1462	
_Innen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Exterior wall (not ventilated)						
Rsi						
		<b>435.0000</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>0.1534</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	

### I.2.2 Innere Vorsatzschale aus Metall

\_Aussen <-> \_Innen @ TopBack: (0, 228, 0) x (435, 228, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	Rs [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_Aussen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Aussen
Exterior wall, ventilated Rse						
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	176.0000			3.5200	
Stahl	50.0000	8.0000			0.0002	
Cavity Horizontal d=87 w=441,6 dT=5 A=38274	0.4417	87.0000			0.1970	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	85.0000			1.7000	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Cavity Horizontal d=46 w=299 dT=5	0.2374	23.0000			0.0969	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	50.0000			1.0000	
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
_Innen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Exterior wall, ventilated Rsi						
		<b>435.0000</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>0.1476</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	

## I.3 Opakes Element

### I.3.1 Innere Vorsatzschale aus Holz

\_Aussen <-> \_Innen @ TopBack: (11, 2419, 0) x (435, 2419, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	Rs [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_Aussen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Aussen
Exterior wall, ventilated Rse						
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	34.0000			0.6800	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	46.0000			0.9200	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	262.0000			5.2400	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Cavity Horizontal d=20 w=158 dT=5	0.2696	2.0000			0.0074	
Cavity Horizontal d=23 w=158 dT=5	0.2696	23.0000			0.0853	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	30.0000			0.6000	
Sperrholz 500 kg/m <sup>3</sup>	0.1300	19.0000			0.1462	
_Innen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Exterior wall (not ventilated) Rsi						
		<b>424.0000</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>0.1260</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	

### I.3.2 Innere Vorsatzschale aus Metall

\_Aussen <-> \_Innen @ BottomBack: (11, -1581, 0) x (435, -1581, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	Rs [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_Aussen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Aussen
Exterior wall, ventilated Rse						
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	34.0000			0.6800	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	46.0000			0.9200	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	262.0000			5.2400	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Cavity Horizontal d=46 w=299 dT=5	0.2374	22.0000			0.0927	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	50.0000			1.0000	
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
_Innen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Exterior wall, ventilated Rsi						
		<b>424.0000</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>0.1221</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	



## **Anhang II      Ergebnisse zweidimensionaler Berechnungen**

<b>II.1 2D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Metall</b>	<b>1</b>
<b>II.1.1 Horizontalschnitte</b>	<b>1</b>
II.1.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element	1
II.1.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Tür	1
II.1.1.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Oberlichte	1
II.1.1.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element – Tür	1
II.1.1.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element – Oberlichte	1
<b>II.1.2 Vertikalschnitte</b>	<b>2</b>
II.1.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Kämpfer (Oberlichte - Tür)	2
II.1.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz opakes Element (Träger - opakes Element)	2
II.1.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)	2
II.1.2.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz Türelement (Träger - Oberlichte)	2
II.1.2.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle Türelement (Tür - Träger)	2
II.1.2.6 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt	3
II.1.2.7 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt	3
II.1.2.8 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt, ohne Decke	3
II.1.2.9 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt, ohne Decke	3
<b>II.2 2D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Holz</b>	<b>5</b>
<b>II.2.1 Horizontalschnitte</b>	<b>5</b>
II.2.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element	5
II.2.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Tür	5
II.2.1.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Oberlichte	5
II.2.1.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element – Tür	5
II.2.1.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element – Oberlichte	5

<b>II.2.2 Vertikalschnitte</b>	<b>6</b>
II.2.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Kämpfer (Oberlichte - Tür)	6
II.2.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz opakes Element (Träger - opakes Element)	6
II.2.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)	6
II.2.2.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz Türelement (Träger - Oberlichte)	6
II.2.2.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle Türelement (Tür - Träger)	6
II.2.2.6 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt	7
II.2.2.7 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt	7
II.2.2.8 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt, ohne Decke	7
II.2.2.9 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt, ohne Decke	7

## II.1 2D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Metall

### II.1.1 Horizontalschnitte

#### II.1.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-OP}$	HS_OP_ivSM_V1	0,1970	0,1970	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,1220 625	-0,0763	$U_{OP}$ , opakes Element mit ivSM
			0,1207	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{OP-OP}$			<b>0,2414</b>	

#### II.1.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Tür

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TÜR-TÜR}$	HS_Tür_ivSM_V1	0,6144	0,6144	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
			0,1488	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TÜR-TÜR}$			<b>0,2976</b>	

#### II.1.1.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Oberlichte

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OL-OL}$	HS_OL_ivSM_V1	0,5976	0,5976	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
			0,1320	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{OL-OL}$			<b>0,2640</b>	

#### II.1.1.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element - Tür

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-TÜR}$	HS_OP-TÜR_ivSM_V1	0,8741	0,8741	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
		0,1220 625	-0,0763	$U_{OP}$ , opakes Element mit ivSM
$\Psi_{OP-TÜR}$			<b>0,3322</b>	

#### II.1.1.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element - Oberlichte

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-OL}$	HS_OP-OL_ivSM_V1	0,8735	0,8735	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
		0,1220 625	-0,0763	$U_{OP}$ , opakes Element mit ivSM
$\Psi_{OP-OL}$			<b>0,3316</b>	

## II.1.2 Vertikalschnitte

### II.1.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Kämpfer (Oberlichte - Tür)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{Kämpfer}}$	VS_Kämpfer	1,2282	1,2282	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,7450 1485	-1,1063	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{\text{Kämpfer}}$			<b>0,1219</b>	

### II.1.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz opakes Element (Träger - opakes Element)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{TR-OP Sturz}}$	VS_TR-OP_iVSM_V1	0,3436	0,3436	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1480 228	-0,0337	U <sub>TR</sub> , mit iVSM
		0,1220 1581	-0,1929	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
$\Psi_{\text{TR-OP Sturz}}$			<b>0,1170</b>	

### II.1.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{OP-TR Schwelle}}$	VS_OP-TR_iVSM_V1	0,5458	0,5458	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1480 610	-0,0903	U <sub>TR</sub> , mit iVSM
		0,1220 1581	-0,1929	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
$\Psi_{\text{OP-TR Schwelle}}$			<b>0,2626</b>	

### II.1.2.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz Türelement (Träger - Oberlichte)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{TR-OL Sturz}}$	VS_TR-OL_iVSM_V1	0,5543	0,5543	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1480 228	-0,0337	U <sub>TR</sub> , mit iVSM
		0,7450 523	-0,3896	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{\text{TR-OL Sturz}}$			<b>0,1310</b>	

### II.1.2.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle Türelement (Tür - Träger)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{TÜR-TR Schwelle}}$	VS_TÜR-TR_iVSM_V1	1,1707	1,1707	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1480 610	-0,0903	U <sub>TR</sub> , mit iVSM
		0,7450 1154	-0,8597	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{\text{TÜR-TR Schwelle}}$			<b>0,2207</b>	

**II.1.2.6  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_OP}$	VS_TR_ges_OP_iVSM_V1	0,9284	0,9284	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1220 4000	-0,4880	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
$\Psi_{TR-ges\_OP}$			<b>0,4404</b>	

**II.1.2.7  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$	VS_TR_ges_TÜR_iVSM_V1	1,7255	1,7255	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,7450 2515	-1,8737	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$			<b>-0,1482</b>	

**II.1.2.8  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt, ohne Decke**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_OP\_oD}$	VS_TR_ges_OP_iVSM_V1_oD	0,9314	0,9314	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1220 4000	-0,4880	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
$\Psi_{TR-ges\_OP\_oD}$			<b>0,4434</b>	

**II.1.2.9  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt, ohne Decke**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR\_oD}$	VS_TR_ges_Tür_iVSM_V1_oD	1,7260	1,7260	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,7450 2515	-1,8737	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR\_oD}$			<b>-0,1477</b>	



## II.2 2D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Holz

### II.2.1 Horizontalschnitte

#### II.2.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-OP}$	HS_OP_iVSH_V1	0,1804	0,1804	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,1260 625	-0,0788	$U_{OP}$ , opakes Element mit iVSH
			0,1016	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{OP-OP}$			<b>0,2032</b>	

#### II.2.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Tür

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TÜR-TÜR}$	HS_Tür_iVSH_V1	0,6052	0,6052	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
			0,1396	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TÜR-TÜR}$			<b>0,2792</b>	

#### II.2.1.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Oberlichte

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OL-OL}$	HS_OL_iVSH_V1	0,5881	0,5881	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
			0,1225	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{OL-OL}$			<b>0,2450</b>	

#### II.2.1.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element - Tür

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-TÜR}$	HS_OP-TÜR_iVSH_V1	0,8541	0,8541	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
		0,1260 625	-0,0788	$U_{OP}$ , opakes Element mit iVSH
$\Psi_{OP-TÜR}$			<b>0,3097</b>	

#### II.2.1.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt opakes Element - Oberlichte

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{OP-OL}$	HS_OP-OL_iVSH_V1	0,8349	0,8349	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 625	-0,4656	$U_g$ , Verglasung
		0,1260 625	-0,0788	$U_{OP}$ , opakes Element mit iVSH
$\Psi_{OP-OL}$			<b>0,2905</b>	

## II.2.2 Vertikalschnitte

### II.2.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Kämpfer (Oberlichte - Tür)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{Kämpfer}}$	VS_Kämpfer	1,2282	1,2282	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,7450 1485	-1,1063	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{\text{Kämpfer}}$			<b>0,1219</b>	

### II.2.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz opakes Element (Träger - opakes Element)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{TR-OP\_Sturz}}$	VS_TR-OP_iVSH_V1	0,3645	0,3645	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,1530 228	-0,0349	U <sub>TR</sub> , mit iVSH
		0,1260 1581	-0,1992	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
$\Psi_{\text{TR-OP\_Sturz}}$			<b>0,1304</b>	

### II.2.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{OP-TR\_Schwelle}}$	VS_OP-TR_iVSH_V1	0,5426	0,5426	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,1530 610	-0,0933	U <sub>TR</sub> , mit iVSH
		0,1260 1581	-0,1992	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
$\Psi_{\text{OP-TR\_Schwelle}}$			<b>0,2501</b>	

### II.2.2.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Sturz Türelement (Träger - Oberlichte)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{TR-OL\_Sturz}}$	VS_TR-OL_iVSH_V1	0,5386	0,5386	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,1530 228	-0,0349	U <sub>TR</sub> , mit iVSH
		0,7450 523	-0,3896	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{\text{TR-OL\_Sturz}}$			<b>0,1141</b>	

### II.2.2.5 $\psi$ -Wert Ermittlung Schwelle Türelement (Tür - Träger)

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{\text{TÜR-TR\_Schwelle}}$	VS_TÜR-TR_iVSH_V1	1,1701	1,1701	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] I [mm]		
		0,1530 610	-0,0933	U <sub>TR</sub> , mit iVSH
		0,7450 1154	-0,8597	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{\text{TÜR-TR\_Schwelle}}$			<b>0,2171</b>	

**II.2.2.6  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_OP}$	VS_TR_ges_OP_iVSH_V1	0,9335	0,9335	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1260 4000	-0,5040	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
$\Psi_{TR-ges\_OP}$			<b>0,4295</b>	

**II.2.2.7  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$	VS_TR_ges_TÜR_iVSH_V1	1,7122	1,7122	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,7450 2515	-1,8737	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$			<b>-0,1615</b>	

**II.2.2.8  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element, Träger gesamt, ohne Decke**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_OP\_oD}$	VS_TR_ges_OP_iVSH_V1_oD	0,9368	0,9368	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,1260 4000	-0,5040	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
$\Psi_{TR-ges\_OP\_oD}$			<b>0,4328</b>	

**II.2.2.9  $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Türelement, Träger gesamt, ohne Decke**

Bezeichnung	Datei	L2D [W/(mK)]	[W/(mK)]	Beschreibung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR\_oD}$	VS_TR_ges_Tür_iVSH_V1_oD	1,7128	1,7128	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm]		
		0,7450 2515	-1,8737	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi_{TR-ges\_TÜR\_oD}$			<b>-0,1609</b>	



## **Anhang III Ergebnisse dreidimensionaler Berechnungen**

<b>III.1 3D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Metall</b>	<b>1</b>
<b>III.1.1 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern im ungestörten Bereich</b>	<b>1</b>
III.1.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern durch oberen Schacht	1
III.1.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern durch unteren Schacht	1
<b>III.1.2 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern mit unterteilten Träger</b>	<b>2</b>
III.1.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Trägern, Sturz opakes Element (Träger-opakes Element)	2
III.1.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Trägern, Schwelle opakes Element (opakes Element-Träger)	2
III.1.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, Sturz Türelement (Träger-Tür)	2
III.1.2.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, Schwelle Türelement (Tür - Träger)	3
<b>III.1.3 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern in gesamten Träger</b>	<b>3</b>
III.1.3.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, gesamter Träger mit opakes Element	3
III.1.3.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, gesamter Träger mit Türelement	3
<b>III.1.4 Thermische Trennung im ungestörten Träger</b>	<b>4</b>
III.1.4.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung im Träger bei oberen Schacht	4
III.1.4.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung im Träger bei unteren Schacht	4
<b>III.1.5 Thermische Trennung im unterteilten Träger</b>	<b>4</b>
III.1.5.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Sturz opakes Element (Träger-opakes Element)	4
III.1.5.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)	4
III.1.5.3 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Sturz Türelement (Träger-Tür)	5
III.1.5.4 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Schwelle Türelement (Tür - Träger)	5
<b>III.1.6 Thermische Trennung im gesamten Träger</b>	<b>5</b>
III.1.6.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Träger gesamt mit opaken Element	5
III.1.6.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Träger gesamt mit Türelement	5

<b>III.1.7 Konsole</b>	<b>6</b>
III.1.7.1 $\chi$ -Wert Konsole in Mitte, Träger gesamt mit opaken Element	6
III.1.7.2 $\chi$ -Wert Konsole Mitte, Träger gesamt mit Türelement	6
III.1.7.3 $\chi$ -Wert Konsole Rand, Träger gesamt mit opaken Element	6
III.1.7.4 $\chi$ -Wert Konsole Rand, Träger gesamt mit Türelement	6
<b>III.1.8 Rohrdurchführungen</b>	<b>7</b>
III.1.8.1 $\chi$ -Wert erstes Rohr, Träger gesamt mit opaken Element	7
III.1.8.2 $\chi$ -Wert zweites Rohr, Träger gesamt mit opaken Element	7
III.1.8.3 $\chi$ -Wert erstes Rohr, Träger gesamt mit Türelement	7
III.1.8.4 $\chi$ -Wert zweites Rohr, Träger gesamt mit Türelement	7
<b>III.2 3D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Holz</b>	<b>9</b>
<b>III.2.1 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern im ungestörten Bereich</b>	<b>9</b>
III.2.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern durch oberen Schacht	9
III.2.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern durch unteren Schacht	9
<b>III.2.2 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern mit unterteilten Träger</b>	<b>10</b>
III.2.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Trägern, Sturz opakes Element (Träger-opakes Element)	10
III.2.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Trägern, Schwelle opakes Element opakes Element-Träger)	10
III.2.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, Sturz Türelement (Träger-Tür)	10
III.2.2.4 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, Schwelle Türelement (Tür - Träger)	11
<b>III.2.3 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern in gesamten Träger</b>	<b>11</b>
III.2.3.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, gesamter Träger mit opakes Element	11
III.2.3.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, gesamter Träger mit Türelement	11

<b>III.2.4 Thermische Trennung im ungestörten Träger</b>	<b>12</b>
III.2.4.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung im Träger bei oberen Schacht	12
III.2.4.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung im Träger bei unteren Schacht	12
<b>III.2.5 Thermische Trennung im unterteilten Träger</b>	<b>12</b>
III.2.5.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Sturz opakes Element (Träger-opakes Element)	12
III.2.5.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)	12
III.2.5.3 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Sturz Türelement (Träger-Tür)	13
III.2.5.4 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Schwelle Türelement (Tür - Träger)	13
<b>III.2.6 Thermische Trennung im gesamten Träger</b>	<b>13</b>
III.2.6.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Träger gesamt mit opaken Element	13
III.2.6.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Träger gesamt mit Türelement	13
<b>III.2.7 Konsole</b>	<b>14</b>
III.2.7.1 $\chi$ -Wert Konsole in Mitte, Träger gesamt mit opaken Element	14
III.2.7.2 $\chi$ -Wert Konsole Mitte, Träger gesamt mit Türelement	14
III.2.7.3 $\chi$ -Wert Konsole Rand, Träger gesamt mit opaken Element	14
III.2.7.4 $\chi$ -Wert Konsole Rand, Träger gesamt mit Türelement	14
<b>III.2.8 Rohrdurchführungen</b>	<b>15</b>
III.2.8.1 $\chi$ -Wert erstes Rohr, Träger gesamt mit opaken Element	15
III.2.8.2 $\chi$ -Wert zweites Rohr, Träger gesamt mit opaken Element	15
III.2.8.3 $\chi$ -Wert erstes Rohr, Träger gesamt mit Türelement	15
III.2.8.4 $\chi$ -Wert zweites Rohr, Träger gesamt mit Türelement	15



### III.1 3D - Ergebnisse mit innerer Vorsatzschale aus Metall

#### III.1.1 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern im ungestörten Bereich

##### III.1.1.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern durch oberen Schacht

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_oben}$	HS_TR-o_V1	0,1417	0,1417	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm] b [mm]		
		0,2490 527 200	-0,0262	U-Wert Träger im oberen Schacht ohne Decke
		$\psi$ [W/(mK)] l [mm] Stk		
$\Psi_{ThTr\_TR\_oben}$	ThTr_TR-o	0,2190 200 2	-0,0876	Thermische Trennung im oberen Trägerbereich
		l [mm]		
			0,0279	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
			200	
			0,1395	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TR-TR\_oben}$			<b>0,2790</b>	<b>[W/(mK)]</b>

##### III.1.1.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern durch unteren Schacht

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_unten}$	HS_TR-u_iVSM_V1	0,0487	0,0487	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm] b [mm]		
		0,1480 527 200	-0,0156	$U_{TR}$ mit iVSM
		$\psi$ [W/(mK)] l [mm] Stk		
$\Psi_{ThTr\_TR}$	ThTr_Tr-u_iVSM_V1	0,0315 200 2	-0,0126	thermische Trennung im unteren Trägerbereich
		l [mm]		
			0,0205	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
			200	
			0,1025	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TR-TR\_unten}$			<b>0,2050</b>	<b>[W/(mK)]</b>

### III.1.2 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern mit unterteilten Träger

#### III.1.2.1 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Trägern, Sturz opakes Element (Träger-opakes Element)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_TR-OP\_Sturz}$	HS_TR_TR-OP_iVSM_V1	0,2127	0,2127	
		L2D [W/(mK)] I [mm]		
	VS_TR-OP_iVSM_V1	0,3436 527	-0,1811	
		$\psi$ [W/(mK)] I [mm] Stk		
$\Psi_{ThTr\_TR-OP\_Sturz}$	ThTr_TR-OP_iVSM_V1	0,0500 228 2	-0,0228	thermische Trennung im unterenTrägerbereich
		I [mm]		
$(\chi_{TR-TR\_TR-OP\_Sturz})/2$			0,0088	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		228		
			0,0386	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
$\Psi_{TR-TR\_TR-OP\_Sturz}$			<b>0,0772</b>	<b>[W/(mK)]</b>

#### III.1.2.2 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Trägern, Schwelle opakes Element (opakes Element-Träger)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_OP-TR\_Schwelle}$	HS_TR_OP-TR_iVSM_V1	0,4983	0,4983	
		L2D [W/(mK)] I [mm]		
	VS_OP-TR_iVSM_V1	0,5458 527	-0,2876	
		$\psi$ [W/(mK)] I [mm] Stk		
$\Psi_{ThTr\_OP-TR\_Schwelle}$	ThTr_OP-TR_iVSM_V1	0,1308 610 2	-0,1596	thermische Trennung im unterenTrägerbereich
		I [mm]		
$(\chi_{TR-TR\_OP-TR\_Schwelle})/2$			0,0511	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		610		
			0,0838	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
$\Psi_{TR-TR\_OP-TR\_Schwelle}$			<b>0,1676</b>	<b>[W/(mK)]</b>

#### III.1.2.3 $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, Sturz Türelement (Träger-Tür)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_TR-OL\_Sturz}$	HS_TR_TR-OL_iVSM_V1	0,4184	0,4184	
		L2D [W/(mK)] I [mm]		
	VS_TR-OL_iVSM_V1	0,5543 527	-0,2921	
		$\psi$ [W/(mK)] I [mm] Stk		
$\Psi_{ThTr\_TR-OL\_Sturz}$	ThTr_TR-OL_iVSM_V1	0,1930 228 2	-0,0880	thermische Trennung im unterenTrägerbereich
		I [mm]		
$(\chi_{TR-TR\_TR-OL\_Sturz})/2$			0,0383	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		228		
			0,1680	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
$\Psi_{TR-TR\_TR-OL\_Sturz}$			<b>0,3360</b>	<b>[W/(mK)]</b>

III.1.2.4  $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, Schwelle Türelement (Tür - Träger)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_TÜR-TR\_Schwelle}$	HS_TR_TÜR-TR_iVSM_V1	0,9651	0,9651	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_TÜR-TR_iVSM_V1	1,1707 527	-0,6170	
		$\psi$ [W/(mK)] l [mm] Stk		
$\Psi_{ThTr\_TÜR-TR\_Schwelle}$	ThTr_TÜR-TR_iVSM_V1	0,2090 610 2	-0,2550	thermische Trennung im unteren Trägerbereich
		l [mm]		
$(\chi_{TR-TR\_TÜR-TR})/2$			0,0931	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
			610	
			0,1526	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TR-TR\_TÜR-TR\_Schwelle}$			<b>0,3052</b>	<b>[W/(mK)]</b>

## III.1.3 vertikale Fuge zwischen Brüstungsträgern in gesamten Träger

III.1.3.1  $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, gesamter Träger mit opakes Element

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_TR\_ges\_OP}$	HS_TR_OP_ges_iVSM_V1	0,7252	0,7252	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm] b [mm]		
		0,1220 527 4000,0	-0,2572	$U_{OP}$ opakes Element mit iVSM
		$\psi$ [W/(mK)] l [mm] Stk		
$\Psi_{TR-ges\_OP}$	VS_TR_ges_OP_iVSM_V1	0,4404 527 1	-0,2321	
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$	ThTr_TR_ges_OP_iVSM_V1	0,1051 838 2	-0,1761	thermische Trennung, exakt
		l [mm]		
$(\chi_{TR-TR\_TR-ges\_OP})/2$			0,0598	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
			838	
			0,0714	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TR-TR\_TR-ges\_OP}$			<b>0,1428</b>	<b>[W/(mK)]</b>

III.1.3.2  $\psi$ -Wert Ermittlung Fuge zwischen Brüstungsträgern, gesamter Träger mit Türelement

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{TR-TR\_TR-ges\_TÜR}$	HS_TR_Tür_ges_iVSM_V1	1,3901	1,3901	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)] l [mm] b [mm]		
		0,7450 527 2515	-0,9874	$U_g$ Verglasung
		$\psi$ [W/(mK)] l [mm] Stk		
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$	VS_TR_ges_TÜR_iVSM_V1	-0,1482 527 1	0,0781	
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$	ThTr_TR_ges_TÜR_iVSM_V1	0,2072 838 2	-0,3473	thermische Trennung, exakt
		l [mm]		
$(\chi_{TR-TR\_TR-ges\_TÜR})/2$			0,1335	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
			838	
			0,1593	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
$\Psi_{TR-TR\_TR-ges\_TÜR}$			<b>0,3186</b>	<b>[W/(mK)]</b>

### III.1.4 Thermische Trennung im ungestörten Träger

#### III.1.4.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung im Träger bei oberen Schacht

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_TR\_oben}$	ThTr_TR-o	0,0563	0,0563	
		U [W/(m²K)] l [mm] b [mm]		
		0,2490 250 200	-0,0125	U-Wert Träger im oberen Schacht ohne Decke
		l [mm]		
		200	0,0438	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
$\Psi_{ThTr\_TR\_oben}$			<b>0,2190</b>	<b>[W/(mK)]</b>

#### III.1.4.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung im Träger bei unteren Schacht

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_TR}$	ThTr_Tr-u_iVSM_V1	0,0137	0,0137	
		U [W/(m²K)] l [mm] b [mm]		
		0,1480 250 200	-0,0074	$U_{TR}$ mit iVSM
		l [mm]		
		200	0,0063	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
$\Psi_{ThTr\_TR}$			<b>0,0315</b>	<b>[W/(mK)]</b>

### III.1.5 Thermische Trennung im unterteilten Träger

#### III.1.5.1 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Sturz opakes Element (Träger-opakes Element)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_TR-OP\_Sturz}$	ThTr_TR-OP_iVSM_V1	0,0973	0,0973	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_TR-OP_iVSM_V1	0,3436 250	-0,0859	
		l [mm]		
( $X_{ThTr\_TR-OP\_Sturz}$ )		228	0,0114	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
$\Psi_{ThTr\_TR-OP\_Sturz}$			<b>0,0500</b>	<b>[W/(mK)]</b>

#### III.1.5.2 $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Schwelle opakes Element (opakes Element - Träger)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_OP-TR\_Schwelle}$	ThTr_OP-TR_iVSM_V1	0,2163	0,2163	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_OP-TR_iVSM_V1	0,5458 250	-0,1365	
		l [mm]		
( $X_{ThTr\_OP-TR}$ )		610	0,0798	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
$\Psi_{ThTr\_OP-TR\_Schwelle}$			<b>0,1308</b>	<b>[W/(mK)]</b>

III.1.5.3  $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Sturz Türelement (Träger-Tür)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\psi_{ThTr\_TR-OL\_Sturz}$	ThTr_TR_OL_iVSM_V1	0,1826	0,1826	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_TR-OL_iVSM_V1	0,5543 250	-0,1386	
		l [mm]		
$(\chi_{ThTr\_TR-OL})$			0,0440	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		228		
$\Psi_{ThTr\_TR-OL\_Sturz}$			<b>0,1930</b>	<b>[W/(mK)]</b>

III.1.5.4  $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Schwelle Türelement (Tür - Träger)

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_TÜR-TR\_Schwelle}$	ThTr_TÜR-TR_iVSM_V1	0,4202	0,4202	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_TÜR-TR_iVSM_V1	1,1707 250	-0,2927	
		l [mm]		
$(\chi_{ThTr\_TÜR-TR})$			0,1275	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		610		
$\Psi_{ThTr\_TÜR-TR\_Schwelle}$			<b>0,2090</b>	<b>[W/(mK)]</b>

## III.1.6 Thermische Trennung im gesamten Träger

III.1.6.1  $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Träger gesamt mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$	ThTr_TR_ges_OP_iVSM_V1	0,3202	0,3202	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_TR_ges_OP_iVSM_V1	0,9284 250	-0,2321	
		l [mm]		
$(\chi_{ThTr\_TR-ges\_OP})$			0,0881	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		838		
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$			<b>0,1051</b>	<b>[W/(mK)]</b>

III.1.6.2  $\psi$ -Wert Ermittlung thermische Trennung, Träger gesamt mit Türelement

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$	ThTr_TR_ges_TÜR_iVSM_V1	0,6050	0,6050	
		L2D [W/(mK)] l [mm]		
	VS_TR_ges_TÜR_iVSM_V1	1,7255 250	-0,4314	
		l [mm]		
$(\chi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR})$			0,1736	Zwischensumme [W/K] zugehörige Länge [mm]
		838		
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$			<b>0,2072</b>	<b>[W/(mK)]</b>

## III.1.7 Konsole

### III.1.7.1 $\chi$ -Wert Konsole in Mitte, Träger gesamt mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XKonsole_OP_Mitte	Kon_OP_Mitte_iVSM_V1	0,6946	0,6946	
		L3D [W/K]	Stk	
	ThTr_TR_ges_OP_iVSM_V1	0,3202	2	-0,6404
			0,0542	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
<b>XKonsole_OP_Mitte</b>			<b>0,1084</b>	<b>[W/K]</b>

### III.1.7.2 $\chi$ -Wert Konsole Mitte, Träger gesamt mit Türelement

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XKonsole_TÜR_Mitte	Kon_TÜR_Mitte_iVSM_V1	1,2282	1,2282	
		L3D [W/K]	Stk	
	ThTr_TR_ges_TÜR_iVSM_V1	0,6050	2	-1,2100
			0,0182	sym. Modellierung, $\Sigma^*2$
<b>XKonsole_TÜR_Mitte</b>			<b>0,0364</b>	<b>[W/K]</b>

### III.1.7.3 $\chi$ -Wert Konsole Rand, Träger gesamt mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XKonsole_OP_Rand	Kon_OP_Rand_iVSM_V1	0,9007	0,9007	
		L3D [W/K]	Stk	
	HS_TR_OP_ges_ThTr_iVSM_V1	0,7252	1	-0,7252
			0,1755	[W/K]
<b>XKonsole_OP_Rand</b>			<b>0,1755</b>	<b>[W/K]</b>

### III.1.7.4 $\chi$ -Wert Konsole Rand, Träger gesamt mit Türelement

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XKonsole_TÜR_Rand	Kon_TÜR_Rand_iVSM_V1	1,4646	1,4646	
		L3D [W/K]	Stk	
	HS_TR_Tür_ges_ThTr_iVSM_V1	1,3901	1	-1,3901
			0,0745	[W/K]
<b>XKonsole_TÜR_Rand</b>			<b>0,0745</b>	<b>[W/K]</b>

### III.1.8 Rohrdurchführungen

#### III.1.8.1 $\chi$ -Wert erstes Rohr, Träger gesamt mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XRohr1_TR-ges_OP	Rohr1_TR_ges_OP_ivSM_V1	0,3206	0,3206	
		L3D [W/K]	Stk	
	ThTr_TR_ges_OP_ivSM_V1	0,3202	1	-0,3202
			0,0004	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
<b>XRohr1_TR-ges_OP</b>			<b>0,0008</b>	<b>[W/K]</b>

#### III.1.8.2 $\chi$ -Wert zweites Rohr, Träger gesamt mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XRohr2_TR-ges_OP	Rohr2_TR_ges_OP_ivSM_V1	0,3209	0,3209	
		L3D [W/K]	Stk	
	Rohr1_TR_ges_OP_ivSM_V1	0,3206	1	-0,3206
			0,0003	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
<b>XRohr2_TR-ges_OP</b>			<b>0,0006</b>	<b>[W/K]</b>

#### III.1.8.3 $\chi$ -Wert erstes Rohr, Träger gesamt mit Türelement

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XRohr1_TR-ges_Tür	Rohr1_TR_ges_TÜR_ivSM_V1	0,6059	0,6059	
		L3D [W/K]	Stk	
	ThTr_TR_ges_TÜR_ivSM_V1	0,6050	1	-0,6050
			0,0009	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
<b>XRohr1_TR-ges_Tür</b>			<b>0,0018</b>	<b>[W/K]</b>

#### III.1.8.4 $\chi$ -Wert zweites Rohr, Träger gesamt mit Türelement

Bezeichnung	Datei	L3D [W/K]	[W/K]	Beschreibung
XRohr2_TR-ges_Tür	Rohr2_TR_ges_TÜR_ivSM_V1	0,6066	0,6066	
		L3D [W/K]	Stk	
	Rohr1_TR_ges_TÜR_ivSM_V1	0,6059	1	-0,6059
			0,0007	sym. Modellierung, $\Sigma^2$
<b>XRohr2_TR-ges_Tür</b>			<b>0,0014</b>	<b>[W/K]</b>



# **Anhang IV Umrechnungen der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des unterteilten Brüstungsträgers**

## **IV.1 Umrechnungsergebnisse mit innere Vorsatzschale aus Metall 1**

### **IV.1.1 $\psi^*$ -Wert Ermittlung des gesamten Trägers aus Einzelkomponenten 1**

IV.1.1.1  $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit opaken 1

IV.1.1.2  $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit Türelement 1

## **IV.2 Umrechnungsergebnisse mit innere Vorsatzschale aus Holz 2**

### **IV.2.1 $\psi^*$ -Wert Ermittlung des gesamten Trägers aus Einzelkomponenten 2**

IV.2.1.1  $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit opaken 2

IV.2.1.2  $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit Türelement 2



## IV.1 Umrechnungsergebnisse mit innere Vorsatzschale aus Metall

### IV.1.1 $\psi^*$ -Wert Ermittlung des gesamten Trägers aus Einzelkomponenten

#### IV.1.1.1 $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	l [mm]	[W/(mK)]	Beschreibung
		0,1220	1581	0,1929	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
		0,1220	1581	0,1929	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
		0,1480	838	0,1240	U <sub>TR</sub> , mit iVSM
		$\psi$ -Wert	Stk		
$\Psi_{TR-OP\_Sturz}$	VS_TR-OP_iVSM_V1	0,1170	1,0	0,1170	
$\Psi_{OP-TR\_Schwelle}$	VS_OP-TR_iVSM_V1	0,2626	1,0	0,2626	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)]	l [mm]		
		0,1220	4000	-0,4880	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSM
$\Psi^*_{TR-ges\_OP}$				<b>0,4014</b>	

#### IV.1.1.2 $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit Türelement

Bezeichnung	Datei	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	l [mm]	[W/(mK)]	Beschreibung
		0,7450	523	0,3896	U <sub>g</sub> , Verglasung
		0,7450	1581	1,1778	U <sub>g</sub> , Verglasung
		0,1480	838	0,1240	U <sub>TR</sub> , mit iVSM
		$\psi$ -Wert	Stk		
$\Psi_{TR-OL\_Sturz}$	VS_TR-OL_iVSM_V1	0,1310	1,0	0,1310	
$\Psi_{TÜR-TR\_Schwelle}$	VS_TÜR-TR_iVSM_V1	0,2207	1,0	0,2207	
		U [W/(m <sup>2</sup> K)]	l [mm]		
		0,7450	2942	-2,1918	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi^*_{TR-ges\_TÜR}$				<b>-0,1487</b>	

## IV.2 Umrechnungsergebnisse mit innere Vorsatzschale aus Holz

### IV.2.1 $\psi^*$ -Wert Ermittlung des gesamten Trägers aus Einzelkomponenten

#### IV.2.1.1 $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit opaken Element

Bezeichnung	Datei	U [W/(m²K)]	l [mm]	[W/(mK)]	Beschreibung
		0,1260	1581	0,1992	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
		0,1260	1581	0,1992	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
		0,1530	838	0,1282	U <sub>TR</sub> , mit iVSH
		$\psi$ -Wert	Stk		
$\Psi_{TR-OL\_Sturz}$	VS_TR-OP_iVSH_V1	0,1304	1,0	0,1304	
$\Psi_{OP-TR\_Schwelle}$	VS_OP-TR_iVSH_V1	0,2501	1,0	0,2501	
		U [W/(m²K)]	l [mm]		
		0,1260	4000	-0,5040	U <sub>OP</sub> , opakes Element mit iVSH
$\Psi^*_{TR-ges\_OP}$				<b>0,4031</b>	

#### IV.2.1.2 $\psi^*$ -Wert Ermittlung gesamter Brüstungsträger aus Einzelkomponenten mit Türelement

Bezeichnung	Datei	U [W/(m²K)]	l [mm]	[W/(mK)]	Beschreibung
		0,7450	523	0,3896	U <sub>g</sub> , Verglasung
		0,7450	1581	1,1778	U <sub>g</sub> , Verglasung
		0,1530	838	0,1282	U <sub>TR</sub> , mit iVSH
		$\psi$ -Wert	Stk		
$\Psi_{TR-OL\_Sturz}$	VS_TR-OL_iVSH_V1	0,1141	1,0	0,1141	
$\Psi_{TÜR-TR\_Schwelle}$	VS_TÜR-TR_iVSH_V1	0,2171	1,0	0,2171	
		U [W/(m²K)]	l [mm]		
		0,7450	2942	-2,1918	U <sub>g</sub> , Verglasung
$\Psi^*_{TR-ges\_TÜR}$				<b>-0,1650</b>	

## **Anhang V    Ergebnisse zu den Berechnungen der Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten**

<b>V.1 <math>U_{CW}</math>-Wert der Fassade mit innere Vorsatzschale aus Metall</b>	<b>1</b>
V.1.1 Berechnung mittels unterteiltem Brüstungsträger	1
V.1.2 Berechnung mittels gesamten Brüstungsträger	2
<b>V.2 <math>U_{CW}</math>-Wert der Fassade mit innere Vorsatzschale aus Holz</b>	<b>3</b>
V.2.1 Berechnung mittels unterteiltem Brüstungsträger	3
V.2.2 Berechnung mittels gesamten Brüstungsträger	4



## V.1 U<sub>cw</sub>-Wert der Fassade mit innere Vorsatzschale aus Metall

### V.1.1 Berechnung mittels unterteiltem Brüstungsträger

flächenbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	U [W/(m²K)]	La [mm]	Lb [mm]	Fläche [m²]	Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
opakes Element	0,122	625	3162	1,976	0,2411	4,8%	
Tür (Glas)	0,745	625	3162	1,976	1,4721	29,3%	
Träger	0,148	1250	838	1,048	0,1551	3,1%	
<b>Zwischensumme</b>	<b>(mittl. U-Wert: 0,374)</b>			<b>5,000</b>	<b>1,8683</b>	<b>37,2%</b>	

linienbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	Ψ <sub>2D</sub> [W/(mK)]	L <sub>Ψ2D</sub> [mm]	Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>vertikale Fugen</b>							
Ψ <sub>OP-TÜR</sub>	0,3322	2169	1		0,7205	14,3%	
Ψ <sub>OP-OL</sub>	0,3316	993	1		0,3293	6,5%	
Ψ <sub>TR-TR</sub>	0,2283	838	0,5		0,0957	1,9%	Ψ <sub>HS_TR_TR-OP_Sturz</sub> ; Ψ <sub>HS_TR_OP-TR_Schwelle</sub> Ψ <sub>HS_TR_TR-OL_Sturz</sub> ; Ψ <sub>HS_TR_TÜR-TR_Schwelle</sub> nach Länge gewichtet (228/610)
<b>horizontale Fugen</b>							
Ψ <sub>Kämpfer</sub>	0,1219	625	1		0,0762	1,5%	
Ψ <sub>TR-OP_Sturz</sub>	0,1170	625	1		0,0731	1,5%	
Ψ <sub>OP-TR_Schwelle</sub>	0,2626	625	1		0,1641	3,3%	
Ψ <sub>TR-OL_Sturz</sub>	0,1310	625	1		0,0819	1,6%	
Ψ <sub>TÜR-TR_Schwelle</sub>	0,2207	625	1		0,1379	2,7%	
<b>therm. Trennung</b>							
Ψ <sub>ThTr_OP</sub>	0,1088	838	5		0,4559	9,1%	Ψ <sub>ThTr_TR-OP_Sturz</sub> ; Ψ <sub>ThTr_OP-TR_Schwelle</sub> nach Länge gewichtet (228/610)
Ψ <sub>ThTr_TÜR</sub>	0,2046	838	5		0,8573	17,0%	Ψ <sub>ThTr_TR-OL_Sturz</sub> ; Ψ <sub>ThTr_TÜR-TR_Schwelle</sub> nach Länge gewichtet (228/610)
<b>Zwischensumme</b>					<b>2,9919</b>	<b>59,5%</b>	

punktbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	χ-Wert [W/K]		Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>Konsolen</b>							
χ <sub>Konsole_OP_Mitte</sub>	0,1084		0,25		0,0271	0,5%	
χ <sub>Konsole_TÜR_Mitte</sub>	0,0364		0,25		0,0091	0,2%	
χ <sub>Konsole_OP_Rand</sub>	0,1755		0,5		0,0878	1,7%	
χ <sub>Konsole_TÜR_Rand</sub>	0,0745		0,5		0,0373	0,7%	
<b>Rohrdurchführungen</b>							
χ <sub>Rohr_TR-ges_OP</sub>	0,0007		3		0,0021	0,0%	χ <sub>Rohr1_Tr_ges_OP</sub> ; χ <sub>Rohr2_Tr_ges_OP</sub> Mittelwert
χ <sub>Rohr_TR-ges_Tür</sub>	0,0016		3		0,0048	0,1%	χ <sub>Rohr1_Tr_ges_TÜR</sub> ; χ <sub>Rohr2_Tr_ges_TÜR</sub> Mittelwert
<b>Zwischensumme</b>					<b>0,1682</b>	<b>3,3%</b>	

<b>Gesamtsumme</b>				<b>5,00 [m²]</b>	<b>5,0284 [W/K]</b>		
<b>mittlerer U<sub>cw, iVSM</sub>-Wert der Fassade</b>					<b>1,006 [W/m²K]</b>		

## V.1.2 Berechnung mittels gesamten Brüstungsträger

flächenbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	U [W/(m²K)]	La [mm]	Lb [mm]	Fläche [m²]	Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
opakes Element	0,122	625	4000	2,5	0,3050	6,0%	
Tür (Glas)	0,745	625	4000	2,5	1,8625	36,9%	
<b>Zwischensumme</b>	<b>(mittl. U-Wert: 0,434)</b>			<b>5,000</b>	<b>2,1675</b>	<b>42,9%</b>	

linienbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	$\Psi_{2D}$ [W/(mK)]	$L_{\Psi 2D}$ [mm]	Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>vertikale Fugen</b>							
$\Psi_{OP-TÜR}$	0,3322	2169	1		0,7205	14,3%	
$\Psi_{OP-OL}$	0,3316	993	1		0,3293	6,5%	
$\Psi_{TR-TR}$	0,2307	838	0,5		0,0967	1,9%	$\Psi_{TR-TR\_TRges\_OP}$ ; $\Psi_{TR-TR\_TRges\_TÜR}$ Mittelwert
<b>horizontale Fugen</b>							
$\Psi_{Kämpfer}$	0,1219	625	1		0,0762	1,5%	
$\Psi_{TR-ges\_OP}$	0,4404	625	1		0,2753	5,5%	
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$	-0,1482	625	1		-0,0926	-1,8%	
<b>therm. Trennung</b>							
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$	0,1051	838	5		0,4404	8,7%	
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$	0,2072	838	5		0,8682	17,2%	
<b>Zwischensumme</b>					<b>2,7140</b>	<b>53,7%</b>	

punktbezogener Wärmeverlust						
Bezeichnung	$\chi$ -Wert [W/K]	Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>Konsolen</b>						
$\chi_{Konsole\_OP\_Mitte}$	0,1084	0,25		0,0271	0,5%	
$\chi_{Konsole\_TÜR\_Mitte}$	0,0364	0,25		0,0091	0,2%	
$\chi_{Konsole\_OP\_Rand}$	0,1755	0,5		0,0878	1,7%	
$\chi_{Konsole\_TÜR\_Rand}$	0,0745	0,5		0,0373	0,7%	
<b>Rohrdurchführungen</b>						
$\chi_{Rohr\_TR-ges\_OP}$	0,0007	3		0,0021	0,0%	$\chi_{Rohr1\_Tr\_ges\_OP}$ ; $\chi_{Rohr2\_Tr\_ges\_OP}$ Mittelwert
$\chi_{Rohr\_TR-ges\_Tür}$	0,0016	3		0,0048	0,1%	$\chi_{Rohr1\_Tr\_ges\_TÜR}$ ; $\chi_{Rohr2\_Tr\_ges\_TÜR}$ Mittelwert
<b>Zwischensumme</b>				<b>0,1682</b>	<b>3,3%</b>	

<b>Gesamtsumme</b>		<b>5,00 [m²]</b>	<b>5,0497 [W/K]</b>
<b>mittlerer <math>U_{cw, IVSM}</math>-Wert der Fassade</b>			<b>1,010 [W/m²K]</b>

## V.2 U<sub>cw</sub>-Wert der Fassade mit innere Vorsatzschale aus Holz

### V.2.1 Berechnung mittels unterteiltem Brüstungsträger

flächenbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	U [W/(m²K)]	La [mm]	Lb [mm]	Fläche [m²]	Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
opakes Element	0,126	625	3162	1,976	0,2490	5,1%	
Tür (Glas)	0,745	625	3162	1,976	1,4721	30,2%	
Träger	0,153	1250	838	1,048	0,1603	3,3%	
<b>Zwischensumme</b>	<b>(mittl. U-Wert: 0,376)</b>			<b>5,000</b>	<b>1,8814</b>	<b>38,6%</b>	

linienbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	Ψ <sub>2D</sub> [W/(mK)]	L <sub>Ψ2D</sub> [mm]	Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>vertikale Fugen</b>							
Ψ <sub>OP-TÜR</sub>	0,3097	2169	1		0,6717	13,8%	
Ψ <sub>OP-OL</sub>	0,2905	993	1		0,2885	5,9%	
Ψ <sub>TR-TR</sub>	0,2128	838	0,5		0,0892	1,8%	Ψ <sub>HS_TR_TR-OP_Sturz</sub> ; Ψ <sub>HS_TR_OP-TR_Schw.</sub> Ψ <sub>HS_TR_TR-OL_Sturz</sub> ; Ψ <sub>HS_TR_TÜR-TR_Schwelle</sub> nach Länge gewichtet (228/610)
<b>horizontale Fugen</b>							
Ψ <sub>Kämpfer</sub>	0,1219	625	1		0,0762	1,6%	
Ψ <sub>TR-OP_Sturz</sub>	0,1304	625	1		0,0815	1,7%	
Ψ <sub>OP-TR_Schwelle</sub>	0,2501	625	1		0,1563	3,2%	
Ψ <sub>TR-OL_Sturz</sub>	0,1141	625	1		0,0713	1,5%	
Ψ <sub>TÜR-TR_Schwelle</sub>	0,2171	625	1		0,1357	2,8%	
<b>therm. Trennung</b>							
Ψ <sub>ThTr_OP</sub>	0,1074	838	5		0,4500	9,2%	Ψ <sub>ThTr_TR-OP_Sturz</sub> ; Ψ <sub>ThTr_OP-TR_Schwelle</sub> nach Länge gewichtet (228/610)
Ψ <sub>ThTr_TÜR</sub>	0,1916	838	5		0,8028	16,5%	Ψ <sub>ThTr_TR-OL_Sturz</sub> ; Ψ <sub>ThTr_TÜR-TR_Schwelle</sub> nach Länge gewichtet (228/610)
<b>Zwischensumme</b>					<b>2,8232</b>	<b>57,9%</b>	

punktbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	χ-Wert [W/K]		Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>Konsolen</b>							
χ <sub>Konsole_OP_Mitte</sub>	0,1082		0,25		0,0271	0,6%	
χ <sub>Konsole_TÜR_Mitte</sub>	0,0404		0,25		0,0101	0,2%	
χ <sub>Konsole_OP_Rand</sub>	0,1736		0,5		0,0868	1,8%	
χ <sub>Konsole_TÜR_Rand</sub>	0,0810		0,5		0,0405	0,8%	
<b>Rohrdurchführungen</b>							
χ <sub>Rohr_TR-ges_OP</sub>	0,0007		3		0,0021	0,0%	χ <sub>Rohr1_Tr_ges_OP</sub> ; χ <sub>Rohr2_Tr_ges_OP</sub> Mittelwert
χ <sub>Rohr_TR-ges_Tür</sub>	0,0014		3		0,0042	0,1%	χ <sub>Rohr1_Tr_ges_TÜR</sub> ; χ <sub>Rohr2_Tr_ges_TÜR</sub> Mittelwert
<b>Zwischensumme</b>					<b>0,1708</b>	<b>3,5%</b>	

<b>Gesamtsumme</b>				<b>5,00 [m²]</b>	<b>4,8754 [W/K]</b>		
<b>mittlerer U<sub>cw, iVSH</sub>-Wert der Fassade</b>					<b>0,975 [W/m²K]</b>		

## V.2.2 Berechnung mittels gesamten Brüstungsträger

flächenbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	U [W/(m²K)]	La [mm]	Lb [mm]	Fläche [m²]	Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
opakes Element	0,126	625	4000	2,500	0,3150	6,5%	
Tür (Glas)	0,745	625	4000	2,500	1,8625	38,2%	
<b>Zwischensumme</b>	<b>(mittl. U-Wert: 0,436)</b>			<b>5,000</b>	<b>2,1775</b>	<b>44,6%</b>	

linienbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	$\Psi_{2D}$ [W/(mK)]	$L_{\Psi 2D}$ [mm]	Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>vertikale Fugen</b>							
$\Psi_{OP-TÜR}$	0,3097	2169	1		0,6717	13,8%	
$\Psi_{OP-OL}$	0,2905	993	1		0,2885	5,9%	
$\Psi_{TR-TR}$	0,2129	838	0,5		0,0892	1,8%	$\Psi_{TR-TR\_TRges\_OP}$ ; $\Psi_{TR-TR\_TRges\_TÜR}$ Mittelwert
<b>horizontale Fugen</b>							
$\Psi_{Kämpfer}$	0,1219	625	1		0,0762	1,6%	
$\Psi_{TR-ges\_OP}$	0,4295	625	1		0,2684	5,5%	
$\Psi_{TR-ges\_TÜR}$	-0,1615	625	1		-0,1009	-2,1%	
<b>therm. Trennung</b>							
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_OP}$	0,1033	838	5		0,4328	8,9%	
$\Psi_{ThTr\_TR-ges\_TÜR}$	0,1916	838	5		0,8028	16,5%	
<b>Zwischensumme</b>					<b>2,5287</b>	<b>51,8%</b>	

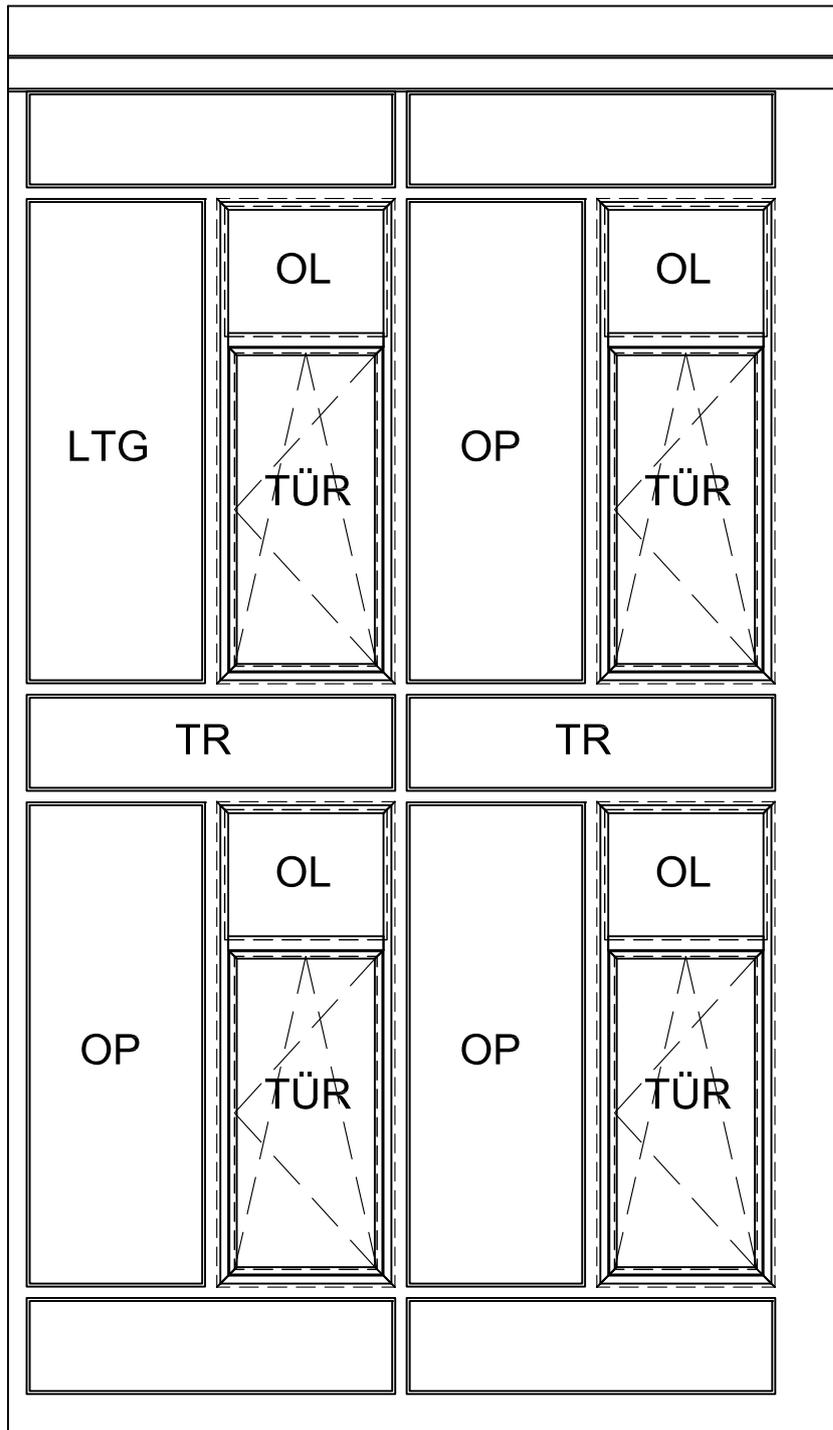
punktbezogener Wärmeverlust							
Bezeichnung	$\chi$ -Wert [W/K]		Stk		Summe [W/K]	Anteil [%]	Anmerkungen
<b>Konsolen</b>							
$\chi_{Konsole\_OP\_Mitte}$	0,1082		0,25		0,0271	0,6%	
$\chi_{Konsole\_TÜR\_Mitte}$	0,0404		0,25		0,0101	0,2%	
$\chi_{Konsole\_OP\_Rand}$	0,1736		0,5		0,0868	1,8%	
$\chi_{Konsole\_TÜR\_Rand}$	0,081		0,5		0,0405	0,8%	
<b>Rohrdurchführungen</b>							
$\chi_{Rohr\_TR-ges\_OP}$	0,0007		3		0,0021	0,0%	$\chi_{Rohr1\_Tr\_ges\_OP}$ ; $\chi_{Rohr2\_Tr\_ges\_OP}$ Mittelwert
$\chi_{Rohr\_TR-ges\_Tür}$	0,0014		3		0,0042	0,1%	$\chi_{Rohr1\_Tr\_ges\_TÜR}$ ; $\chi_{Rohr2\_Tr\_ges\_TÜR}$ Mittelwert
<b>Zwischensumme</b>					<b>0,1708</b>	<b>3,5%</b>	

<b>Gesamtsumme</b>				<b>5,00 [m²]</b>	<b>4,8770 [W/K]</b>		
<b>mittlerer <math>U_{cw, IVSH}</math>-Wert der Fassade</b>					<b>0,975 [W/m²K]</b>		

## **Anhang VI Detailpläne zur Modellierung**

<b>Bezeichnungen – mittlere Funktionsebene</b>	<b>1</b>
<b>Bezeichnungen – Berechnungen mit gesamten Träger</b>	<b>2</b>
<b>Bezeichnungen – Berechnungen mit unterteiltem Träger</b>	<b>3</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Horizontalschnitt opakes Element</b>	<b>4</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Horizontalschnitt Tür</b>	<b>5</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Horizontalschnitt Oberlichte</b>	<b>6</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Horizontalschnitt Träger durch oberen Schacht</b>	<b>7</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Horizontalschnitt Träger durch unteren Schacht</b>	<b>8</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Vertikalschnitt Kämpfer</b>	<b>9</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Vertikalschnitt Träger – Oberlichte (Sturz)</b>	<b>10</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Vertikalschnitt Tür – Träger (Schwelle)</b>	<b>11</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Vertikalschnitt Träger – opakes Element (Sturz)</b>	<b>12</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Vertikalschnitt opakes Element – Träger (Schwelle)</b>	<b>13</b>
<b><math>\Psi</math>-Wert Ermittlung – Thermische Trennung</b>	<b>14</b>
<b><math>\chi</math>-Wert Ermittlung – Konsole Mitte</b>	<b>15</b>
<b><math>\chi</math>-Wert Ermittlung – Konsole Rand</b>	<b>16</b>
<b><math>\chi</math>-Wert Ermittlung – Rohrdurchführung</b>	<b>17</b>
<b>Bauteile mit innerer Metallvorsatzschale</b>	<b>18</b>
<b>Bauteile mit innerer Holzvorsatzschale</b>	<b>19</b>

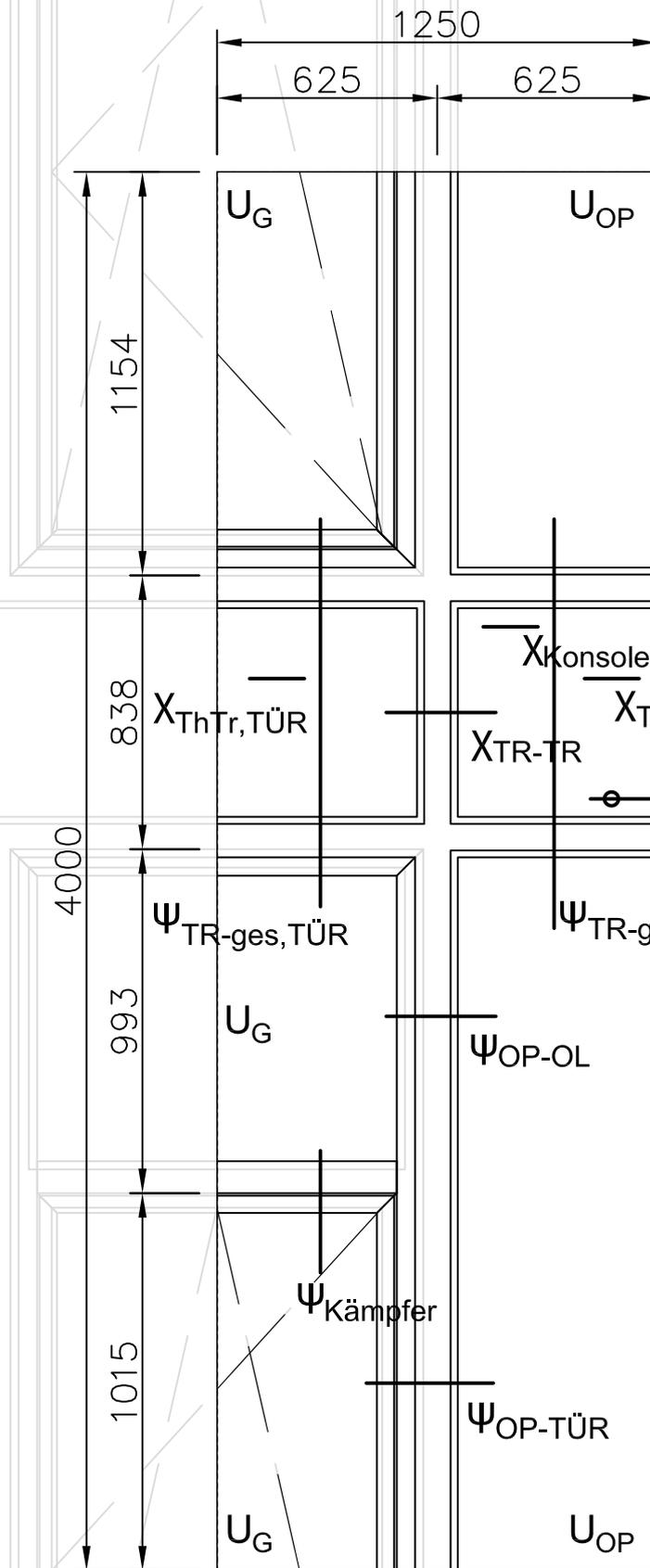
# Bezeichnung



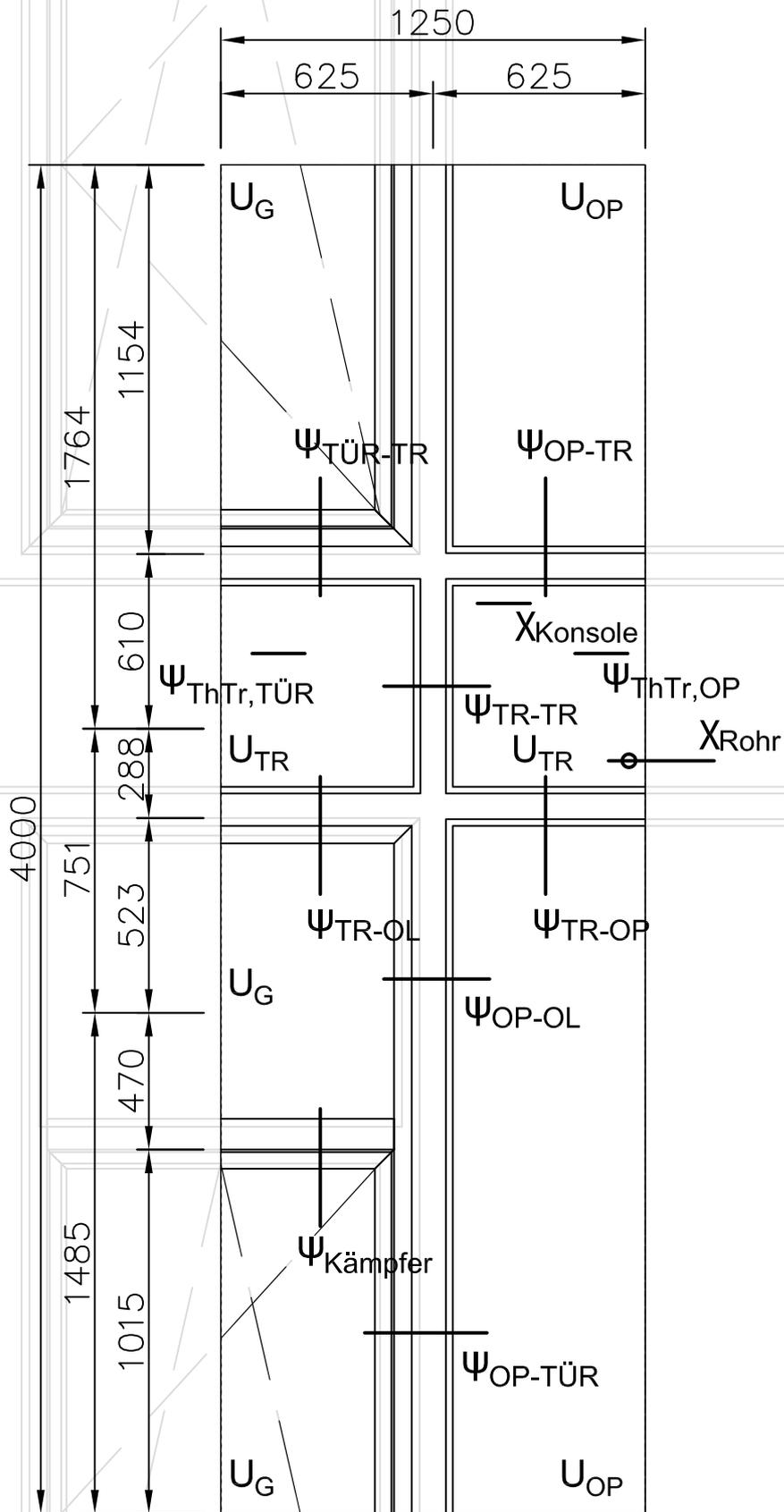
OP ... opakes Element  
 TÜR ... Tür  
 OL ... Oberlichte  
 TR ... Träger  
 LTG ... LTG Element  
 ThTr ... thermische Trennung

h ... horizontal  
 v ... vertikal

Plan-Nr. MPPF_IHB_Bezeichnung	Version	Blatt 1	Maßstab 1:50	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: Bezeichnungen mittlere Funktionsebene		

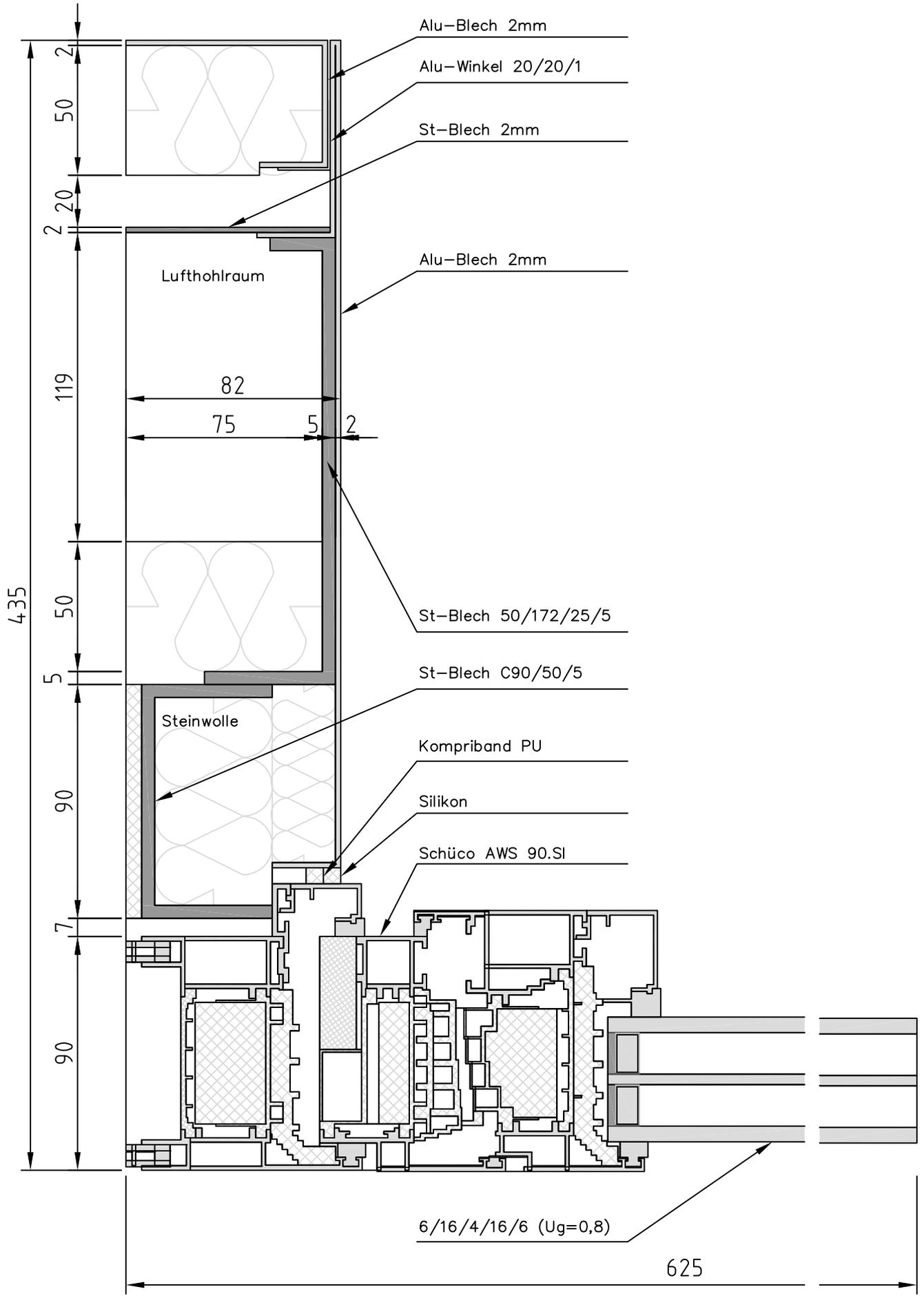


Plan-Nr. MPPF_IHB_Ergebnisse_TRg	Version	Blatt 2	Maßstab 1:20	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: Bezeichnungen Berechnungen mit gesamten Träger		

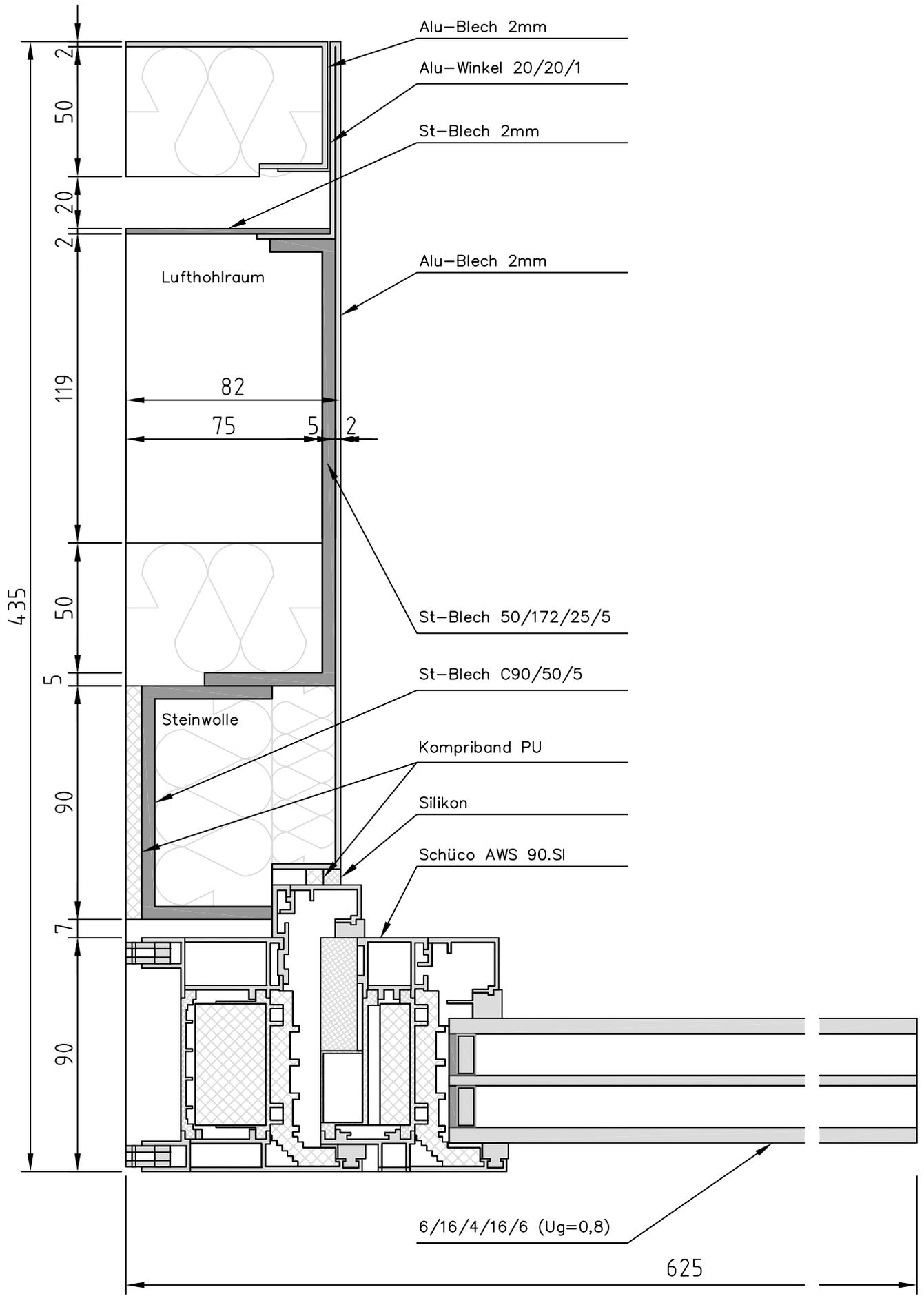


Plan-Nr. MPPF_IHB_Ergebnisse_TRg	Version	Blatt 3	Maßstab 1:20	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: Bezeichnungen Berechnungen mit unterteiltem Träger		



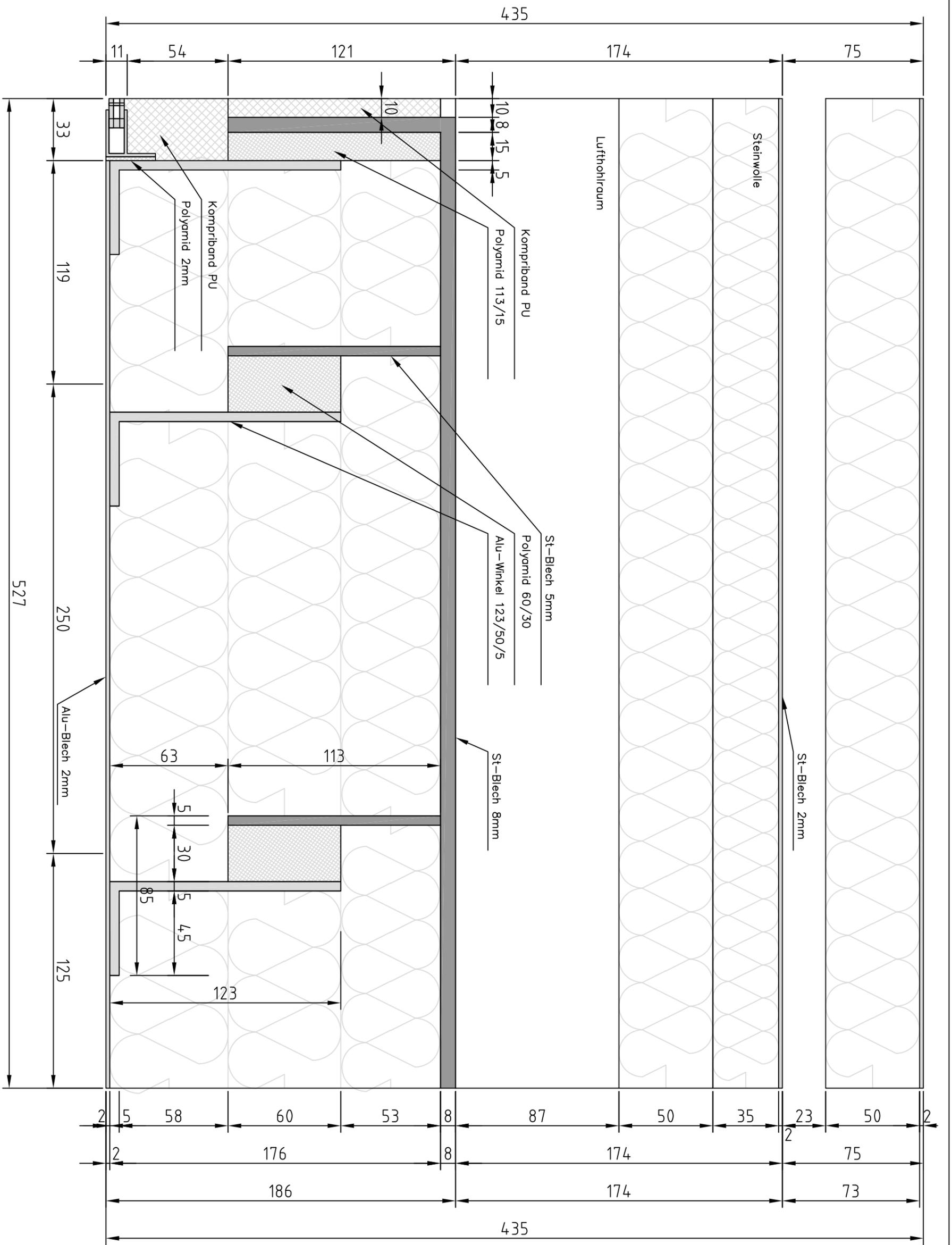


Plan-Nr. MPPF_IHB_HS_TÜR	Version	Blatt 5	Maßstab 1:2	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Tür		



Plan-Nr. MPPF_IHB_HS_OL	Version	Blatt 6	Maßstab 1:2	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: $\psi$ -Wert Ermittlung Horizontalschnitt Oberlichte		

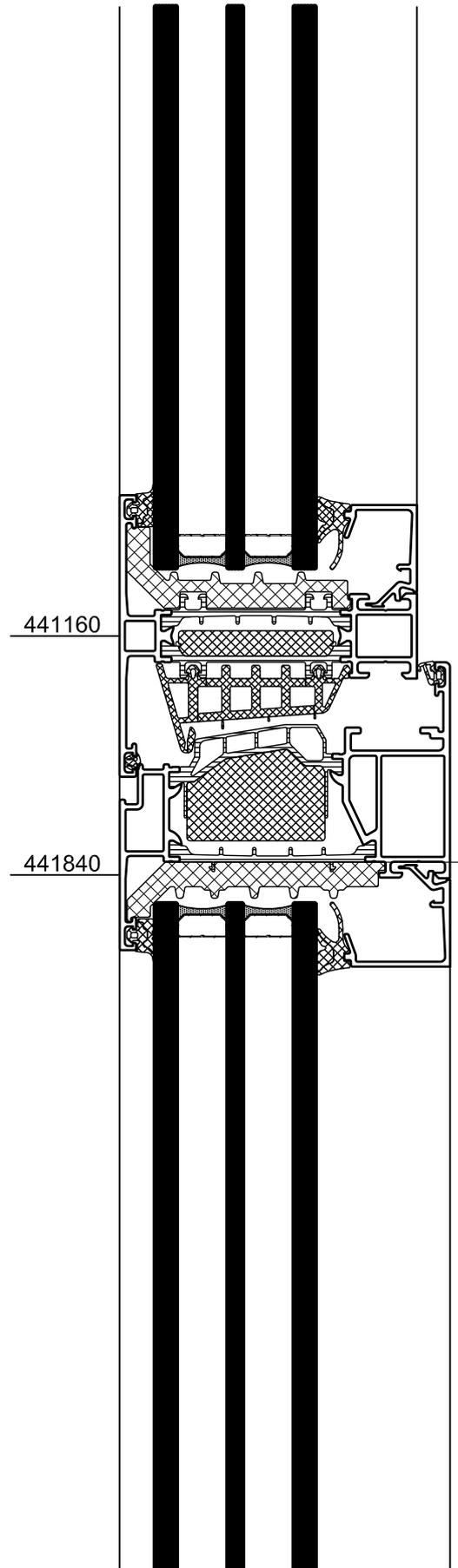
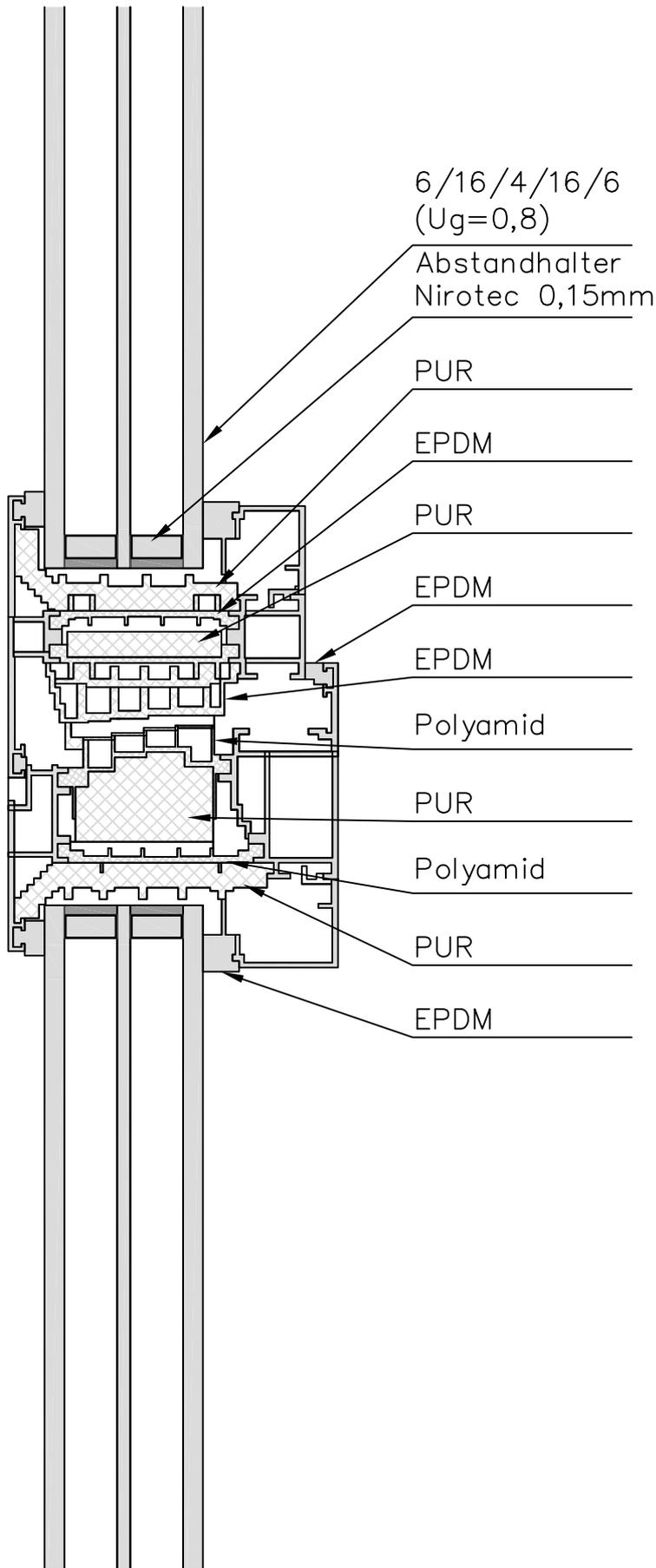




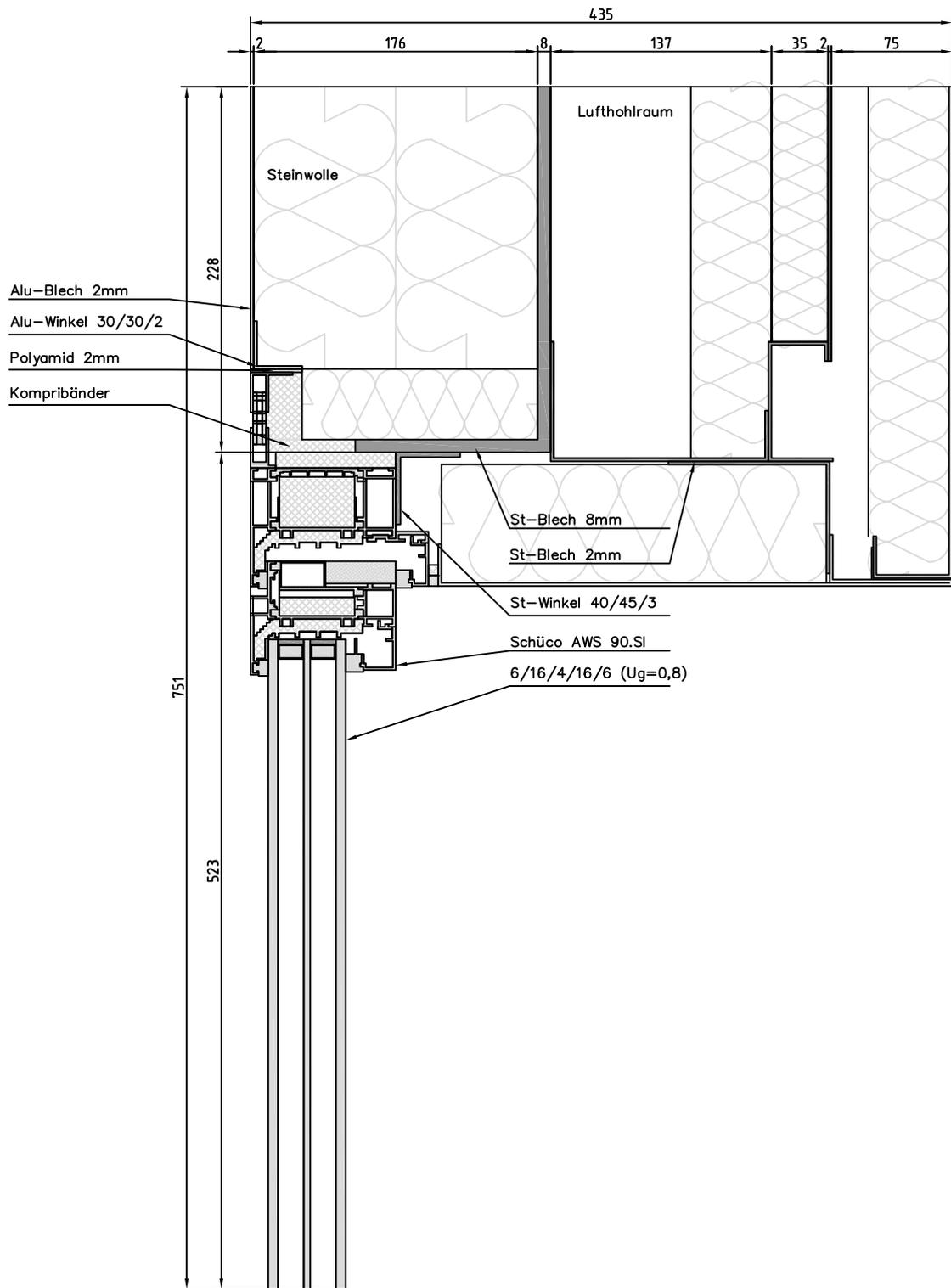
Plan-Nr. MPPF_JHB_HS_TR_oben	Version	Blatt 8	Maßstab 1:5	Blattgröße 420x297 A3	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt: MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: u-Wert Ermittlung Horizontalschnitt Träger durch unteren Schacht		

Modellierung

Original



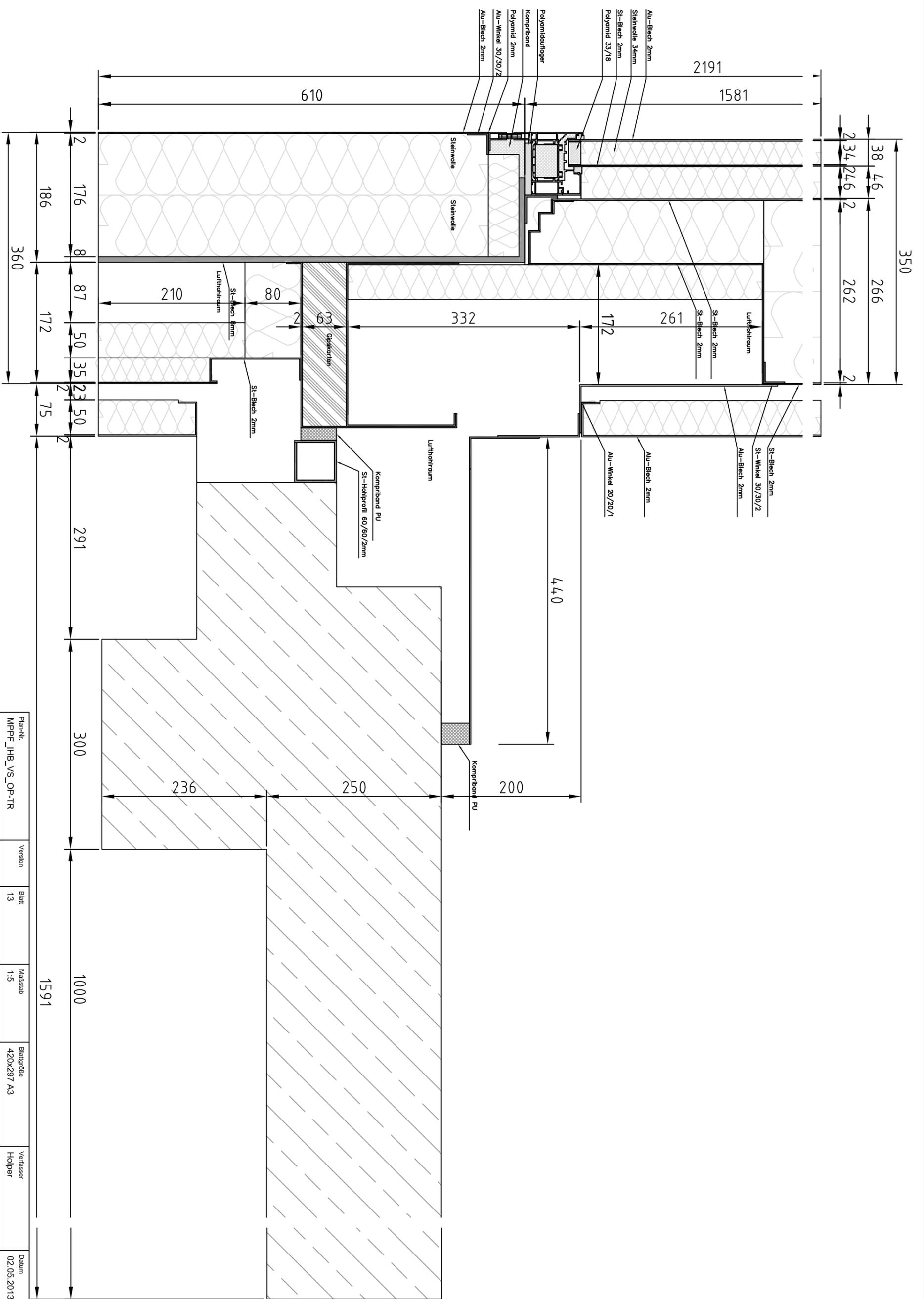
Plan-Nr. MPPF_IHB_VS_Kämpfer	Version	Blatt 9	Maßstab 1:2	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: ψ-Wert Ermittlung Vertikalschnitt Kämpfer (Oberlichte-Tür)		



Plan-Nr. MPPF_IHB_VS_TR-OL	Version	Blatt 10	Maßstab 1:4	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: $\psi$ -Wert Ermittlung Vertikalschnitt Träger - Oberlichte (Sturz)		







Plan-Nr. MPPF_JHB_vs_OP-TR	Version	Blatt 13	Maßstab 1:5	Blattgröße 420x297 A3	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt: MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: u-Wert Ermittlung Vertikalschnitt opakes Element - Träger (Schwelle)		

1591

1000

300

291

75

50

23

50

2

172

87

87

210

80

63

2

332

172

261

440

200

250

236

610

1581

2191

38

46

2

246

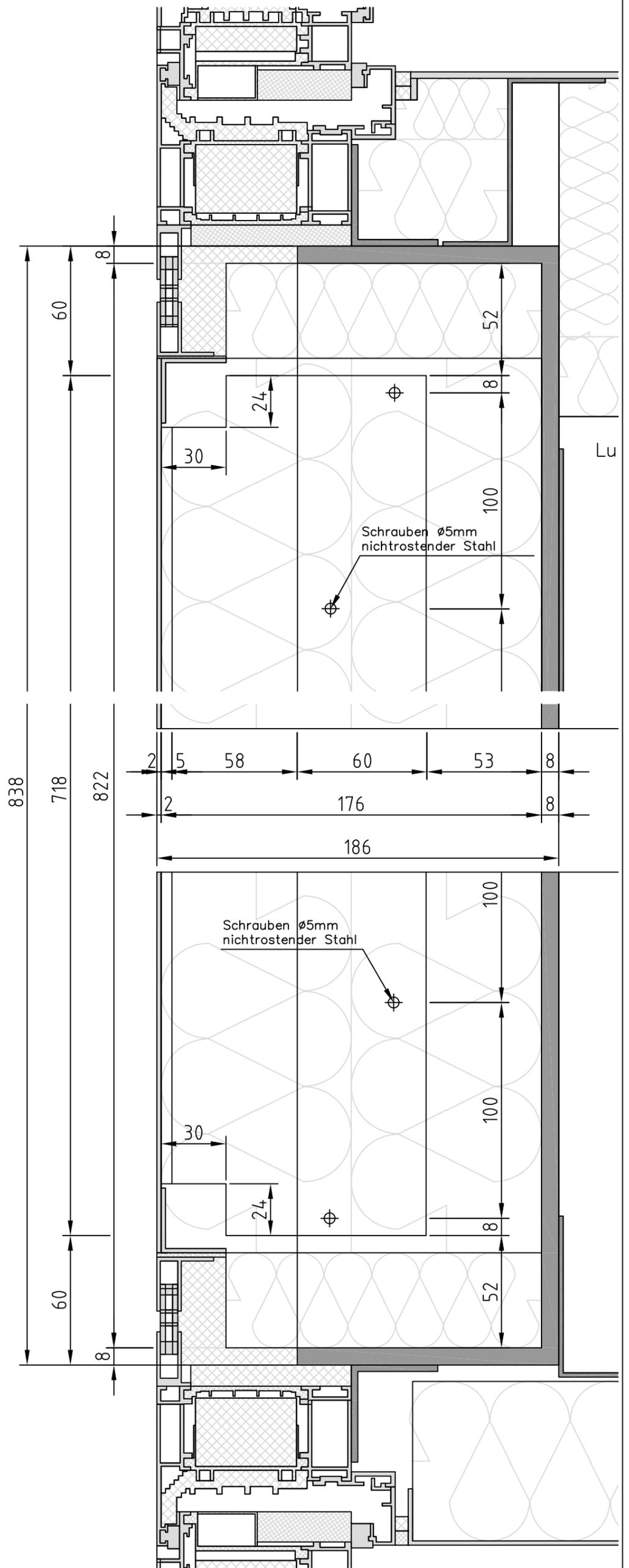
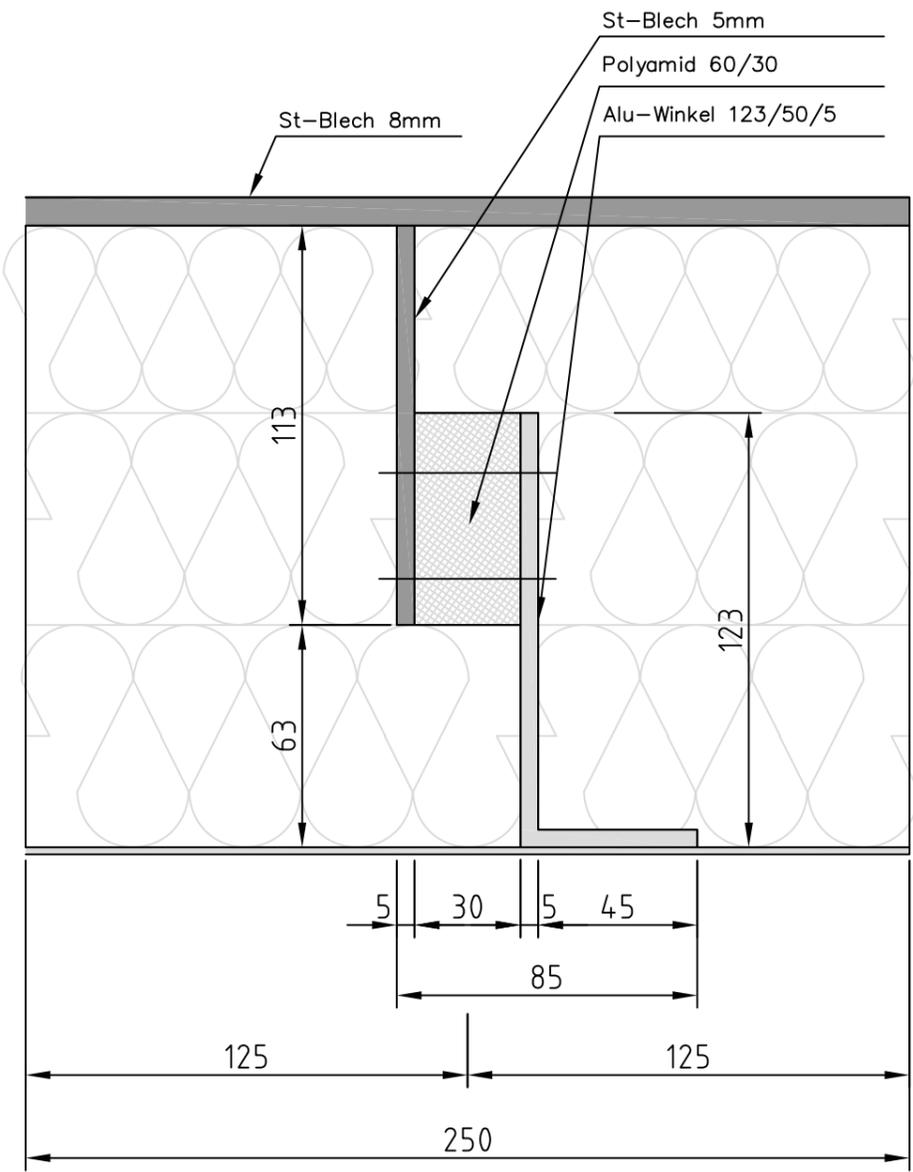
2

262

2

350

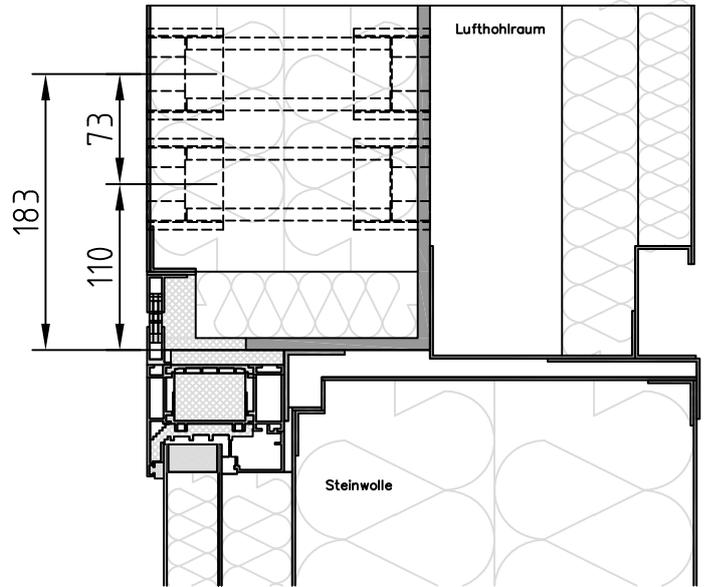
266



Plan-Nr. MPPF_JHB_VS_TnTr	Version	Blatt 14	Maßstab 1:2	Blattgröße 420x297 A3	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt: MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: u-Wert Ermittlung Thermische Trennung		

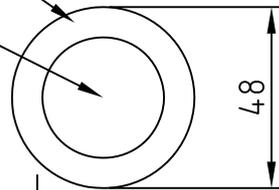




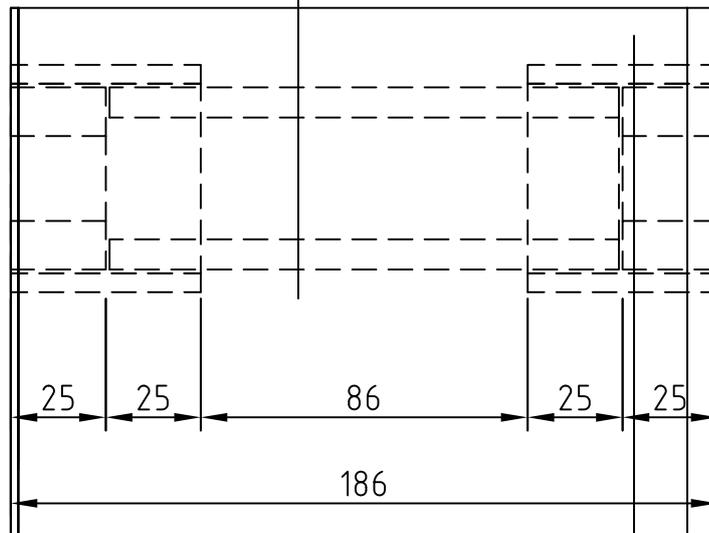
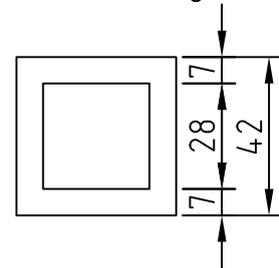


EPDM (Semperit SD1) 8mm

Wassergefüllt  $\varnothing 32\text{mm}$



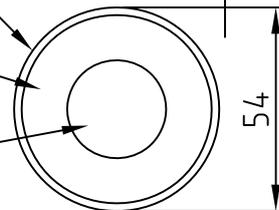
Vereinfachung



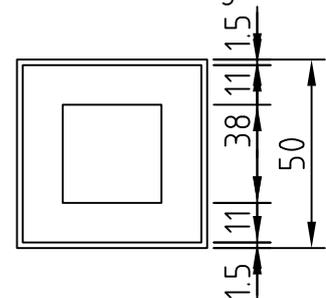
Alu-Blech 2mm außen  
St-Blech 2mm innen

EPDM (Curaflex) 12mm

Wassergefüllt  $\varnothing 26\text{mm}$

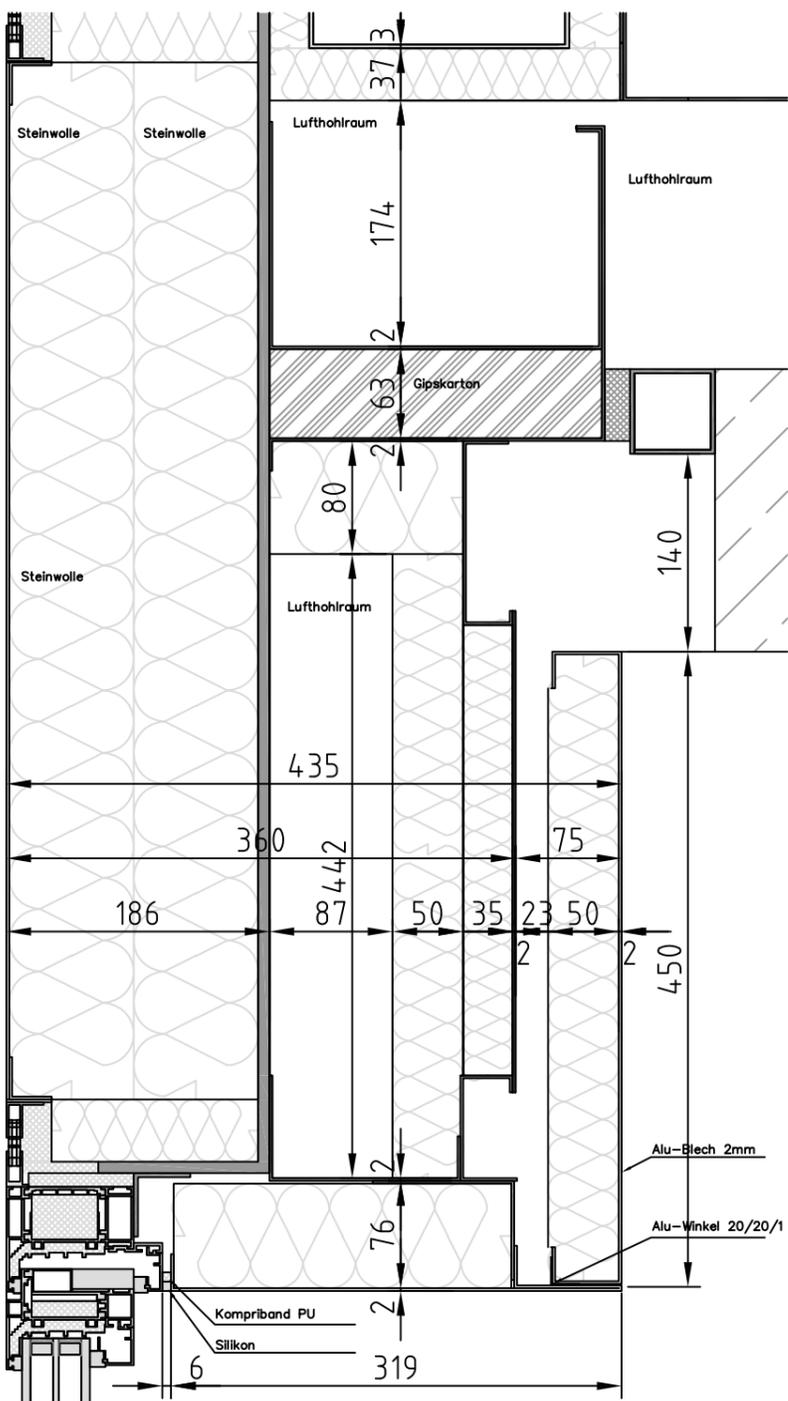
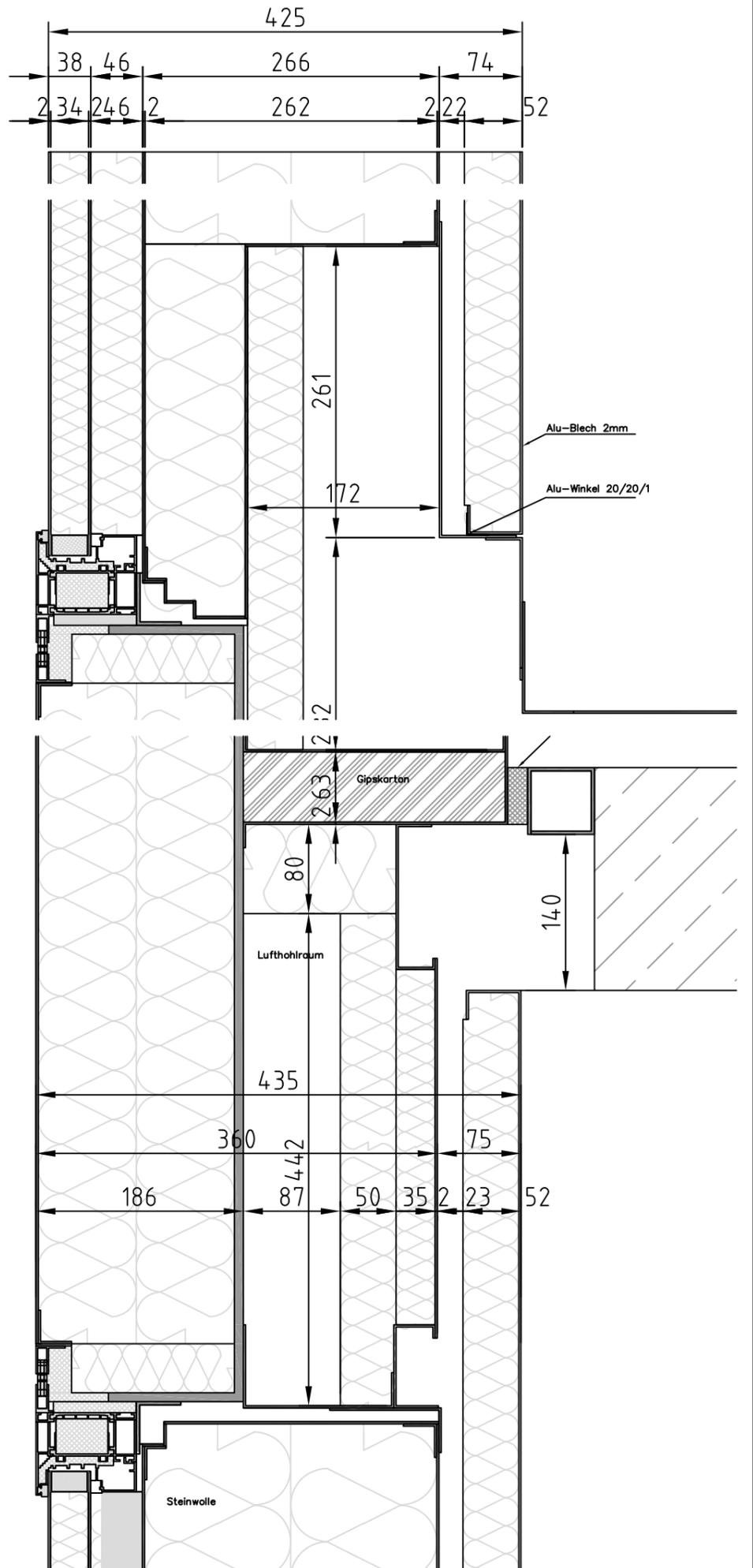
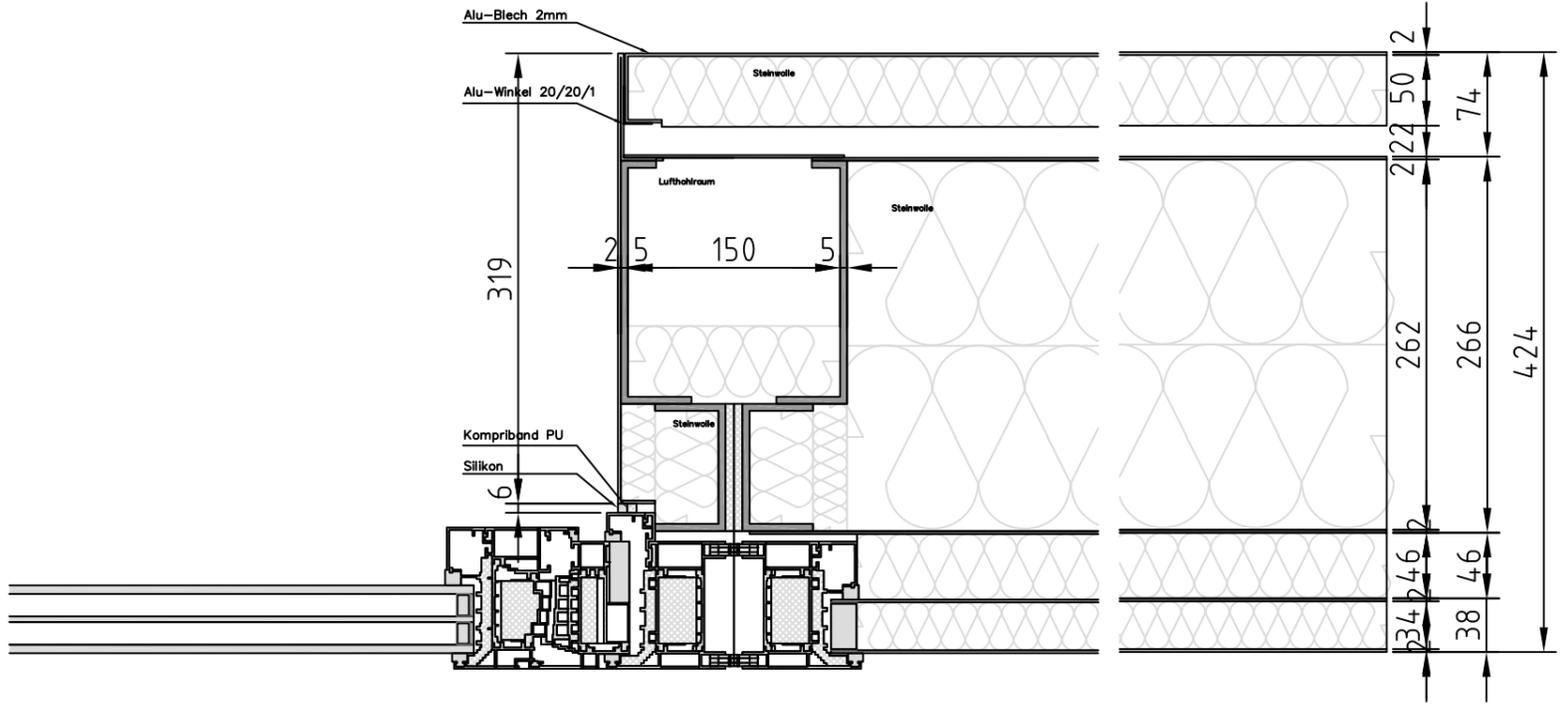


Vereinfachung



Plan-Nr. MPPF_IHB_Rohrdurch.	Version	Blatt 17	Maßstab 1:2	Blattgröße 210x297 A4	Verfasser Holper	Datum 02.05.2013
---------------------------------	---------	-------------	----------------	--------------------------	---------------------	---------------------

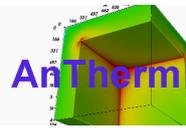
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz	Projekt: MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade	Planinhalt: $\chi$ -Wert Ermittlung Rohrdurchführung
--	---	--



Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz	Plan-Nr.: MPPF_JHB_Vorsatz Metall	Version:	Blatt: 18	Maßstab: 1:5	Blattgröße: 420x297 A3	Verfasser: Höpfer	Datum: 02.05.2013
	Projekt: MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade	Planinhalt: Bauteile mit innerer Metallvorsatzschale					



**Anhang VII Auszug aus den Ausgabeberichten von  
AnTherm für den Horizontalschnitt der  
vertikalen Fuge zwischen opaken Element und  
Tür mit Vorsatzschale aus Metall**



Datei: C:\Berechnungen\_MPPF\Wärmedurchgang\_20130516\HS\_OP-TÜR\HS\_OP-TÜR\_iVSM\_V1.antherm

**Angaben zur Modellierung der Bauteilkonstruktion**

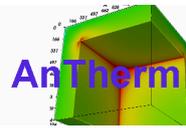
Räume :

- Raumbez.: \_außen  
 Rs=0,1300 m<sup>2</sup>K/W : EN ISO 6946:1996 Exterior wall, ventilated Rse
- Raumbez.: \_Innen  
 Rs=0,2000 m<sup>2</sup>K/W : EN ISO 10077:2003 Window red. radiation/conv. (corners and butt joints) - HS hor. Rsi  
 Rs=0,1300 m<sup>2</sup>K/W : EN ISO 6946:1996 Exterior wall (not ventilated) Rsi

Wärmequellen : keine

Baustoffe :

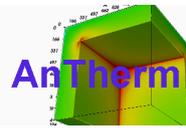
- λ= 160,0000 W/(m K) ρ= 2800,000 kg/m<sup>3</sup> c= 0,244 kJ/(kg K) : Aluminiumlegierungen
- λ= 0,03 W/(m K) μ= 1 ρ= 1,700 kg/m<sup>3</sup> c= 0,144 kJ/(kg K) : Argon
- λ= 0,2400 W/(m K) μ= 200000 ρ= 1200,000 kg/m<sup>3</sup> c= 0,388 kJ/(kg K) : Butylkautschuk,  
 (Isobuten-Kautschuk), hart/heiss geschmolzen
- λ= 0,0269 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=0,5 w=2,3 dT=5
- λ= 0,0582 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=1 w=29 dT=5
- λ= 0,0496 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10 w=3,5 dT=5
- λ= 0,0507 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10 w=4,6 dT=5
- λ= 0,05 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10,1 w=3,6 dT=5
- λ= 0,0526 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10,2 w=10,2 dT=5
- A=86,04
- λ= 0,1 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10,5 w=5,7 dT=5 A=52,7
- λ= 0,0528 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10,7 w=14,4 dT=5
- A=103,73
- λ= 0,0542 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=10,7 w=25,1 dT=5
- A=163,57
- λ= 0,2445 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=103,6 w=28,4 dT=5
- A=1238,66
- λ= 0,0524 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=11,5 w=12,5 dT=5
- A=88,75
- λ= 0,0518 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=11,5 w=2,5 dT=5
- λ= 0,0601 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=11,5 w=23,5 dT=5
- A=214,61
- λ= 0,5162 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=119 w=149,9 dT=5
- A=17560
- λ= 0,0518 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=12 w=12,4 dT=5 A=82,34
- λ= 0,0606 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=13,6 w=7 dT=5
- λ= 0,0623 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=16,3 w=2,8 dT=5
- λ= 0,0746 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=16,7 w=16,5 dT=5
- λ= 0,0812 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=16,7 w=31 dT=5
- λ= 0,0812 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=16,7 w=31,2 dT=5
- λ= 0,2374 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=164,04 w=161 dT=5
- A=1618
- λ= 0,0877 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=19,1 w=30,9 dT=5
- λ= 0,0346 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=2,9 w=4,8 dT=5
- λ= 0,0352 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=2,9 w=7,2 dT=5
- λ= 0,0798 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=21,3 w=36,9 dT=5
- A=470,46
- λ= 0,2374 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=22 w=1250 dT=5
- A=13594
- λ= 0,0893 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=26 w=2 dT=5
- λ= 0,0364 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=3,3 w=7,3 dT=5
- λ= 0,1189 W/(m K) μ= 1,0 ρ= 1,247 kg/m<sup>3</sup> c= 1,005 kJ/(kg K) : Cavity Horizontal d=32,3 w=30,5 dT=5
- A=759,14



Datei: C:\Berechnungen\_MPPF\Wärmedurchgang\_20130516\HS\_OP-TÜR\HS\_OP-TÜR\_iVSM\_V1.antherm

**Angaben zur Modellierung der Bauteilkonstruktion**

$\lambda = 0,1199 \text{ W/(m K)}$ A=760,27	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=33 w=30,5 dT=5
$\lambda = 0,1276 \text{ W/(m K)}$ A=769,49	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=35,5 w=28 dT=5
$\lambda = 0,1177 \text{ W/(m K)}$ A=172,85	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=43,4 w=6,7 dT=5
$\lambda = 0,14 \text{ W/(m K)}$ A=456,66	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=46 w=14,5 dT=5
$\lambda = 0,0398 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5 w=4,8 dT=5
$\lambda = 0,0419 \text{ W/(m K)}$ A=66,92	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,4 w=16,8 dT=5
$\lambda = 0,0398 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,5 w=4,8 dT=5 A=22,8
$\lambda = 0,0848 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,5 w=8,4 dT=5 A=43,68
$\lambda = 0,0429 \text{ W/(m K)}$ A=93,18	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,8 w=23,8 dT=5
$\lambda = 0,0431 \text{ W/(m K)}$ A=95,18	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,8 w=23,9 dT=5
$\lambda = 0,043 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,8 w=24 dT=5 A=94,88
$\lambda = 0,0389 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=5,9 w=8,4 dT=5 A=26,76
$\lambda = 0,106 \text{ W/(m K)}$ A=312,14	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=51,6 w=24,8 dT=10
$\lambda = 0,046 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6 w=14,1 dT=5
$\lambda = 0,0364 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6 w=7,2 dT=5 A=16,32
$\lambda = 0,0361 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6,3 w=5 dT=5 A=12,03
$\lambda = 0,0444 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6,5 w=6,6 dT=5
$\lambda = 0,0448 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6,5 w=7,2 dT=5
$\lambda = 0,0431 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6,6 w=10,5 dT=5 A=48,6
$\lambda = 0,0436 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=6,6 w=5 dT=5
$\lambda = 0,0469 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=7,1 w=8,5 dT=5
$\lambda = 0,0471 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=7,3 w=7,9 dT=5
$\lambda = 0,0465 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=7,6 w=5,9 dT=5
$\lambda = 0,2712 \text{ W/(m K)}$ A=2840,4	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=70,2 w=42 dT=5
$\lambda = 0,0461 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=8,1 w=4,1 dT=5
$\lambda = 0,053 \text{ W/(m K)}$ A=171,66	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=8,3 w=23,4 dT=5
$\lambda = 0,0549 \text{ W/(m K)}$ A=869,9	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=8,8 w=142,9 dT=5
$\lambda = 0,0484 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=8,8 w=5 dT=5
$\lambda = 0,0449 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=9 w=5 dT=10 A=31,35
$\lambda = 0,0449 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=9 w=5 dT=5 A=31,18
$\lambda = 0,0449 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=9 w=5 dT=5 A=31,35
$\lambda = 0,0583 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=9,2 w=27,2 dT=5
$\lambda = 0,0524 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=9,2 w=9,2 dT=5
$\lambda = 0,0504 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=9,5 w=5,5 dT=5
$\lambda = 0,2584 \text{ W/(m K)}$ A=1284,18	$\mu = 1,0$	$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$	$c = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$	: Cavity Horizontal d=99,4 w=30,5 dT=10
$\lambda = 0,2500 \text{ W/(m K)}$ (EPDM)	$\mu = 6000$	$\rho = 1150,000 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,277 \text{ kJ/(kg K)}$	: Ethylen-Propylenedien, Monomer
$\lambda = 0,05 \text{ W/(m K)}$	$\rho = 70 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,416 \text{ kJ/(kg K)}$		: Kompriband
$\lambda = 0,05 \text{ W/(m K)}$	$\rho = 70 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,611 \text{ kJ/(kg K)}$		: Kompriband (PU)
$\lambda = 1,0000 \text{ W/(m K)}$	$\rho = 2500,000 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,208 \text{ kJ/(kg K)}$		: Natronglas (inkl. Floatglas)
$\lambda = 15,0000 \text{ W/(m K)}$	$\rho = 7900,000 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,127 \text{ kJ/(kg K)}$		: Nichtrostender Stahl
$\lambda = 0,2500 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 50000$	$\rho = 1150,000 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,444 \text{ kJ/(kg K)}$	: Polyamid (Nylon)
$\lambda = 0,3300 \text{ W/(m K)}$	$\mu = 100000$	$\rho = 920,000 \text{ kg/m}^3$	$c = 0,611 \text{ kJ/(kg K)}$	: Polyethylen; niedriger Rohdichte



Datei: C:\Berechnungen\_MPPF\Wärmedurchgang\_20130516\HS\_OP-TÜR\HS\_OP-TÜR\_iVSM\_V1.antherm

**Angaben zur Modellierung der Bauteilkonstruktion**

$\lambda = 0,4000 \text{ W/(m K)}$      $\mu = 10000$      $\rho = 1700,000 \text{ kg/m}^3$      $c = 0,277 \text{ kJ/(kg K)}$     : Polysulfid  
 $\lambda = 0,0300 \text{ W/(m K)}$      $\mu = 60$      $\rho = 70,000 \text{ kg/m}^3$      $c = 0,416 \text{ kJ/(kg K)}$     : Polyurethanschaum (PU)  
 $\lambda = 0,1300 \text{ W/(m K)}$      $\rho = 720,000 \text{ kg/m}^3$      $c = 0,277 \text{ kJ/(kg K)}$     : Silicagel (Trockenmittel)  
 $\lambda = 0,3500 \text{ W/(m K)}$      $\mu = 5000$      $\rho = 1200,000 \text{ kg/m}^3$      $c = 0,277 \text{ kJ/(kg K)}$     : Silikon ohne Füllstoff  
 $\lambda = 50,0000 \text{ W/(m K)}$      $\rho = 7800,000 \text{ kg/m}^3$      $c = 0,125 \text{ kJ/(kg K)}$     : Stahl  
 $\lambda = 0,0500 \text{ W/(m K)}$      $\mu = 1$      $c = 0,290 \text{ kJ/(kg K)}$     : Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht

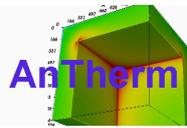
**Schichtaufbauten und U-Wert Berechnungen**

\_außen <-> \_Innen @ BackLeft: (-625, 11, 0) x (-625, 59, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	$R_s$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_außen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_außen
Exterior wall, ventilated Rse						
Natronglas (inkl. Floatglas)	1.0000	6.0000			0.0060	
Argon	0.0300	16.0000			0.5333	
Natronglas (inkl. Floatglas)	1.0000	4.0000			0.0040	
Argon	0.0300	16.0000			0.5333	
Natronglas (inkl. Floatglas)	1.0000	6.0000			0.0060	
_Innen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Exterior wall (not ventilated)						
Rsi						
		<b>48.0000</b>		<b>U-Wert:</b>	<b>0.7448 [W/m<sup>2</sup>K]</b>	

\_außen <-> \_Innen @ BackRight: (625, 11, 0) x (625, 435, 0)

Baustoff / Oberfläche	$\lambda$ [W/mK]	d [mm]	$R_s$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Raum
_außen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_außen
Exterior wall, ventilated Rse						
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	34.0000			0.6800	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	46.0000			0.9200	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	262.0000			5.2400	
Stahl	50.0000	2.0000			0.0000	
Cavity Horizontal d=22 w=1250 dT=5 A=13594	0.2374	2.0000			0.0084	
Cavity Horizontal d=164,04 w=161 dT=5 A=1618	0.2374	20.0000			0.0842	
Steinwolle: Platten, Matten, Rollen; nicht überwacht	0.0500	50.0000			1.0000	
Aluminiumlegierungen	160.0000	2.0000			0.0000	
_Innen/EN ISO 6946:1996			0.1300	7.6923	0.1300	_Innen
Exterior wall (not ventilated)						
Rsi						
		<b>424.0000</b>		<b>U-Wert:</b>	<b>0.1221 [W/m<sup>2</sup>K]</b>	



Datei: C:\Berechnungen\_MPPF\Wärmedurchgang\_20130516\HS\_OP-TÜR\HS\_OP-TÜR\_iVSM\_V1.antherm

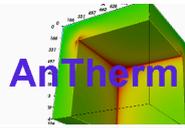
Anzahl der bilanzierten Zellen: 145493

**Thermische Leitwerte [W / m\*K]**

Raum\Raum	_außen	_Innen
_außen		0,874093
_Innen	0,874093	

**Genauigkeitsangaben**

Raum	Schließfehler [W / m*K]	Leitwert Summe [W / m*K]	Leitwertbezogener Schließfehler
_außen	2,39296e-008	0,874093	2,73765e-008
_Innen	-2,39296e-008	0,874093	-2,73765e-008



Datei: C:\Berechnungen\_MPPF\kritOberflfeuchte\_20120516\HS\_OP-TÜR\HS\_OP-TÜR\_iVSM\_V1.antherm

Anzahl der bilanzierten Zellen: 146120 (Knotenzahl > 1168960)

**Randbedingungen und resultierende Oberflächentemperaturen / Grenzfeuchten d. Raumluft**

	Raumtemperatur [°C]	min. Temperatur [°C]	max. Temperatur [°C]	Kondensat. rF [%]	f* <sub>Rsi</sub>
_außen	-10,60	-9,26	-3,92	100,00 %	
_Innen	20,00	13,43	18,83	65,86 %	0,79

**Gewichte für den kältesten Oberflächenpunkt eines jeden Raumes**

	_außen	_Innen
g(_außen)	0,956250	0,214863
g(_Innen)	0,043750	0,785137

**Koordinaten (x,y,z) des kältesten Oberflächenpunktes eines jeden Raumes**

	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Temp.[°C]	f* <sub>Rsi</sub>
_außen	607,4575	11,0000		-9,26	
_Innen	-82,0000	110,3000		13,43	0,79

f\*<sub>Rsi</sub> - Schimmel- und Kondensationsschutzkriterien sind erfüllt.

**Randbedingungen (Lufttemperaturen / Leistungen)**

	Raumtemperatur [°C]
_außen	-10,60
_Innen	20,00

**Temperaturen an den ausgewählten Punkten**

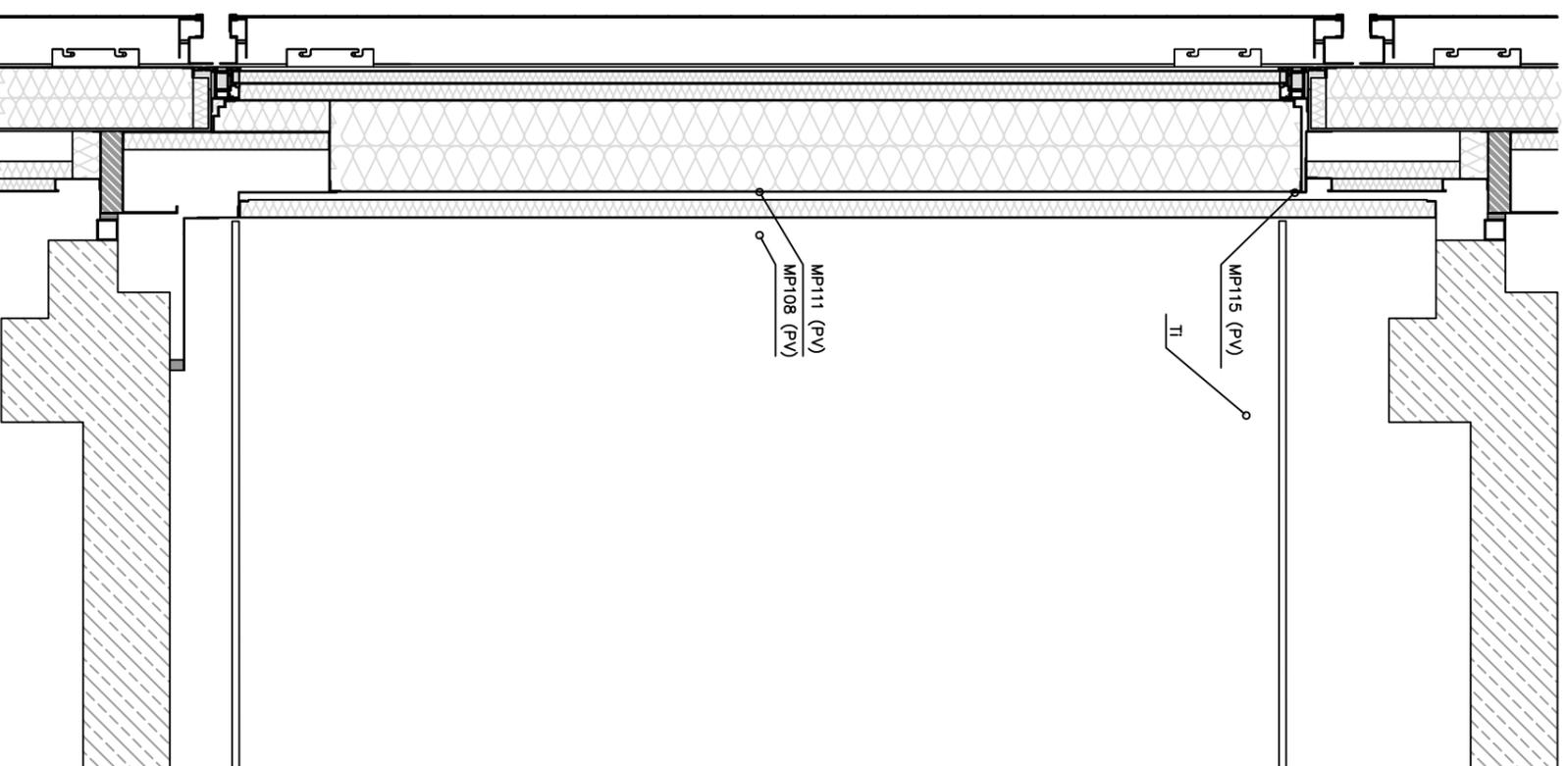
x [mm]	y [mm]	z [mm]	T [°C]	
-204,2000	59,0000		13,61	Kante Verglasung zu Flügelrahmen _Innen 20°C (66,64%)
-110,0000	90,0000		13,92	Kante Flügelrahmen zu Stockrahmen _Innen 20°C (68%)
-91,1000	90,0000		13,88	Kante Stockrahmen zu Stockverbreiterung _Innen 20°C (67,82%)
-82,0000	110,3000		13,43	Kante Stockverbreiterun bei Vorsatzschale _Innen 20°C (65,86%)
-78,0000	363,0000		16,38	Leibungszugewandte Kante der Schachtabdeckung
78,0000	361,0000		14,27	Leibungsabgewandte Kante der Schachtabdeckung
-625,0000	59,0000		17,04	ungestörter Glasrand _Innen 20°C (83,07%)
607,4575	11,0000		-9,26	min. _außen -10,6°C
-199,3000	11,0000		-3,92	max. _außen -10,6°C
-82,0000	110,3000		13,43	min. _Innen 20°C fRsi=0,79 (65,86%)
625,0000	435,0000		18,83	max. _Innen 20°C

# Anhang VIII Messdatenauswertung

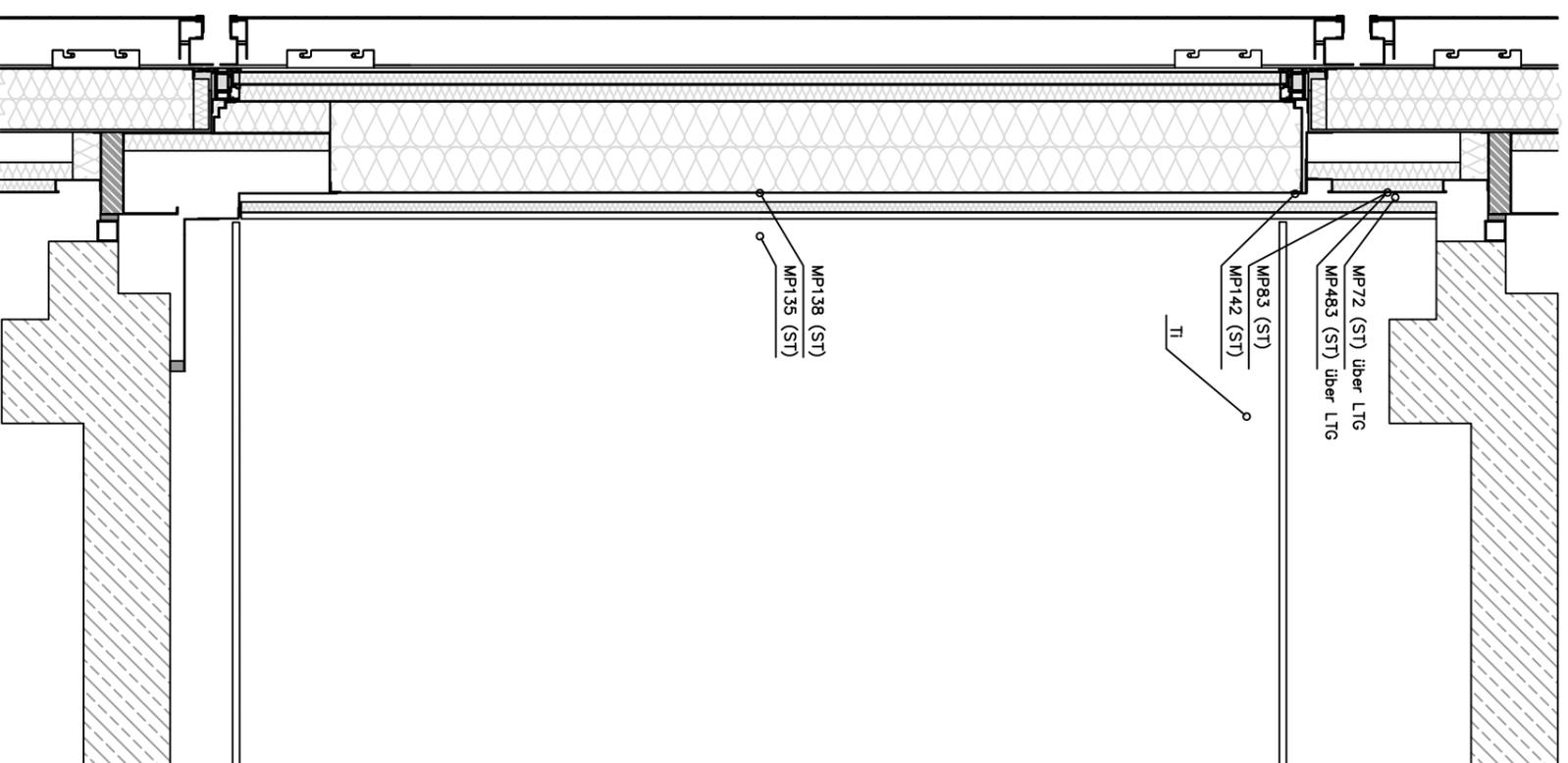
## Planübersicht: Messpunkte 1. OG und 2. OG

<b>VIII.1</b>	<b>Messpunkte 1.OG (iVSM)</b>	<b>1</b>
VIII.1.1	MP108: Tai; OP, vor innerer Vorsatzschale Mitte	1
VIII.1.2	MP111: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Mitte	2
VIII.1.3	MP115: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Oben	3
<b>VIII.2</b>	<b>Messpunkte 2.OG (iVSH)</b>	<b>4</b>
VIII.2.1	MP13: Tai; TÜR, Schwelle, Mitte: bei Kante Verglasung zu Rahmen	4
VIII.2.2	MP14: Tai; TÜR, Sturz, Mitte: bei Kante Verglasung zu Rahmen	5
VIII.2.3	MP38: Tsi; TÜR, Schwelle, Mitte: Kante Rahmen zu Stockverbreiterung	6
VIII.2.4	MP40: Tsi; TÜR, Sturz, Mitte: Kante Stockverbreiterung zu Sturzabdeckung	7
VIII.2.5	MP72: Tai; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe über LTG	8
VIII.2.6	MP83: Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe	9
VIII.2.7	MP135: Tai; OP, vor innerer Vorsatzschale Mitte	10
VIII.2.8	MP138: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Mitte	11
VIII.2.9	MP142: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Oben	12
VIII.2.11	MP483: Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe über LTG	13

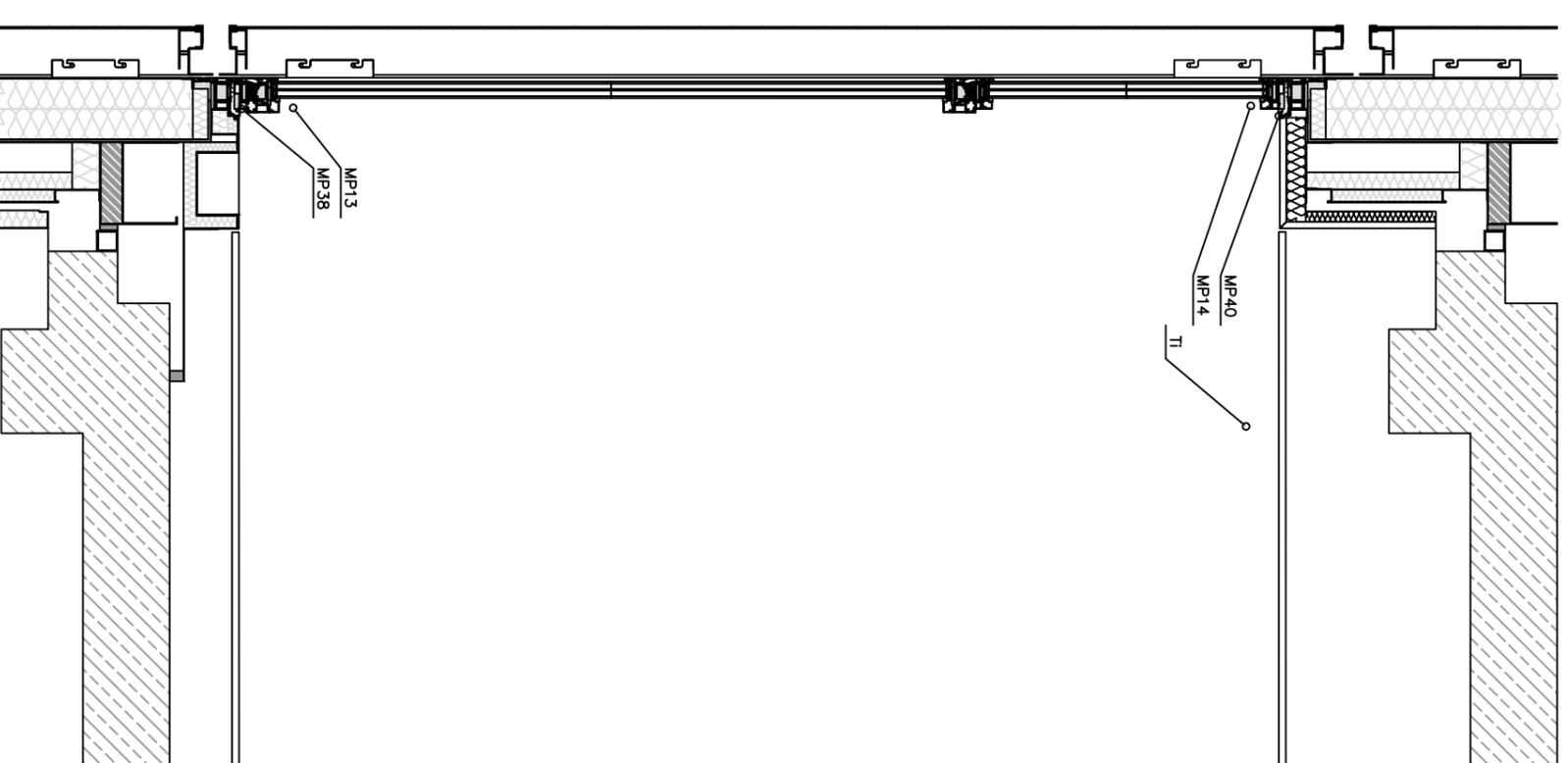
1.OG - opakes Element



2.OG - opakes Element



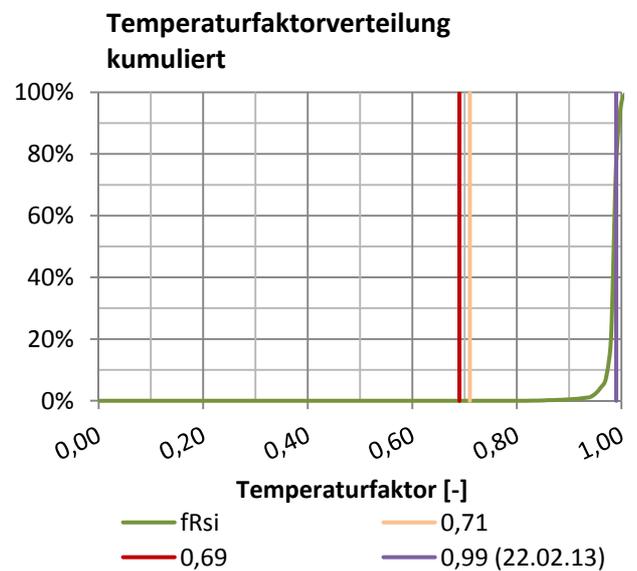
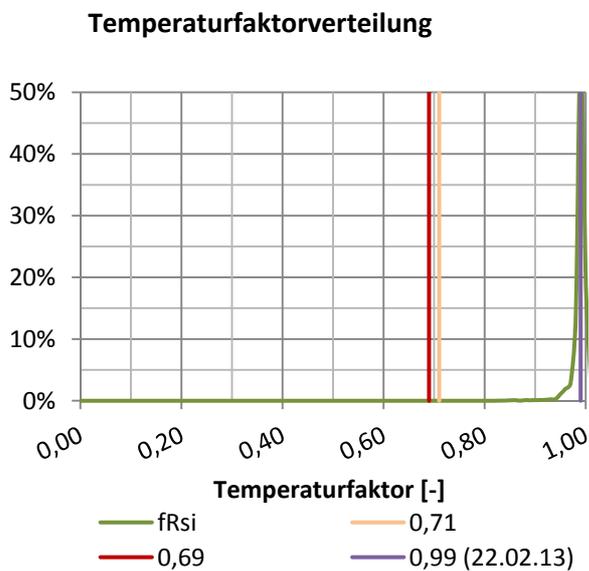
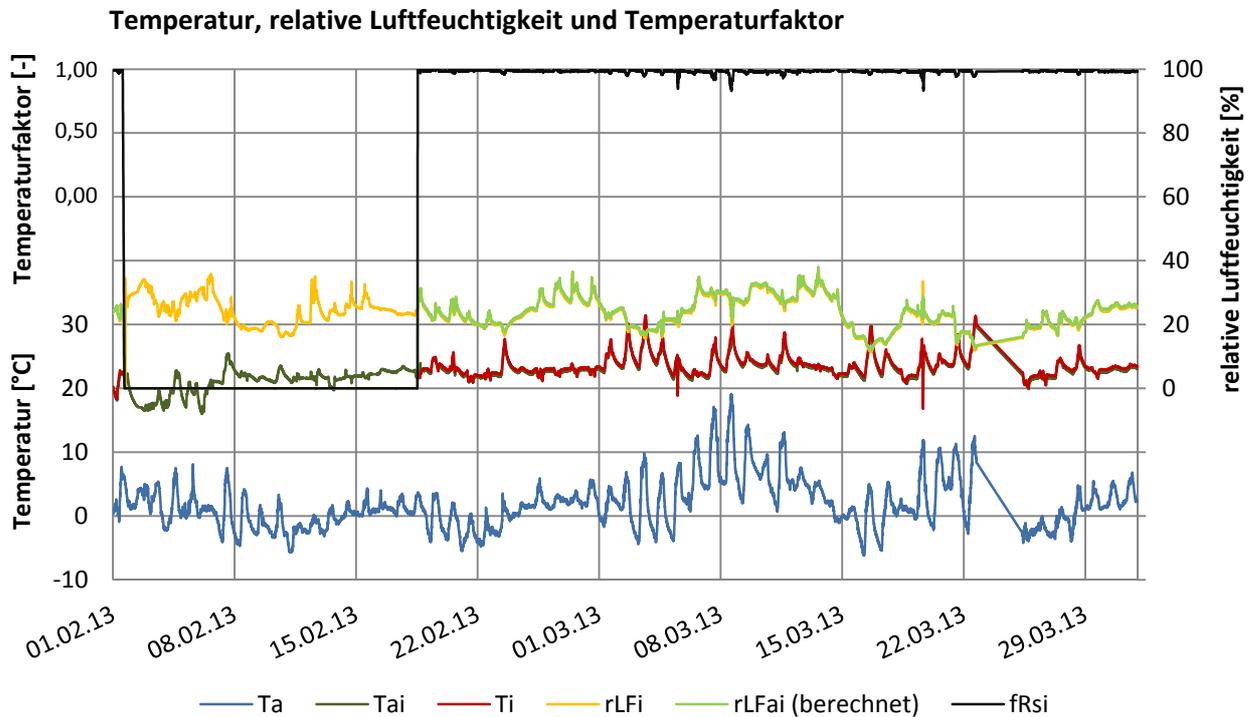
2.OG - Türelement



Plan-Nr. MPPF_JHB_Messpunkte	Version 1	Blatt 1	Maßstab 1:20	Blattgröße 420x297 A3	Verfasser Holper	Datum 13.08.2013
Institut: Institut für Hochbau Lessingstraße 25/3 8010 Graz		Projekt: MPPF Multifunktionale Plug and Pay Facade		Planinhalt: Messpunkte 1. OG und 2. OG		

### VIII.1 Messpunkte 1.OG (iVSM)

#### VIII.1.1 MP108: Tai; OP, vor innerer Vorsatzschale Mitte

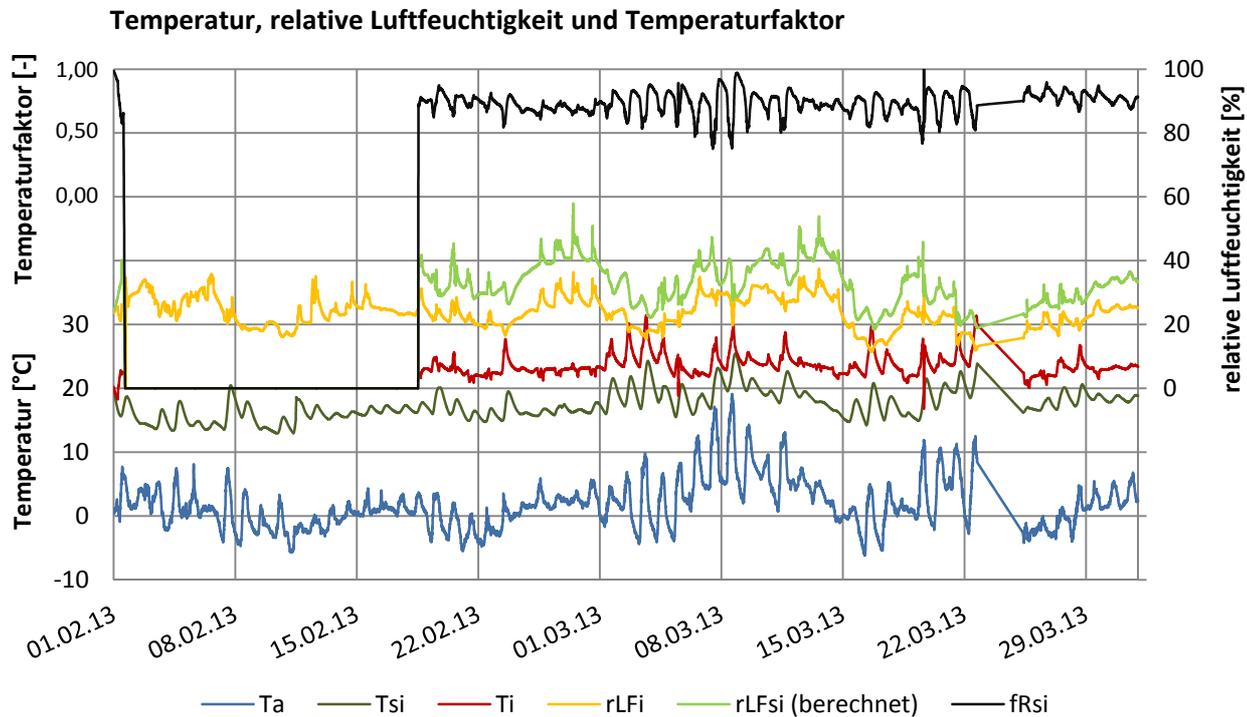


Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00			
Außentemperatur -	4,31	[°C]	
Innenraumtempertur	21,89	[°C]	
Temperatur Betrachtungspunkt	21,62	[°C]	
$f_{Rsi}$	<b>0,99</b>	[-]	

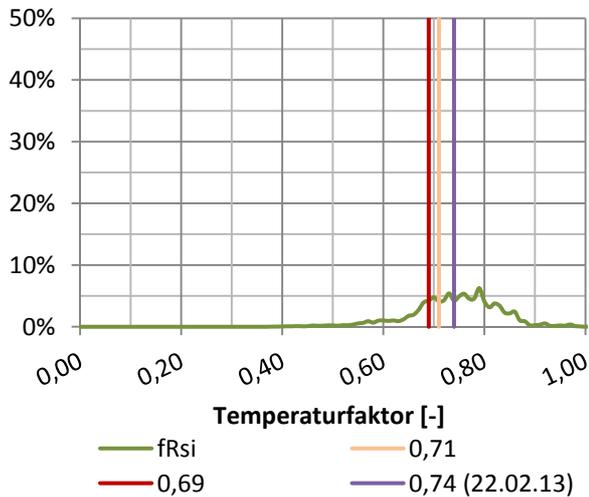
Punktbeschreibung
opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Metall; 1. OG mit PV-Element Lufttemperatur 50 mm vor der inneren Vorsatzschale in Elementmitte
Almemo Messstellennummer Nr. 1.63

## VIII.1 Messpunkte 1.OG (iVSM)

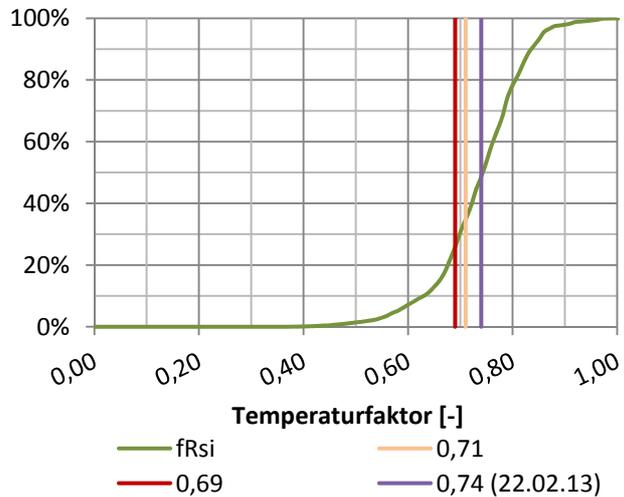
### VIII.1.2 MP111: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Mitte



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



**Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00**

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	21,89	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	15,08	[°C]

$f_{Rsi}$  0,74 [-]

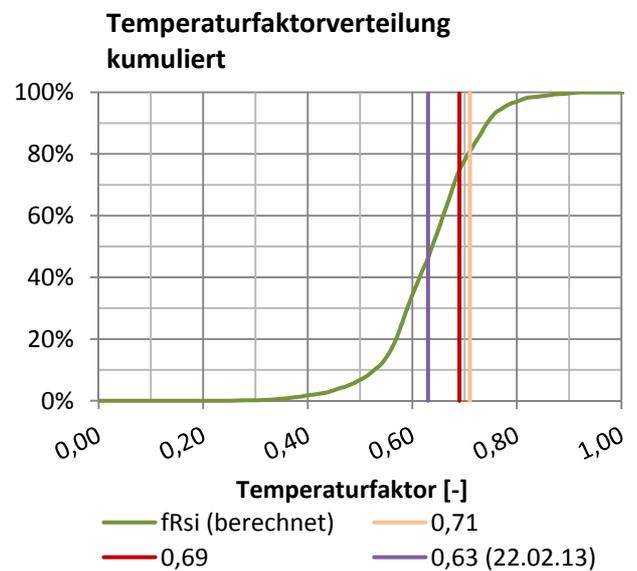
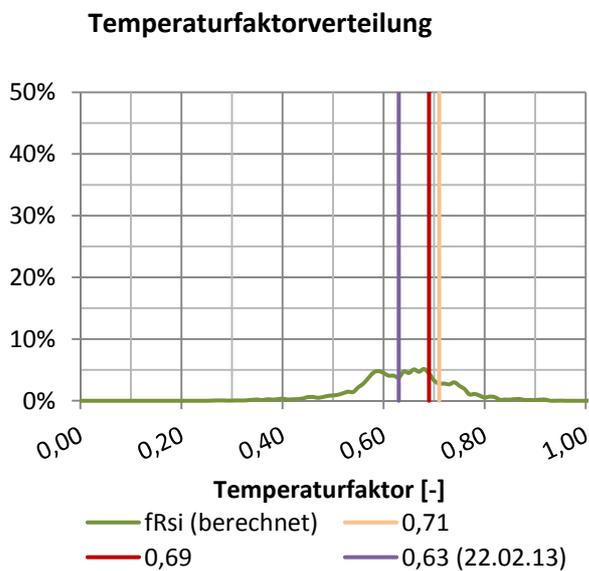
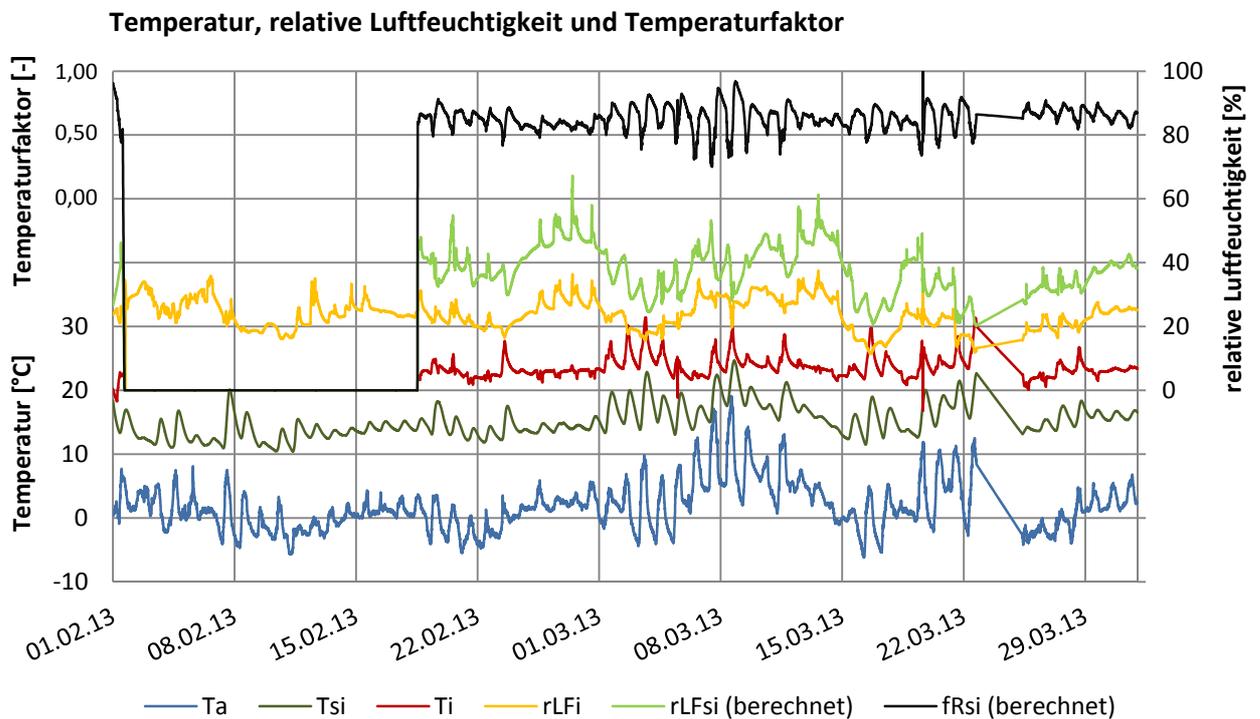
**Punktbeschreibung**

opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Metall; 1. OG mit PV-Element  
 Innenoberfläche des inneren Dämmpaneels (Einstellpaneel) in Elementmitte

Almemo Messstellennummer Nr. 1.27

### VIII.1 Messpunkte 1.OG (iVSM)

#### VIII.1.3 MP115: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Oben

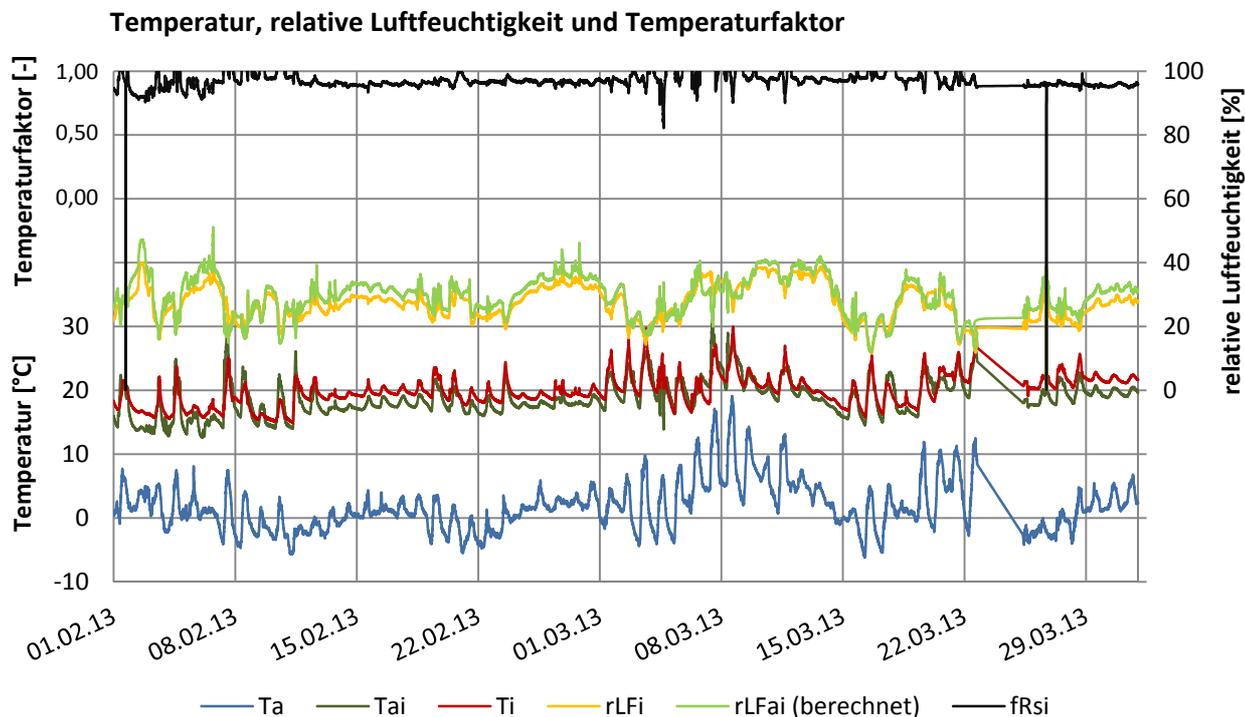


Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00			
Außentemperatur -	4,31	[°C]	
Innenraumtempertur	21,89	[°C]	
Temperatur Betrachtungspunkt	12,20	[°C]	
$f_{Rsi}$	<b>0,63</b>	[-]	

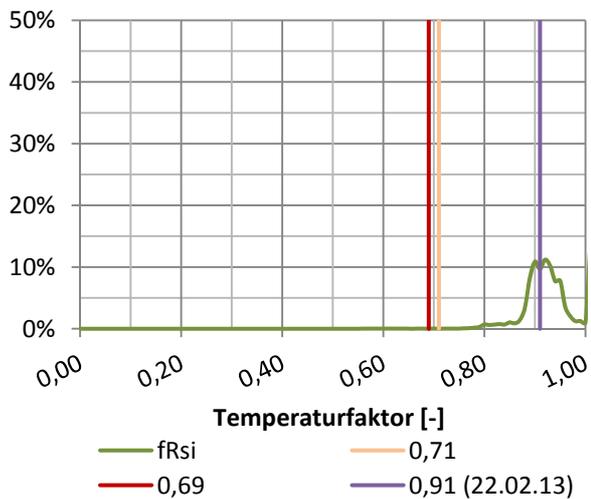
Punktbeschreibung
opakes Elementes mit innerer Vorsatzschale aus Metall; 1. OG mit PV-Element Innenoberfläche des inneren Dämmpaneels (Einstellpaneel) am oberen Elementrand
Almemo Messstellenummer Nr. 1.29

## VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

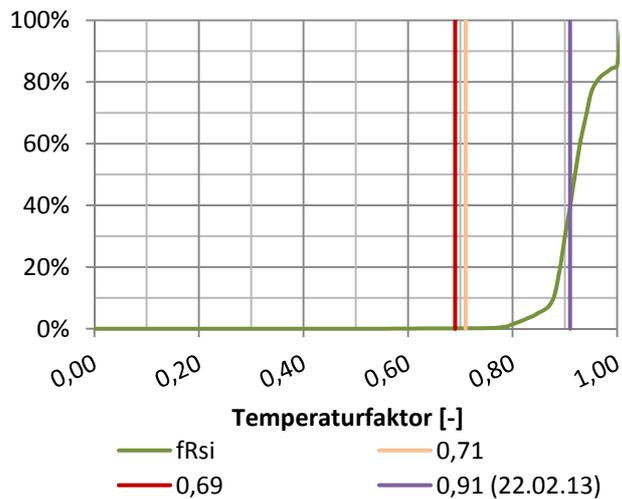
### VIII.2.1 MP13: Tai; TÜR, Schwelle, Mitte: bei Kante Verglasung zu Rahmen



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



#### Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	18,22	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	16,15	[°C]

$f_{Rsi}$  0,91 [-]

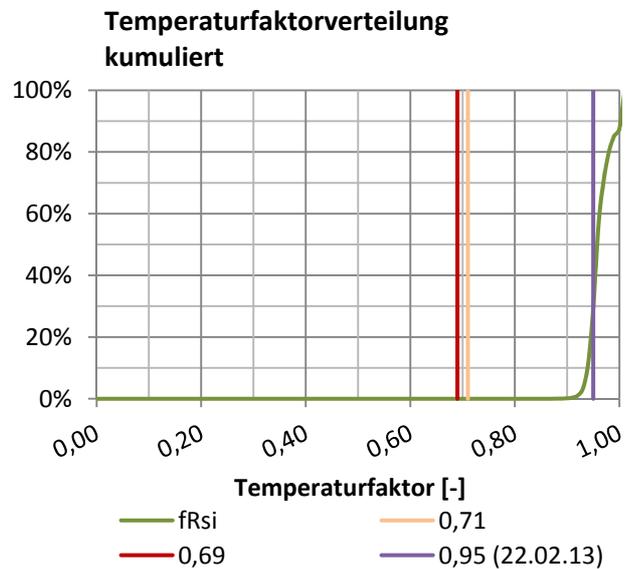
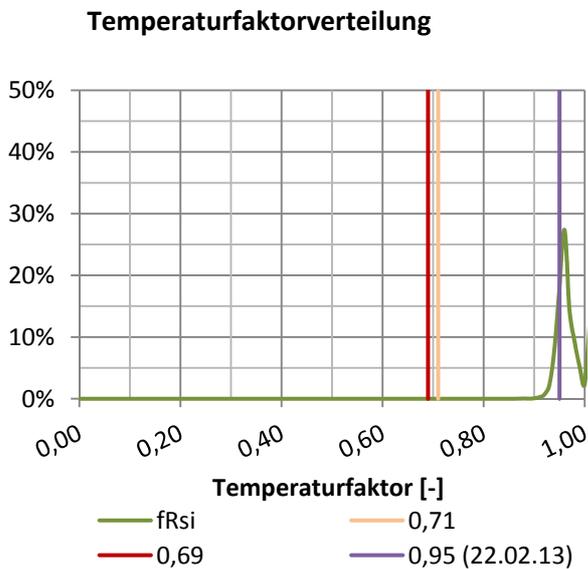
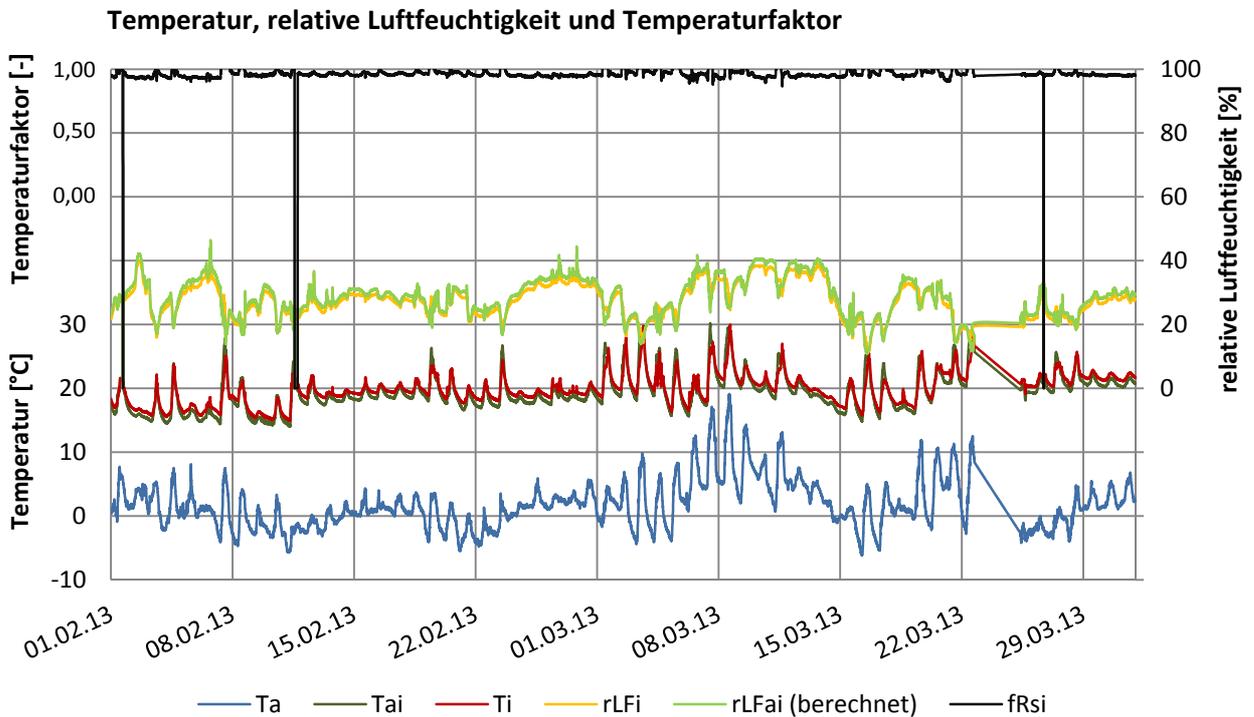
#### Punktbeschreibung

Türelement mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG  
Lufttemperatur 30 mm über unterem Flügelrahmen und 25 mm vor Verglasung im Schwellenbereich in Türmitte

Almemo Messstellenummer Nr. 1.16

VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

VIII.2.2 MP14: Tai; TÜR, Sturz, Mitte: bei Kante Verglasung zu Rahmen

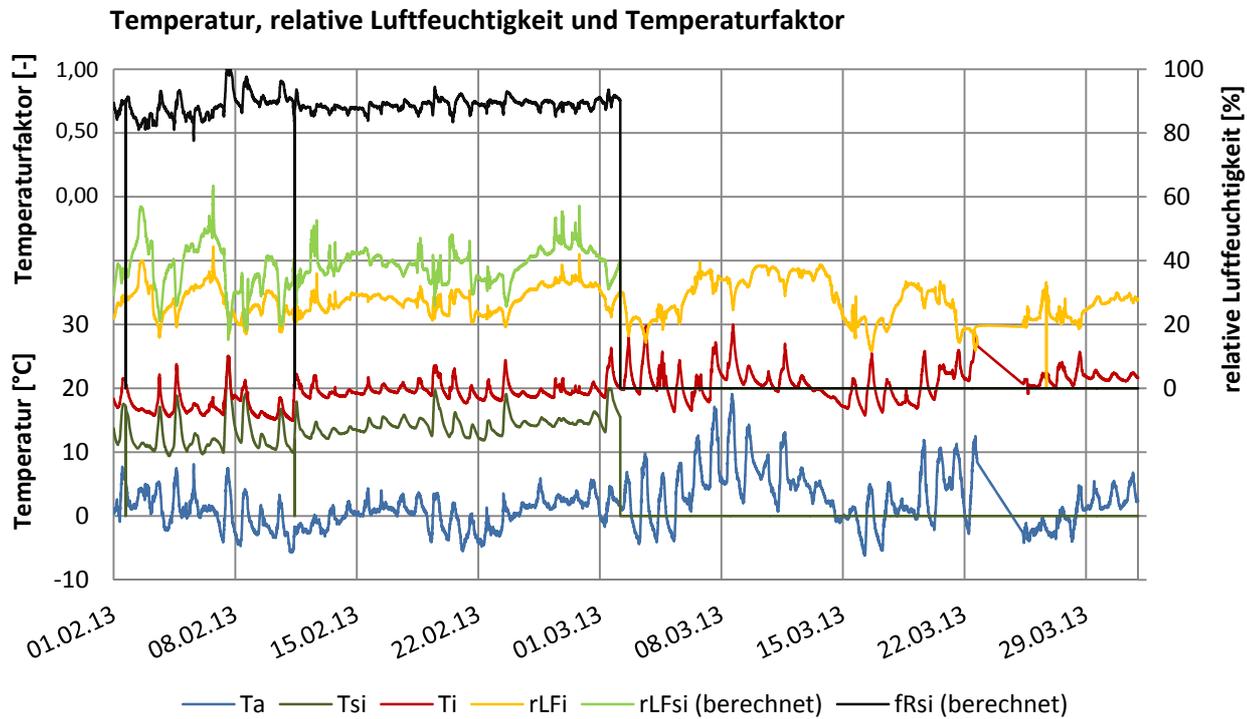


Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00			
Außentemperatur -	4,31	[°C]	
Innenraumtempertur	18,22	[°C]	
Temperatur Betrachtungspunkt	17,08	[°C]	
$f_{Rsi}$	<b>0,95</b>	[-]	

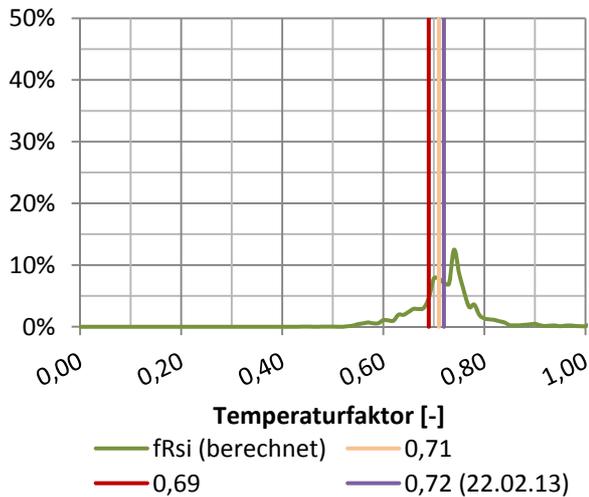
Punktbeschreibung
Türelement mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG
Lufttemperatur 30 mm unter Oberlichtenrahmen und 25 mm vor Verglasung im Sturzbereich in Türmitte
Almemo Messstellenummer Nr. 1.18

## VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

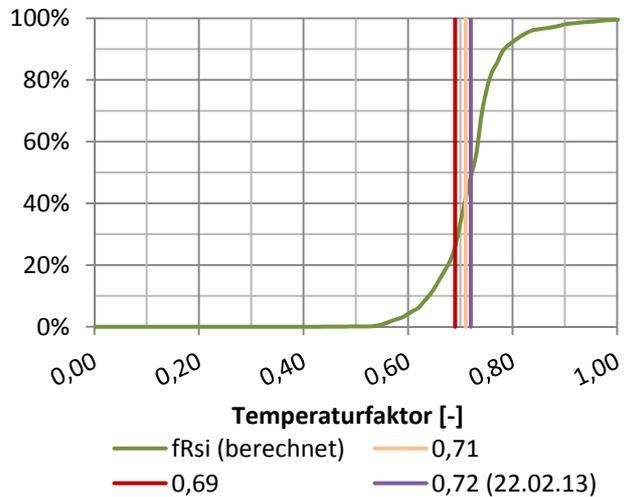
### VIII.2.3 MP38: Tsi; TÜR, Schwelle, Mitte: Kante Rahmen zu Stockverbreiterung



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



**Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00**

Außentemperatur - 4,31 [°C]  
 Innenraumtempertur 18,22 [°C]  
 Temperatur Betrachtungspunkt 11,98 [°C]

$f_{Rsi}$  0,72 [-]

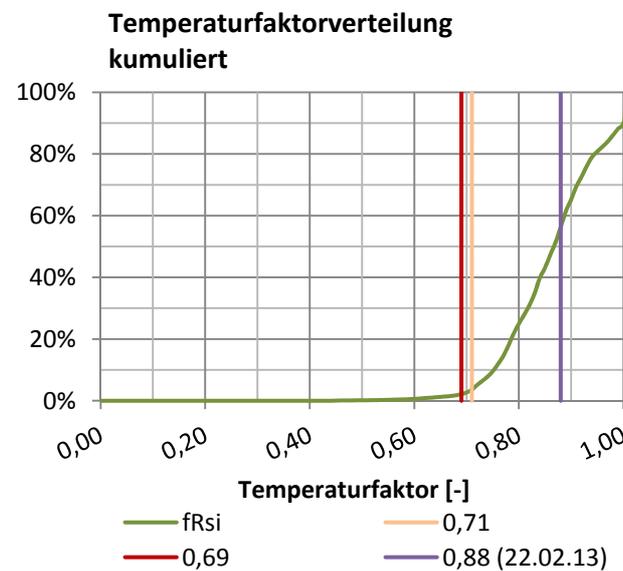
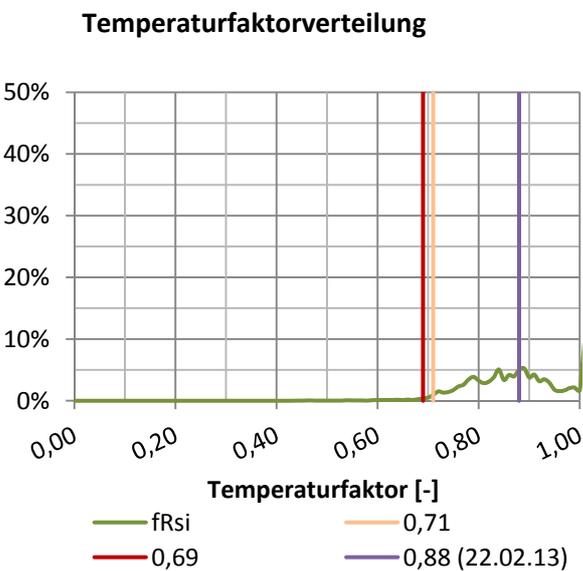
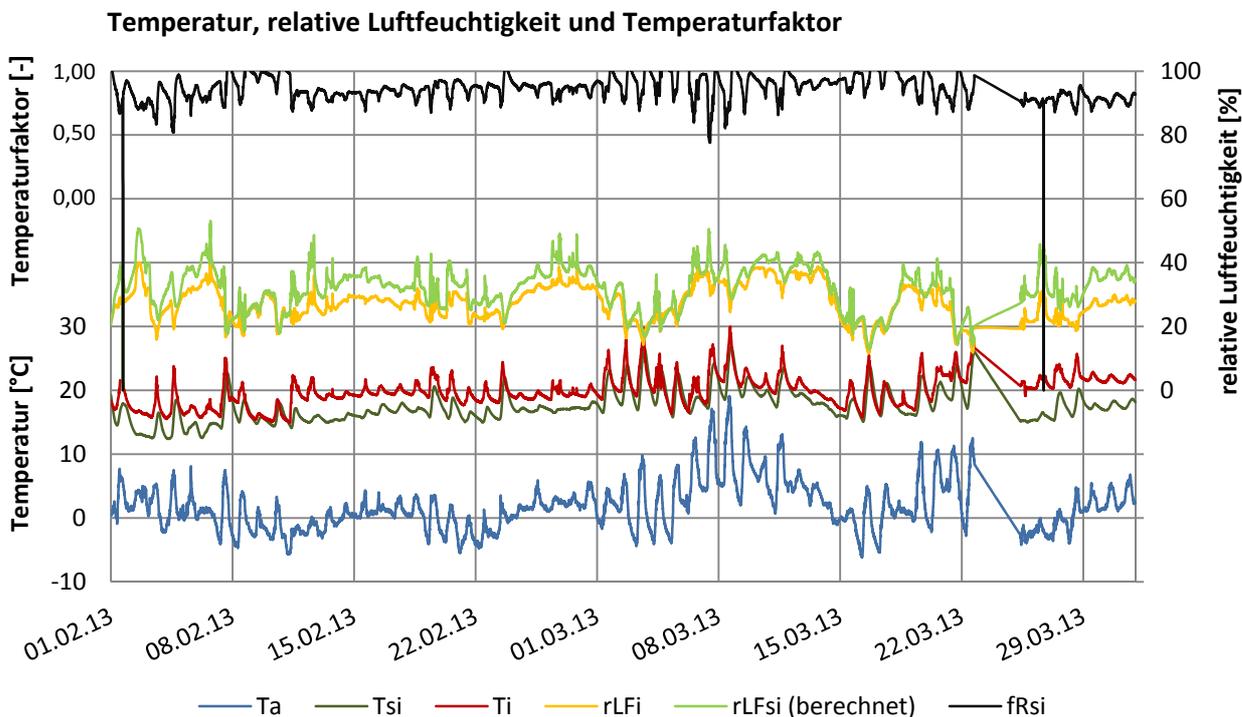
**Punktbeschreibung**

Türelement mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG  
 Kante des Rahmens zur Stockverbreiterung im Schwellenbereich in Türmitte (gemessen am Rahmen)

Almemo Messstellenummer Nr. 1.32

VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

VIII.2.4 MP40: Tsi; TÜR, Sturz, Mitte: Kante Stockverbreiterung zu Sturzabdeckung

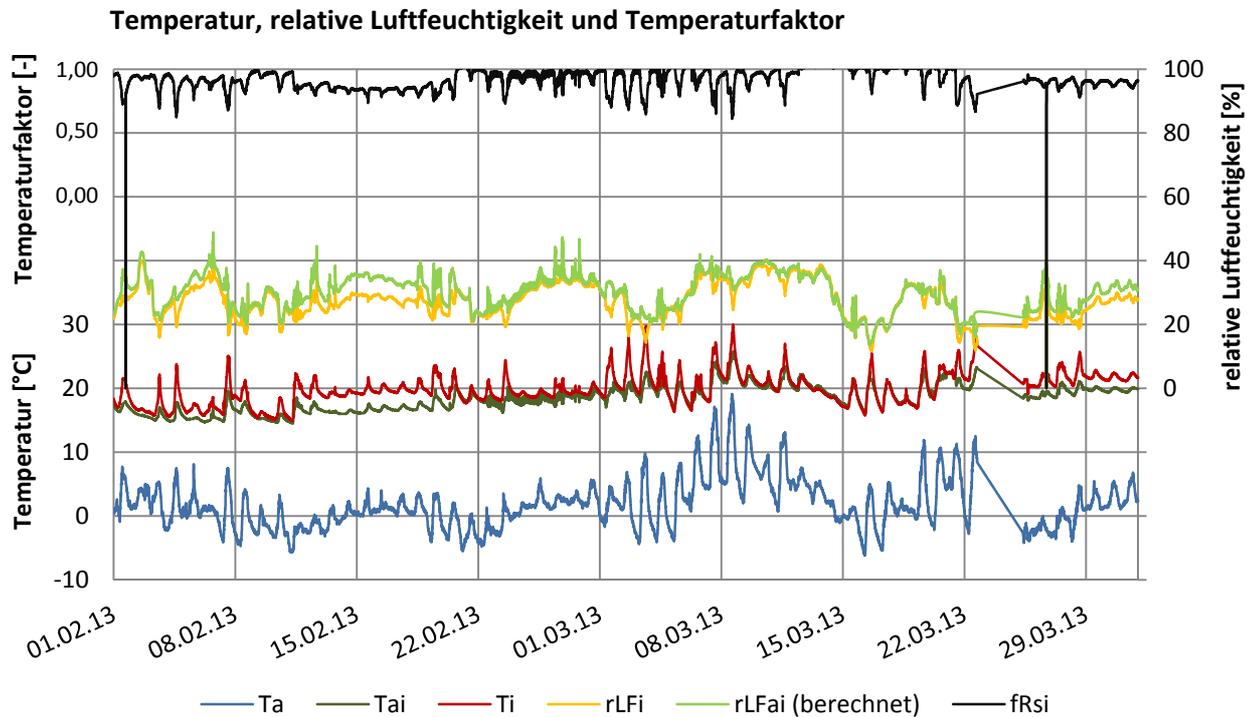


Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00			
Außentemperatur -	4,31	[°C]	
Innenraumtempertur	18,22	[°C]	
Temperatur Betrachtungspunkt	15,48	[°C]	
$f_{Rsi}$	<b>0,88</b>	[-]	

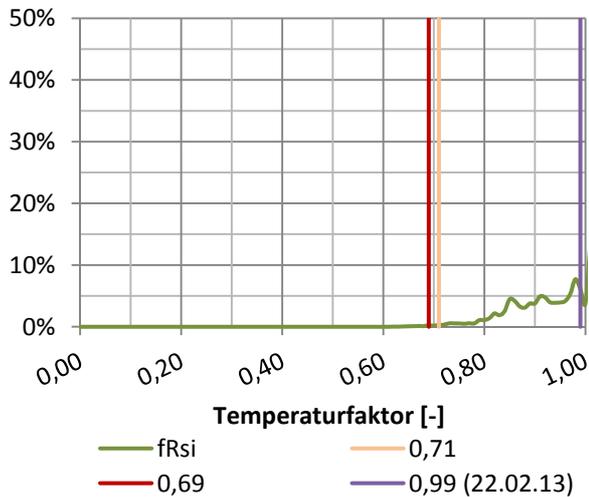
**Punktbeschreibung**  
 Türelement mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG  
 Kante Stockverbreiterung zu Sturzverkleidung im Sturzbereich in Türmitte (gemessen an Stockverbreiterung zwischen Stockverbreiterung und Sturzverkleidung)  
 Almemo Messstellennummer 1.25

## VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

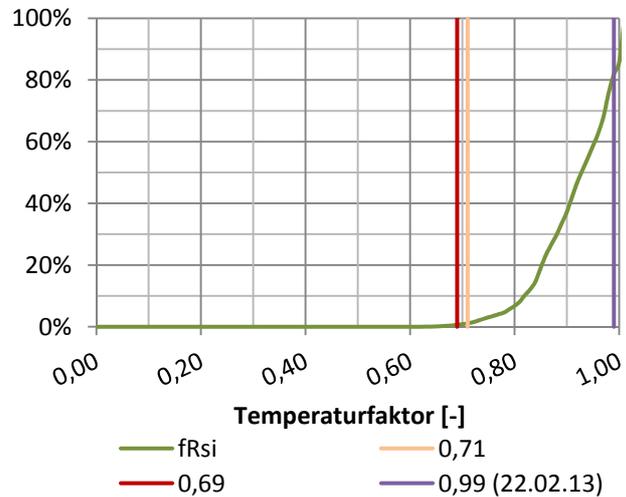
### VIII.2.5 MP72: Tai; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe über LTG



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



#### Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	18,22	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	17,96	[°C]

$f_{Rsi}$  0,99 [-]

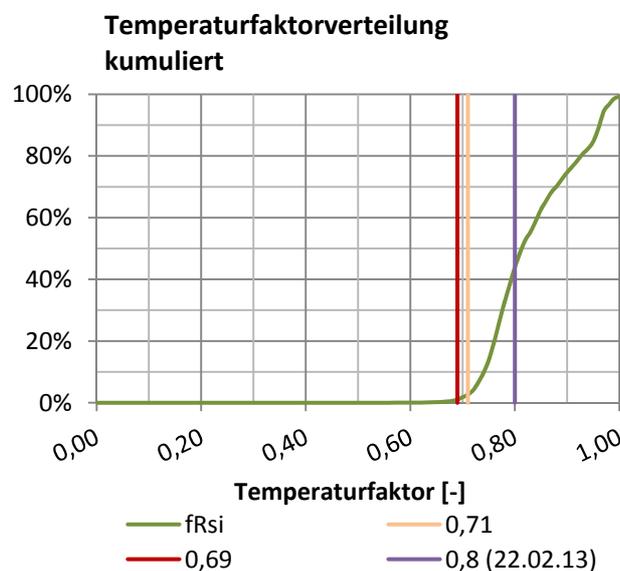
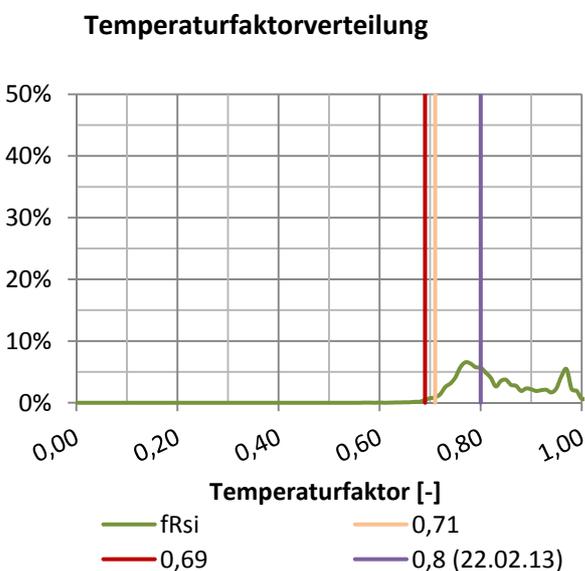
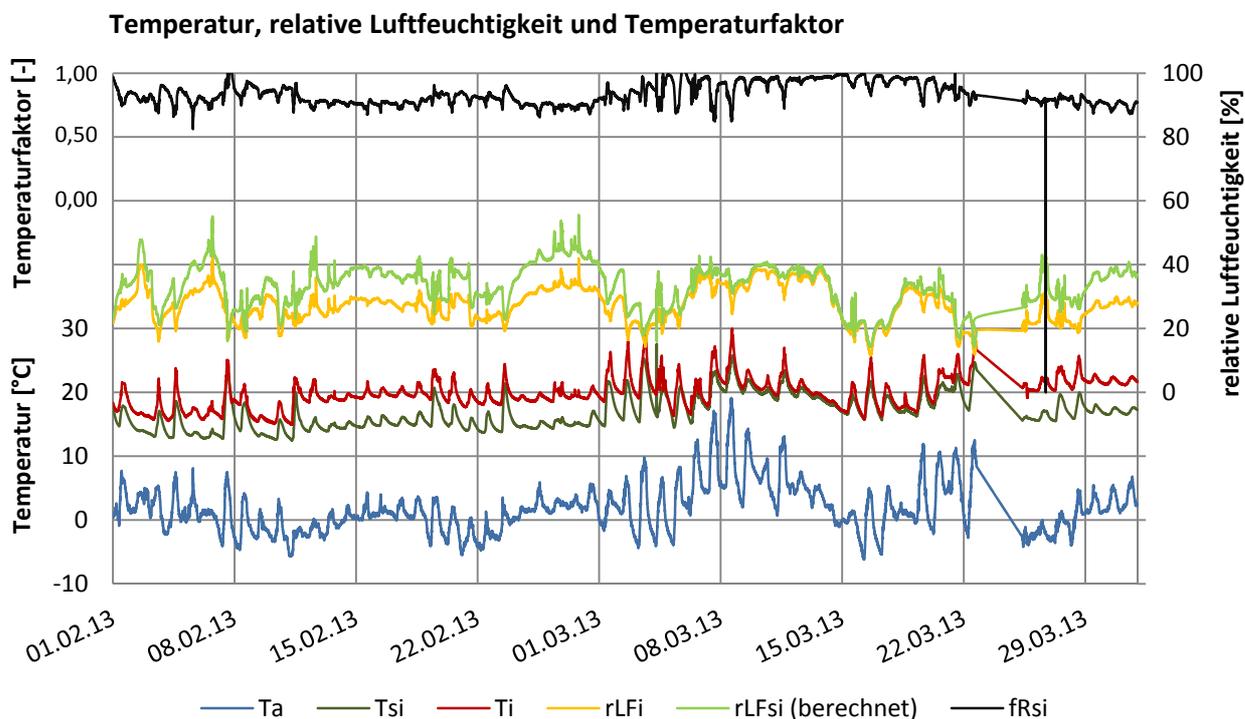
#### Punktbeschreibung

Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG mit ST-Element (über LTG-Element)  
 Lufttemperatur in der Hinterlüftungsebene, mittig vor der Wartungsklappe

Almemo Messstellenummer Nr. 1.10

VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

VIII.2.6 MP83: Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe

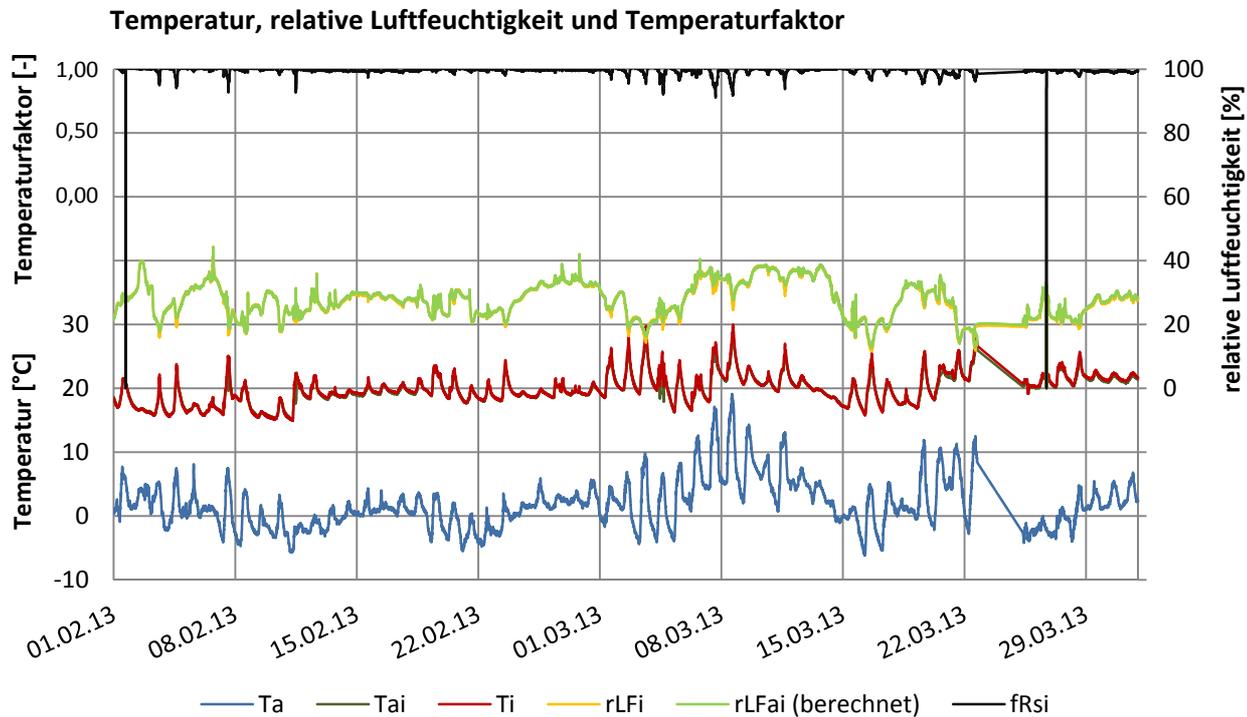


<b>Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00</b>			
Außentemperatur -	4,31	[°C]	
Innenraumtempertur	18,22	[°C]	
Temperatur Betrachtungspunkt	13,82	[°C]	
<b>f<sub>Rsi</sub></b>	<b>0,80</b>	<b>[-]</b>	

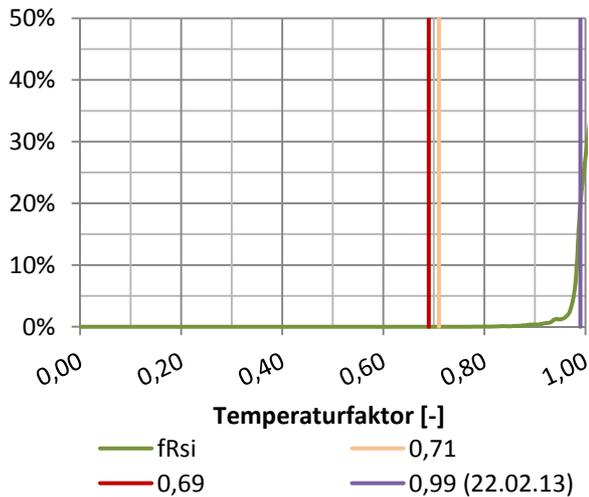
<b>Punktbeschreibung</b>
Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG mit ST-Element Oberflächentemperatur der Wartungsklappe, mittig
Almemo Messstellennummer Nr. 1.31

## VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

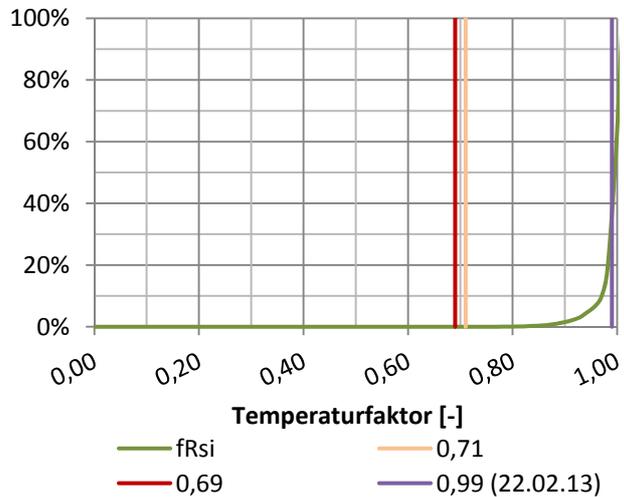
### VIII.2.7 MP135: Tai; OP, vor innerer Vorsatzschale Mitte



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



**Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00**

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	18,22	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	18,10	[°C]

$f_{Rsi}$  **0,99** [-]

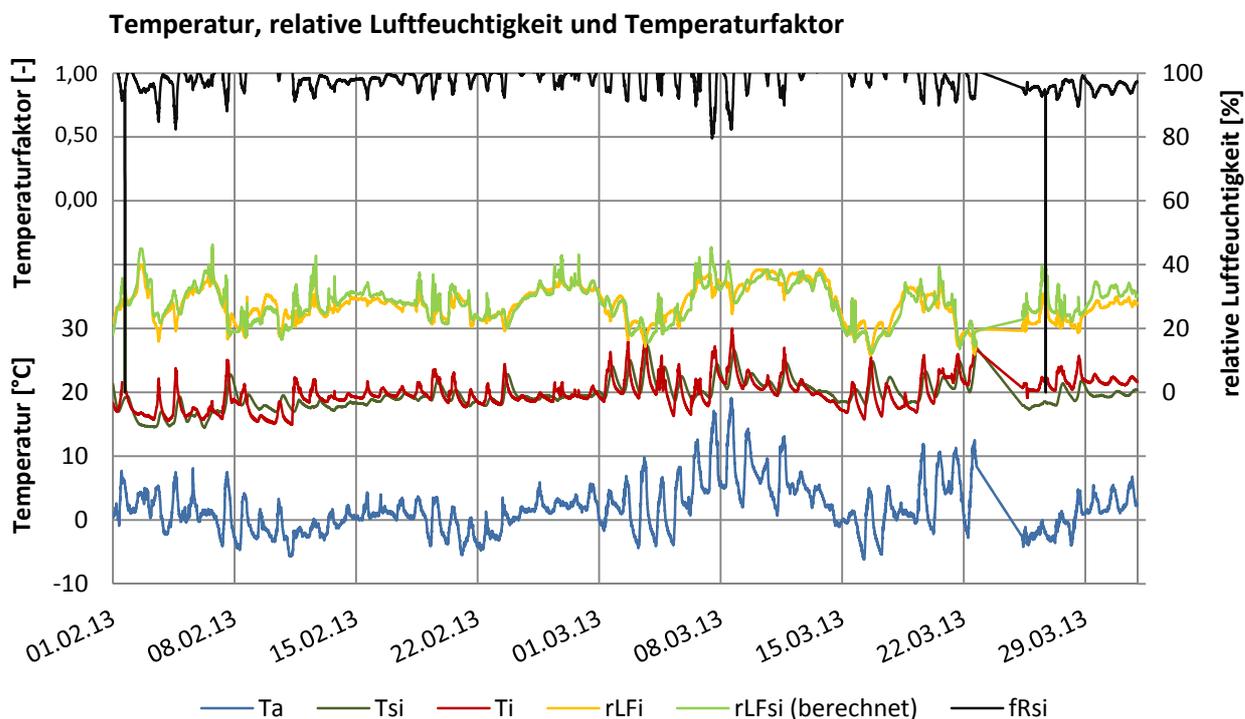
**Punktbeschreibung**

opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG mit ST-Element  
 Lufttemperatur 50 mm vor der inneren Vorsatzschale in Elementmitte

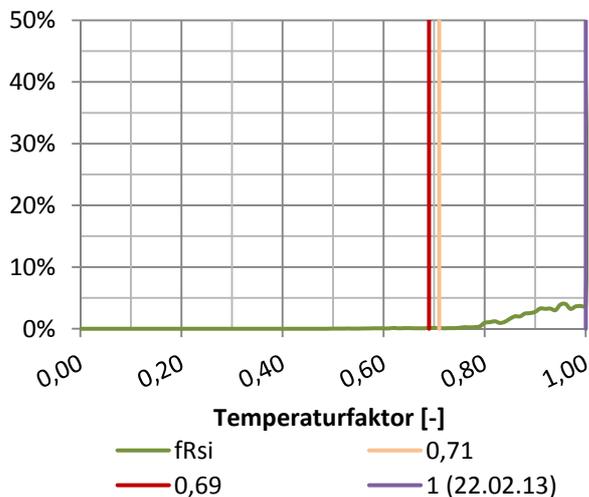
Almemo Messstellenummer Nr. 1.17

VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

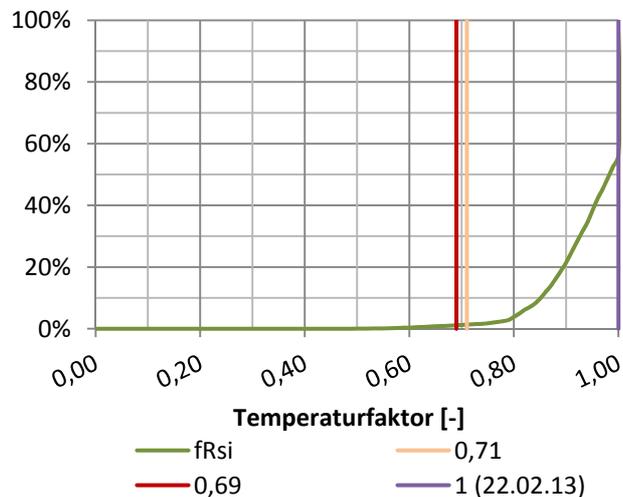
VIII.2.8 MP138: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Mitte



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



**Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00**

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	18,22	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	18,18	[°C]
$f_{Rsi}$	1,00	[-]

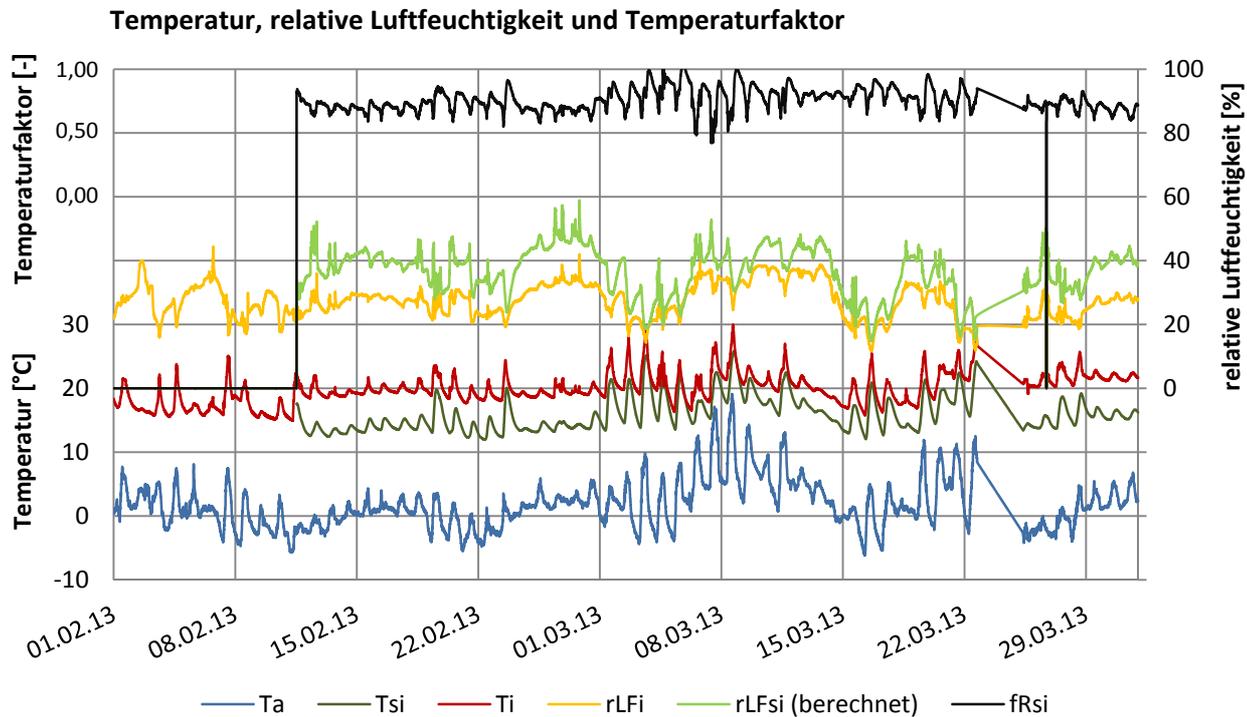
**Punktbeschreibung**

opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG mit ST-Element  
 Innenoberfläche des inneren Dämmpaneels (Einstellpaneel) in Elementmitte

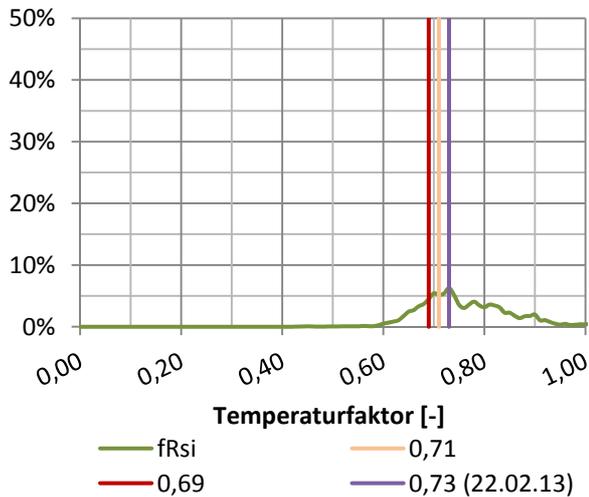
Almemo Messstellennummer Nr. 1.22

## VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

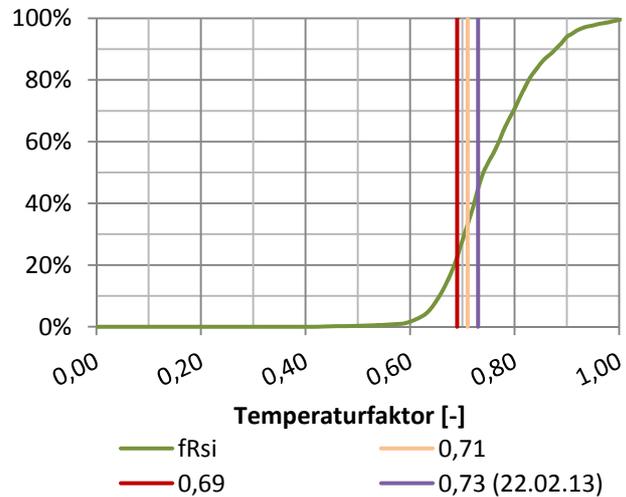
### VIII.2.9 MP142: Tsi; OP, in Hinterlüftungsebene, Einstellpaneel Oben



**Temperaturfaktorverteilung**



**Temperaturfaktorverteilung kumuliert**



#### Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	18,22	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	12,18	[°C]

$f_{Rsi}$  0,73 [-]

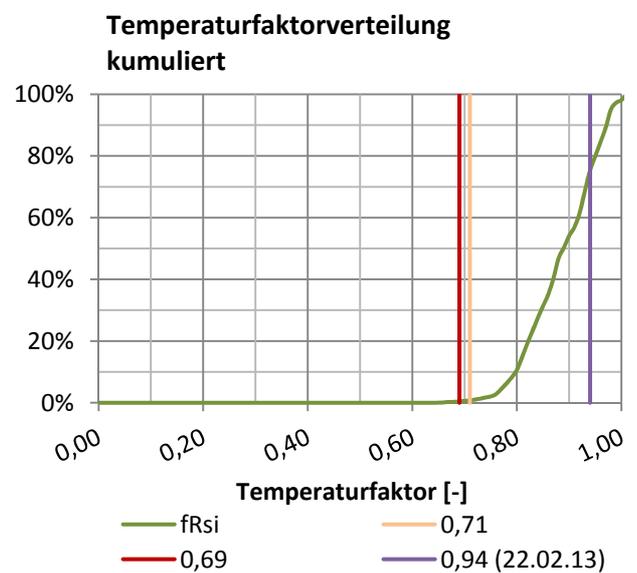
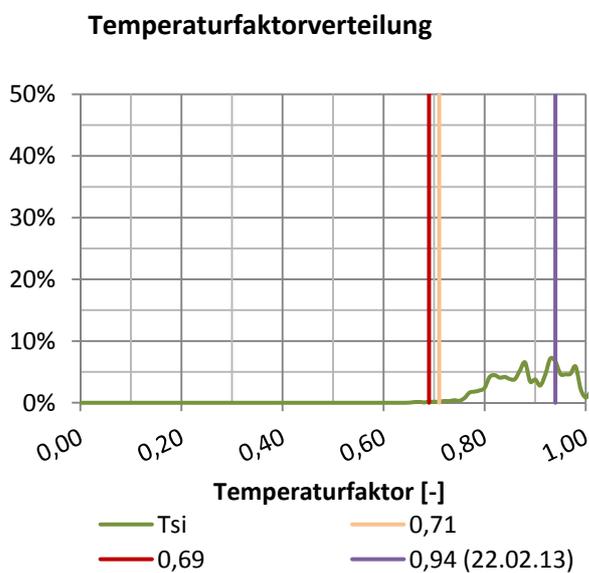
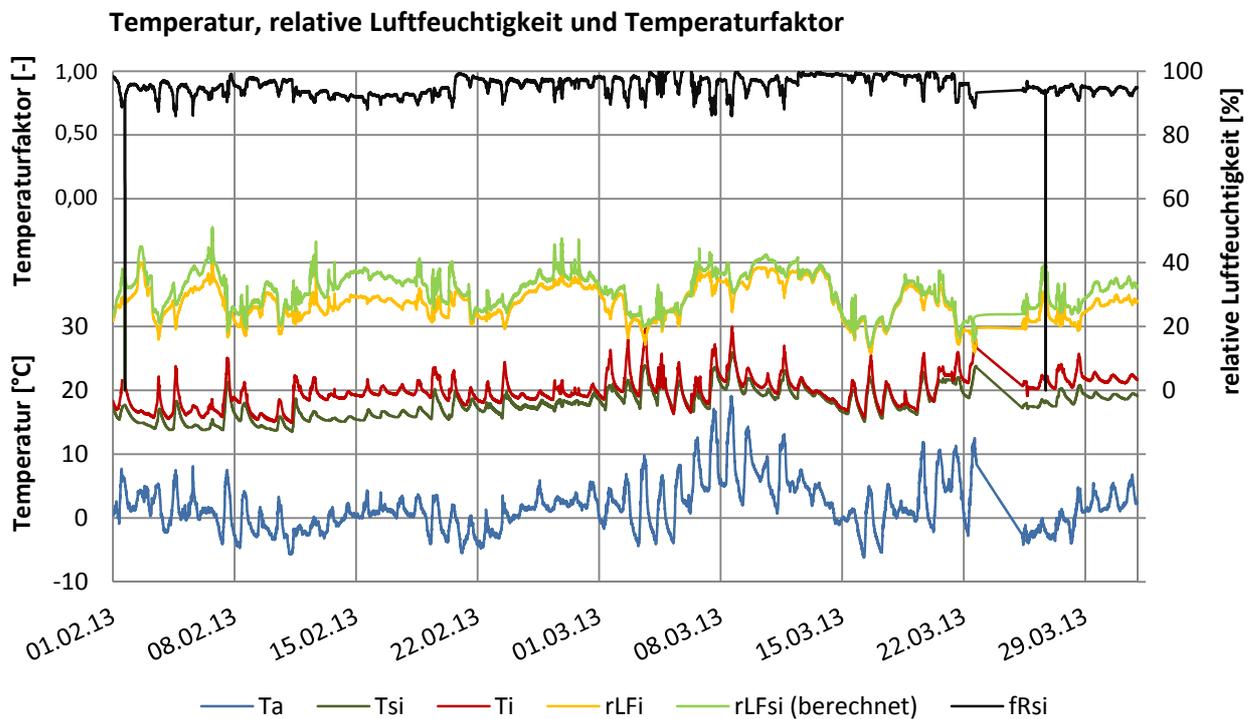
#### Punktbeschreibung

opakes Element mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG mit ST-Element  
 Innenoberfläche des inneren Dämmpaneels (Einstellpaneel) am oberen Elementrand

Almemo Messstellenummer Nr. 1.33

## VIII.2 Messpunkte 2.OG (iVSH)

### VIII.2.11 MP483: Tsi; BT, in Hinterlüftungsebene, Mitte Wartungsklappe über LTG



#### Temperaturfaktor für den 22.02.2013 aus den gemittelten Temperaturen zwischen 04:00 und 06:00

Außentemperatur -	4,31	[°C]
Innenraumtempertur	18,22	[°C]
Temperatur Betrachtungspunkt	16,80	[°C]

$f_{Rsi}$  0,94 [-]

#### Punktbeschreibung

Brüstungsträger mit innerer Vorsatzschale aus Holz; 2. OG mit PV-Element (über LTG-Element)  
Lufttemperatur in der Hinterlüftungsebene, mittig an der Wartungsklappe

Almemo Messstellennummer Nr. 1.11