



Technische Universität Graz  
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

Institut für Hochbau

MASTERARBEIT

# Hygrothermische Untersuchung einer Verbundfensterkonstruktion

ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau unter der Leitung von:

Dipl.-Ing. Heinz Ferk und Univ. Prof. DDr. Peter Kautsch

Verfasser:

**Edina Majdanac, BSc.**

Graz, November 2015



## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Statutory declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

---

place, date

---

signature



## Danksagung

In erster Linie möchte ich den größten Dank an meine Mutter Ismeta, meinen Ehemann Emil, meine Schwester Mirela und meinen Schwager Ahmet richten. Durch ihre Unterstützung, Geduld und Kraft nehmen sie eine bedeutende Rolle in meinem Leben, meiner Studienzeit und bei dem Verfassen dieser Masterarbeit ein.

Bei DI Heinz Ferk bedanke ich mich für die Betreuung meiner Masterarbeit, die konstruktiven und aufschlussreichen Gespräche und die interessante und lehrreiche Arbeit am Labor für Bauphysik der Technischen Universität Graz. Dem anschließend möchte ich einen herzlichen Dank dem gesamten Team des Labors aussprechen, das mir immer sehr hilfsbereit, freundlich und aufgeschlossen entgegengekommen ist und mir somit ein sehr angenehmes Umfeld bei der Erstellung meiner Masterarbeit geboten hat.

Mein Dank geht ebenfalls an Prof. DDr. Kautsch dessen Vorlesungen mich in die Bauphysik eingeleitet haben sowie für die unkomplizierte Abwicklung in der Schlussphase dieser Arbeit.

Ohne Ihr Zutun wäre ein fristgerechter Abschluss nicht möglich gewesen. Einen herzlichen Dank richte ich an Frau Tuna für Ihren Einsatz und die Bemühungen.

Meinen Kollegen der VATTER & Partner ZT-GmbH möchte ich für deren Verständnis und die Unterstützung, sowohl aus fachlicher als aus menschlicher Sicht, danken. Insbesondere richte ich meinen Dank an DI Markus Kozak und DI Alexander Scherr, deren Leidenschaft zur Bauphysik auf mich eine ansteckende Wirkung hatte und meine Wahl dieses Fachgebietes nicht unwesentlich beeinflusst hat.

Last but not least: Ein riesiges Dankeschön an meine Freunde und Studienkollegen, die diesen bedeutenden Lebensabschnitt zu einer unvergesslichen Zeit gemacht haben.



## Kurzfassung

In dieser Arbeit wird das hygrothermische Verhalten am Beispiel einer modernen Verbundfensterkonstruktion analysiert.

Die Rahmenkonstruktion des untersuchten Fensters besteht aus Aluminium, wobei im Hauptflügel eine Dreischeibenisolierverglasung verbaut ist und im Verbundflügel eine Einscheibensicherheitsverglasung. Sowohl bei dieser vorliegenden hochgedämmten Fensterkonstruktion als auch bei vergleichbaren Verbundfensterkonstruktionen wird in der Praxis gelegentlich eine Kondensatbildung an der Verglasung des Verbundflügels festgestellt.

Demzufolge liegt der Schwerpunkt dieser Untersuchung in der Analyse des Feuchteverhaltens im Verbundraum sowie der thermischen Beurteilung des Fensters. Diese Arbeit soll als Grundlage für die Optimierung und weitere Untersuchungen vorliegender sowie ähnlicher Verbundfensterkonstruktionen dienen.

Dabei erfolgt die Untersuchung experimentell an zwei baugleichen Fenstern in einer Doppelklimakammer. Der Untersuchung werden die Parameter Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur des Außen- und Innenklimas zugrunde gelegt. Im Weiteren wird die Auswirkung unterschiedlicher Druckdifferenzen zwischen dem Innen- und Außenraum untersucht. Entsprechend den technischen Möglichkeiten wird als weiterer Punkt dieser Untersuchung der Einfluss der außenseitigen Strömungsverhältnisse auf das Feuchteverhalten im Verbundraum dargelegt. Der Einfluss der Strahlung kann hier jedoch nicht gezielt untersucht werden. Im Weiteren erfolgt eine Untersuchung der Luftdurchlässigkeit sowie des thermischen Verhaltens des Fensters. Dabei werden die gemessenen Temperaturen für die Modellierung unterschiedlicher Ansätze der Randbedingungen herangezogen und die berechneten Ergebnisse den gemessenen gegenübergestellt.

Schlussfolgernd kann gezeigt werden, dass der Feuchtegehalt im Verbundraum zum einen von der Luftzufuhr aus dem Innenbereich über den Hauptflügel beeinflusst wird. Es ist erkennbar, dass ein Luftaustausch zwischen dem Innenklima und dem Verbundraum stattfindet. Wodurch anfallende Luftfeuchte nach außen abgeführt werden kann. Zum anderen zeigt sich, dass der Luftwechsel im Verbundraum mit der Außenluft wiederum stark von den außenseitigen Strömungsverhältnissen abhängig ist. Woraus folgt, dass bei hohen Windgeschwindigkeiten die Feuchteabfuhr gut funktioniert, bei Windstille beziehungsweise geringer Konvektion an der Fassadenußenseite hingegen nahezu kein Austausch stattfindet.

Bezüglich des thermischen Verhaltens kann gezeigt werden, dass die Luftschicht im Verbundraum annähernd der normgemäßen Definition des unbelüfteten Hohlraumes entspricht. Im Weiteren wird deutlich, dass der Vorsatz der weiteren Glasscheibe keine relevante Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Bereiches Verglasung mit sich bringt. Durch die höhere Rahmenstärke, jedoch in diesem Bereich eine deutliche Verringerung des Wärmestroms gegeben ist.



## Abstract

This master thesis analyses the hygrothermal behaviour using the example of a modern composite window construction.

The frame construction of the examined window consists of aluminium, whereas triple glazed units are implemented in the main casement and tempered safety glass in the composite casement. During the survey of the highly insulating window construction as well as in comparable composite window constructions occasionally condensate occurred on the glazing of the composite casement.

Therefore the focus of this research is the analysis of the moisture behaviour in the composite area (space between two casements) and the thermal assessment of the window. Furthermore, this thesis shall serve as a basis for optimisation and additional investigations of present and similar composite window constructions.

The research experiment takes place in a double climatic chamber on two identically constructed windows. As a basis for the survey, the parameters of air humidity and air temperature of the interior and exterior climate were taken. Further, the impact of different pressure differences between interior and exterior space were analysed. Another aspect of this analysis, according to the technical means, is to point out the influence of the exterior flow conditions on the moisture behavior in the composite area. However, the influence of the radiation cannot be specifically considered in this master thesis. Additionally this research explores the air permeability as well as the thermic behaviour of the window. Thereby the measured temperatures were adduced for modeling different approaches of the boundary conditions and the calculated results compared to the measured ones.

In conclusion, the moisture content in the composite area is on one hand influenced by the air supply from the interior by the main casement. It can be observed that an air exchange takes place between the indoor climate and the composite area. This process leads the air moisture to the exterior. On the other hand, it becomes apparent that the air change in the composite area with the outdoor climate strongly depends on the outdoor flow conditions. From this it follows that high wind speed supports moisture removal, whereas if there is no wind or low convection almost no air exchange takes place at the outer façade.

Finally, concerning the thermal behavior, it can be shown that the air layer in the composited area conforms approximately to the definition of the unventilated cavity. Furthermore, it becomes evident that installing another glass panel makes no relevant improvement of the heat transfer coefficient of the glazing area. By means of higher frame strength in this part, there is however a significant reduction in heat flows.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Die Entwicklung der Fensterkonstruktionen.....	1
1.2	Hintergrund.....	1
1.3	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	2
1.4	Struktur der Untersuchung und der Arbeit.....	3
<b>2</b>	<b>Beschreibung der Prüfkörper</b> .....	<b>5</b>
2.1	Allgemeines.....	5
2.1.1	Anmerkung zu der inneren Glasanlagendichtung .....	6
2.2	Öffnungen am Rahmenprofil.....	7
2.2.1	Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel .....	7
2.2.2	Dampfdruckausgleichsöffnungen und Belüftungsöffnungen am Verbundflügel.....	8
2.3	Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_w$ .....	9
2.3.1	Aluminiumrahmen – Wärmedurchgangskoeffizienten $U_f$ .....	9
2.3.2	Verglasung – Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$ .....	11
2.3.2.1	Dreischeibenisolierverglasung $U_{g,IV}$ .....	12
2.3.2.2	Einscheibensicherheitsverglasung $U_{g,ESG}$ .....	14
2.3.3	Randverbund – längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\psi$ .....	14
<b>3</b>	<b>Luftdurchlässigkeit</b> .....	<b>16</b>
3.1	Beschreibung der Untersuchung .....	16
3.1.1	Luftdurchlässigkeitsprüfung nach ÖNORM EN 1026 .....	16
3.1.2	Messung der Luftgeschwindigkeit.....	17
3.2	Auswertung der Ergebnisse .....	17
3.2.1	Luftdurchlässigkeitsprüfung nach der ÖNORM EN 1026 [8].....	17
3.2.2	Luftdurchlässigkeit – Messung der Luftgeschwindigkeit.....	18
<b>4</b>	<b>Hygrothermische Untersuchung in der Doppelklimakammer</b> .....	<b>21</b>
4.1	Prüfstand.....	21
4.1.1	Klima im Prüfstand im Vergleich zu der Natur.....	22
4.2	Messdaten und Sensorik.....	25
4.3	Beschreibung der Messserien und Erkenntnisse aus der Begutachtung.....	29
4.3.1	Messserie A .....	29
4.3.1.1	Beschreibung der Messungen .....	29
4.3.1.2	Beobachtungen während der Messungen.....	30
4.3.2	Messserie B.....	30

4.3.2.1	Beschreibung der Messungen.....	30
4.3.2.2	Beobachtungen während der Messungen.....	31
4.3.3	Messserie C.....	33
4.3.3.1	Beschreibung der Messungen.....	33
4.3.3.2	Beobachtungen während der Messungen.....	34
4.3.4	Messserie D – Maßnahmen zur Lokalisierung des Optimierungspotenzials.....	35
4.3.4.1	M-D-01 – Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel.....	36
4.3.4.2	M-D-02 - Vergleichsmessung.....	37
4.3.4.3	M-D-03 - Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel.....	38
4.3.4.4	M-D-04 – Abdichtung der Glasanlagedichtung und der Glasleiste.....	39
4.3.4.5	M-D-05 – Glasanlagedichtung um ca. 3 cm gelöst.....	39
4.3.4.6	M-D-06 – Abdichtung der Anschlagsdichtung.....	41
4.3.4.7	M-D-07 – Abdichtung der Belüftungsöffnungen des Verbundraumes.....	41
<b>4.4</b>	<b>Auswertung und Analyse der Messergebnisse .....</b>	<b>42</b>
4.4.1	Messserie A.....	42
4.4.2	Messserie B.....	45
4.4.3	Messserie C.....	46
4.4.3.1	Vergleich der Luftfeuchte und Temperaturen im Verbundraum.....	46
4.4.3.2	Vergleich Oberflächentemperatur Glasposition 2 und Taupunkttemperatur.....	47
4.4.3.3	Reaktion beim Start der Messung.....	48
4.4.4	Messserie D.....	49
4.4.4.1	M-D-02 - Vergleichsmessung.....	50
4.4.4.2	M-D-03 - Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel.....	52
4.4.4.3	M-D-04 – Abdichtung der Glasanlagedichtung und der Glasleiste.....	54
4.4.4.4	M-D-05 – Glasanlagedichtung um ca. 3 cm gelöst.....	55
4.4.4.5	M-D-06 – Abdichtung der Anschlagsdichtung.....	57
4.4.4.6	M-D-07 – Abdichtung der Belüftungsöffnungen des Verbundraumes.....	58
4.4.4.7	Vergleich der Druckdifferenzen M-D-06 und M-D-07.....	61
<b>5</b>	<b>Thermische Untersuchung: Vergleich zwischen Messung und Berechnung .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1</b>	<b>Berechnungsgrundlagen.....</b>	<b>64</b>
5.1.1	Berechnungsansatz.....	64
5.1.2	Modellierung des Fensters.....	68
<b>5.2</b>	<b>Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>69</b>
5.2.1	Wärmeübergangswiderstände.....	69
5.2.2	Äquivalente Wärmeleitfähigkeit der Luftschicht im Verbundraum.....	72
5.2.3	Auswirkungen der Wärmeleitfähigkeiten auf die Oberflächentemperaturen.....	73
5.2.4	Vergleich der errechneten Widerstände mit dem Berechnungsprinzip.....	74
5.2.5	Berechnung des Temperaturverlaufes und des Wärmestroms.....	75
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>77</b>
<b>6.1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>77</b>
<b>6.2</b>	<b>Optimierungspotenzial.....</b>	<b>79</b>
<b>6.3</b>	<b>Forschungsbedarf .....</b>	<b>79</b>

7	Literaturverzeichnis .....	81
8	Abbildungsverzeichnis .....	82
9	Tabellenverzeichnis .....	85



# 1 Einleitung

## 1.1 Die Entwicklung der Fensterkonstruktionen

Die Notwendigkeit einer Verbindung des Innenraums zum Außenraum sowie das Bedürfnis nach Licht und Belüftung des Raumes leiten den Einsatz von Öffnungen in der Hüllfläche der Behausung ein. Um diese Funktionen, vor allem die des Lichtdurchlasses beizubehalten, jedoch einen Abschluss zum Außenraum zu schaffen, kommen Verglasungen der Öffnungen zum Einsatz. Als erstes kann der Einsatz von Glas zum Schließen von Öffnungen bei den Römern vermerkt werden. Als Entwicklung dessen ergibt sich ein öffnenbares, einfach verglastes Fensterelement in einem Holzrahmen. [4]

Aus dem Verlangen nach einem besseren Wärmeschutz entsteht durch das Vorsetzen eines weiteren Fensterstocks und Flügels das Kastenstockfenster, mit zwei getrennt öffnenbaren Flügeln. Auf dessen Basis wird durch den Verbund der beiden Flügel das Verbundfenster entwickelt. Dabei ergibt sich eine dünnere Konstruktion mit zwei Flügeln, die gemeinsam oder getrennt geöffnet werden können und an einem gemeinsamen Stock anschlagen. Durch die Entwicklung der Isolierverglasung und der damit verbundenen Rückkehr zum Einfachfenster wird das Verbundfenster jedoch immer mehr vom Markt verdrängt. [3, 4]

Die Mehrschaligkeit der Fensterkonstruktion hat jedoch auch Vorteile, wodurch die Entwicklung der letzten Zeit einen stärkeren Trend zu mehrschaligen Konstruktionen wie dem Verbundfenster und der Doppelfassade zeigt. Den größten Vorteil bietet bei diesen Konstruktionen die Steigerung des Schalldämmmaßes im Vergleich zu Einfachfenstern. [3, 4]

Das heutige Verbundfenster wird in der Regel mit einer innen liegenden Isolierverglasung und einer im Verbundflügel eingebundenen Einfachverglasung ausgeführt. Dabei bietet der Verbundraum die Möglichkeit, einen verdeckt liegenden Sonnenschutz zu integrieren.

## 1.2 Hintergrund

Als Folge der weltweit gesetzten Ziele der Energieeinsparung zeigt sich eine starke Entwicklung zur Reduktion der Wärmeverluste an unseren Bauten. Sowohl bei den opaken als auch transparenten Bauteilen der Gebäudehülle ist in den letzten Jahrzehnten ein starker Fortschritt diesbezüglich zu vermerken. Bei der Verglasung geht der Trend sehr stark in Richtung des Einsatzes von Dreischeibenisolierverglasungen, wie auch im hier vorliegenden Fall.

Bedingt durch die Verringerung des Wärmestroms der Verglasung, sind außenseitig an der Isolierverglasung geringere Oberflächentemperaturen zu vermerken. Im Falle einer Verbundkonstruktion wirkt sich dieser verringerte Wärmestrom auch auf die Lufttemperatur im Verbundraum sowie die Oberflä-

chentemperaturen der außenseitigen Verglasung im Verbundflügel aus. Durch die Reduktion der Oberflächentemperaturen im Verbundraum steigt die Gefahr der Kondensatbildung in diesem Bereich.

Ein weiterer Faktor, der zur Reduktion der Oberflächentemperatur beiträgt, ist der Strahlungsaustausch von Oberflächen mit der Umgebung. Die auf die Erde auftreffende Sonnenstrahlung wird zu Teil reflektiert und zum Teil absorbiert. Durch die Reflexion werden die umliegenden Flächen zusätzlich bestrahlt. Der absorbierte Teil erwärmt die Erde. Diese emittiert wiederum entsprechend ihrer Temperatur langwellige Infrarotstrahlen. Auch die atmosphärischen Bestandteile reflektieren zum Teil die auftreffende Strahlung und emittieren eine langwellige Strahlung entsprechend ihrer Temperatur, bezeichnet als atmosphärische Gegenstrahlung. Bei klarem Himmel kann der Anteil der Gegenstrahlung geringer als der von der Erdoberfläche ausgesendete sein. Bei Nichtvorhandensein der Sonnenstrahlung, also bei Nacht, stellt sich durch die höhere Abstrahlung der Erde im Vergleich zur atmosphärischen Gegenstrahlung, eine stärkere Abkühlung der Erdoberfläche ein. Da sich dieser beschriebene Strahlungsaustausch auch auf die Elemente auf der Erdoberfläche wie beispielsweise der Straßen, Gebäude und Autos bezieht, hat dies auch einen Einfluss auf die Oberflächentemperatur der Bauteile unserer Gebäude. [5]

Der Effekt der strahlungsbedingten Reduktion der Oberflächentemperatur spielt bei der Problemstellung einer Kondensatbildung an der Außenoberfläche bei hochgedämmten Bauteilen eine stärkere Rolle, da diese bereits durch den verringerten Wärmestrom eine geringere Temperatur an der Außenoberfläche aufweisen. Bei entsprechenden Feuchtebedingungen der Außenluft kann dadurch der Taupunkt an der Oberfläche unterschritten werden und somit zur Kondensatbildung an der Bauteiloberfläche führen.

Im vorliegenden Fall des Verbundfensters mit innen liegender Dreischeibenisolierverglasung konnte in der Praxis eine Kondensatbildung außenseitig festgestellt werden. Jedoch zeigt sich auch, dass auf der innen liegenden Seite der Verbundflügelverglasung ein Beschlagen der Scheibe stattfindet, in Situationen, bei denen die äußere Scheibe klar bleibt.

Durch die entsprechenden Wärmetransportmechanismen kann davon ausgegangen werden, dass die Außenseite dieser Verglasung eine niedrigere Temperatur aufweist als die Innere. Demnach muss im Verbundraum eine höhere Luftfeuchtigkeit vorliegen als im Außenbereich. Diese höhere Luftfeuchte kann eine Folge der Undichtigkeiten des Fensters sein, die eine Zufuhr feuchter Innenluft in den Verbundraum ermöglichen.

### **1.3 Aufgabenstellung und Zielsetzung**

Im Zuge dieser Arbeit wird das hygrothermische Verhalten am Beispiel einer Verbundfensterkonstruktion untersucht. Dabei sollen die Temperaturverteilung innerhalb der Fensterkonstruktion sowie der Einfluss des Verbundflügels auf das thermische Verhalten analysiert werden.

Im Weiteren soll gezeigt werden, wie sich die Feuchtigkeit im Bereich des Verbundraumes bei unterschiedlichen Klimabedingungen verhält und unter welchen Umständen Kondensat an der innenseitigen Oberfläche der Verbundverglasung entsteht.

Ziel der Arbeit ist es, die Einflüsse auf das hygrothermische Verhalten dieses Fensters, insbesondere im Bereich des Verbundraumes, zu erfassen und entsprechendes Optimierungspotenzial hinsichtlich der Kondensatbildung im Bereich des Verbundraumes zu definieren. Im Weiteren soll diese Arbeit eine Grundlage für die Analyse und Optimierung dieser und vergleichbarer Verbundfensterkonstruktionen bieten.

## 1.4 Struktur der Untersuchung und der Arbeit

Die Untersuchung anhand der beschriebenen Fragestellung erfolgt in erster Linie experimentell. Dabei werden zwei baugleiche Verbundfenster hinsichtlich des hygrothermischen Verhaltens in der Doppelklimakammer untersucht. Neben den Parametern Lufttemperatur und Luftfeuchte auf der Innen- und Außenseite kommen unterschiedliche Druckdifferenzen zwischen dem Außen und Innenklima zur Variation. Eingeschränkt auf die Verhältnisse in der Klimakammer, können strahlungsbedingte Einflüsse hier nicht gezielt erforscht werden. Neben der Variation der Parameter wird untersucht, wie sich unterschiedliche Elemente des Fensters auf das hygrothermische Verhalten auswirken.

Neben der optischen Begutachtung der Fenster bei den Messungen erfolgt eine kontinuierliche Erfassung der Messdaten des Luftklimas (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck) im Außenbereich, Innenbereich und im Verbundraum und der Glasoberflächentemperaturen in Scheibenmitte.

Ein weiterer Punkt der Untersuchung ist die Luftdurchlässigkeitsprüfung der Fenster. Diese wird einerseits mittels der Ermittlung des Luftvolumenstroms entsprechend des Verfahrens nach der ÖNORM EN 1026 durchgeführt. Andererseits wird innenseitig die Luftgeschwindigkeit entlang verschiedener Fugen des Fensters, bei einem außenseitigen Überdruck, zur Lokalisierung von Schwachstellen, gemessen.

Zur Beschreibung eines Modells zur zweidimensionalen thermischen Simulation der Fensterkonstruktion sowie zur Beurteilung der Auswirkungen der Prüfsituation in der Klimakammer werden Berechnungen durchgeführt. Dabei werden normative Berechnungsansätze den Messergebnissen gegenübergestellt und ein Ansatz zur sinnvollen Modellierung dargelegt.

Hauptsächlich beschäftigt sich diese Arbeit mit den Feuchte- und Temperaturverhältnissen im Verbundraum, jedoch werden Erkenntnisse über das Verhalten anderer Bereich des Fensters, die sich während der Untersuchung ergeben haben, ebenfalls angeführt.

Diese Arbeit gliedert sich in fünf Teile. Vorerst erfolgt die Beschreibung der Prüffenster, darauffolgend wird die Luftdurchlässigkeitsprüfung erläutert und die Ergebnisse dargelegt und ausgewertet. Den dritten Teil bildet die hygrothermische Untersuchung in der Doppelklimakammer der darauf folgende Abschnitt umfasst die thermische Untersuchung mit dem Vergleich der Messergebnisse zu den Be-

rechnungsansätzen. Den Schluss bildet das Fazit mit der Zusammenfassung der Erkenntnisse, dem Optimierungspotenzial und der Darlegung des weiteren Forschungsbedarfs.

## 2 Beschreibung der Prüfkörper

In diesem Kapitel werden die beiden Prüffenster mit ihren allgemeinen Eigenschaften, den vorhandenen Öffnungen und der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten beschrieben. Der Vertikalschnitt durch das Profil wurde der Herstellerhomepage entnommen und entsprechend der vorliegenden Verhältnisse überarbeitet. Die grundlegenden Maße des Fenster und seiner Bestandteile sind überprüft worden und mit dem Vertikalschnitt verglichen. Die Masse der Öffnungen am Fensterprofil sowie deren Lage, wurden an den Prüffestern genommen und die Zeichnungen dem entsprechend ausgelegt. Unterschiede der beiden Fenster diesbezüglich liegen im Bereich der zulässigen Toleranzen.

### 2.1 Allgemeines

Im Zuge der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungen an zwei baugleichen hochdämmenden Drehkipp-Flügel Fenstern mit einem Mehrkammerprofil aus Aluminium durchgeführt. Das Stockaußenmaß der Verbundfenster beträgt 123 cm x 148 cm. Mit dieser Fenstergröße und den Kennwerten der einzelnen Komponenten ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient des Fenster zu  $U_w = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$  (2.3).

In dem Hauptflügel des Verbundfensters ist eine Dreischeibenisolierverglasung, mit einer Gesamtdicke von 48 mm, eingebaut. Die äußere und innere Glasscheibe sind an den Positionen 4 und 7, gemäß Abb. 1, mit einer Low-e Beschichtung versehen und die Scheibenzwischenräume mit einer Füllung aus Argon. Damit ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient von  $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (siehe 2.3.2). Im Randverbund kommt ein thermisch verbesserter Abstandhalter zum Einsatz. In der vorliegenden Konstellation errechnet sich der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizient zu  $\psi = 0,03 \text{ W/mK}$  (siehe 2.3.3). Der vorgesezte Verbundflügel ist mit einer 10 mm starke Einscheibensicherheitsverglasung verglast.

Die Prüffenster weisen umlaufend den gleichen Rahmenquerschnitt gemäß Abb. 1 auf. Dabei sind die Aluminiumbestandteile der Rahmenkonstruktion mit einem Isoliersteg thermisch voneinander getrennt und die Hohlräume teilweise mit einem Dämmmaterial gefüllt. Der Wärmedurchgangskoeffizient des vorliegenden Rahmens ergibt sich zu  $U_f = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Das Fenster verfügt über drei Dichtungsebenen, bestehend aus der Anschlagdichtung und einer doppelten Mitteldichtung. Im Weiten ist eine Dichtungsebene zwischen dem Haupt- und Verbundflügel vorhanden.

In der vorliegenden Arbeit sind die beiden Fenster durch die Nummerierung F002 und F003 gekennzeichnet. Die Nummerierung der Glasoberflächen und Scheibenzwischenräume ist gemäß Abb. 1 definiert.

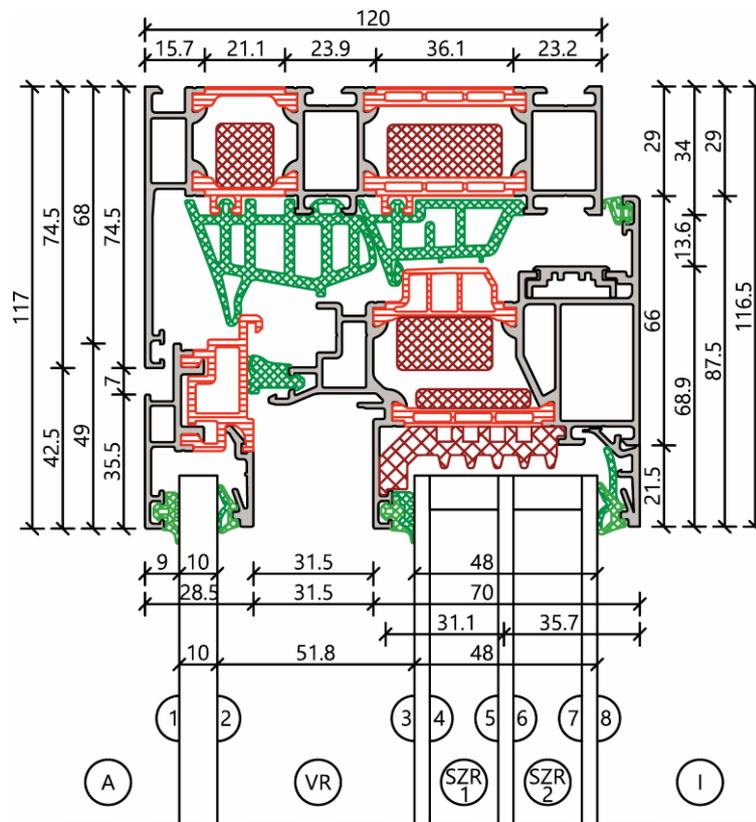


Abb. 1 Vertikalschnitt Fensterrahmen M 1:2 [mm]

### 2.1.1 Anmerkung zu der inneren Glasanlagedichtung

Anzumerken ist, dass gemäß der Ausführungsrichtlinien des Profilverstellers, die Innere Glasanlagedichtung mit der entsprechenden Verglasungsstärke und Glasleiste, eine Dicke von 5 bis 6 mm aufweist. Die in den Prüfenstern verbaute Glasanlagedichtung weist jedoch eine Stärke von 7 bis 8 mm auf. Um den Einfluss der dünnen Dichtung darzustellen wird hier die Luftdurchlässigkeitsprüfung mit beiden Dichtungsvarianten am Fenster F003 durchgeführt.

Im Weiteren zeigt sich aus der Praxis, dass die Glasanlagedichtung oft fehlerhaft eingebaut wird. Dabei wird die Dichtung nicht in einer ausreichenden Länge zugeschnitten und ergibt sich zusätzlich noch eine temperaturbedingte Verkürzung, kommt es zu klaffenden Fugen. Diesbezüglich wird ebenfalls eine Prüfung der Luftdurchlässigkeit durchgeführt, sowie eine hygrothermische Untersuchung in der Klimakammer.

## 2.2 Öffnungen am Rahmenprofil

### 2.2.1 Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel

Am Hauptflügel sind fünf Bohrungen mit einem Durchmesser von 5 mm für den Dampfdruckausgleich des Flügelrahmens angebracht (Abb. 2). Dabei befinden sich drei der Öffnungen im unteren Bereich und jeweils eine seitlich im oberen Teil des Rahmens. Die Öffnungen führen in den Verbundraum.

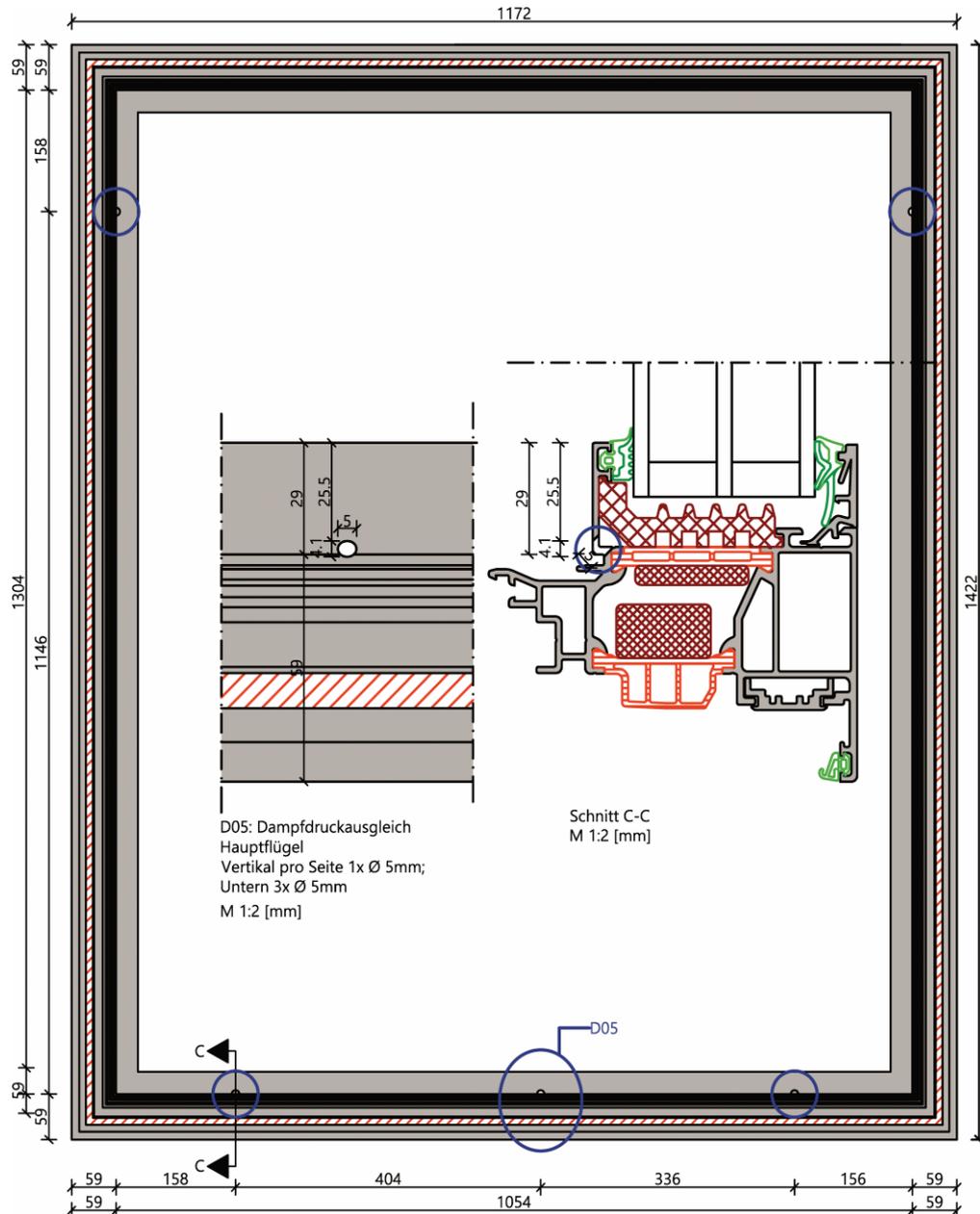


Abb. 2 Hauptflügel Dampfdruckausgleichsöffnungen – Ansicht vom Verbundraum M1:10 [mm];  
Detailauszüge und Detailschnitt M 1:2 [mm]



Umlaufend sind am Verbundflügel in zwei Ebenen versetzt liegende Öffnungen zur Belüftung des Verbundraumes vorhanden. Je Ebene sind 18 Öffnungen mit einer Länge von 27 mm und einer Breite von 5 mm gegeben. Dabei sind pro Ebene je fünf vertikal angeordnet und je vier horizontal.

### 2.3 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_w$

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Fensters  $U_w$  wird nach der ÖNORM EN ISO 10077-1 [10] mit den Anteilen des Rahmens  $U_f$ , der Verglasung  $U_g$  und des Randverbundes  $\psi$  berechnet. Aus den im Folgenden erläuterten Einzelkomponenten ergibt sich:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi}{A_g + A_f} = 0,73 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

- $U_w$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Fensters  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- $U_g$  ... Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- $U_f$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenprofils  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- $\psi$  ... längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Randverbundes  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$
- $A_g$  ... projizierte Glasfläche  $[m^2]$
- $A_f$  ... projizierte Rahmenfläche  $[m^2]$
- $l_g$  ... Länge des Randverbundes  $[m]$

#### 2.3.1 Aluminiumrahmen – Wärmedurchgangskoeffizienten $U_f$

Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens erfolgt nach der ÖNORMEN ISO 10077-2:2012 [12] mithilfe der Software zur hygrothermischen zweidimensionalen Simulation HTflux und liefert folgendes Ergebnis:

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f} = 1,0 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

- $L_f^{2D}$  ... zweidimensionaler thermischer Leitwert der Profils mit Dämmfüllung  $L_f^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T} \left[ \frac{W}{mK} \right]$
- $\Phi$  ... Wärmestrom des Profils mit Dämmfüllung  $\left[ \frac{W}{m} \right]$
- $\Delta T$  ... Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenklima  $[K]$
- $U_p$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des mittleren Bereiches der Dämmfüllung  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- $b_f$  ... projizierte Breite des Rahmenprofils  $[m]$
- $b_p$  ... sichtbare Breite der Dämmfüllung  $[m]$

Gemäß [12] erfolgt die Modellierung der Verglasung zur Berechnung des Wärmdurchgangskoeffizienten als Dämmfüllung wie in Abb. 4 dargestellt. Die Materialkennwerte sind entsprechend der Angaben des Herstellers bzw. nach der EN 12524 angesetzt und sind in Tab. 1 angeführt.

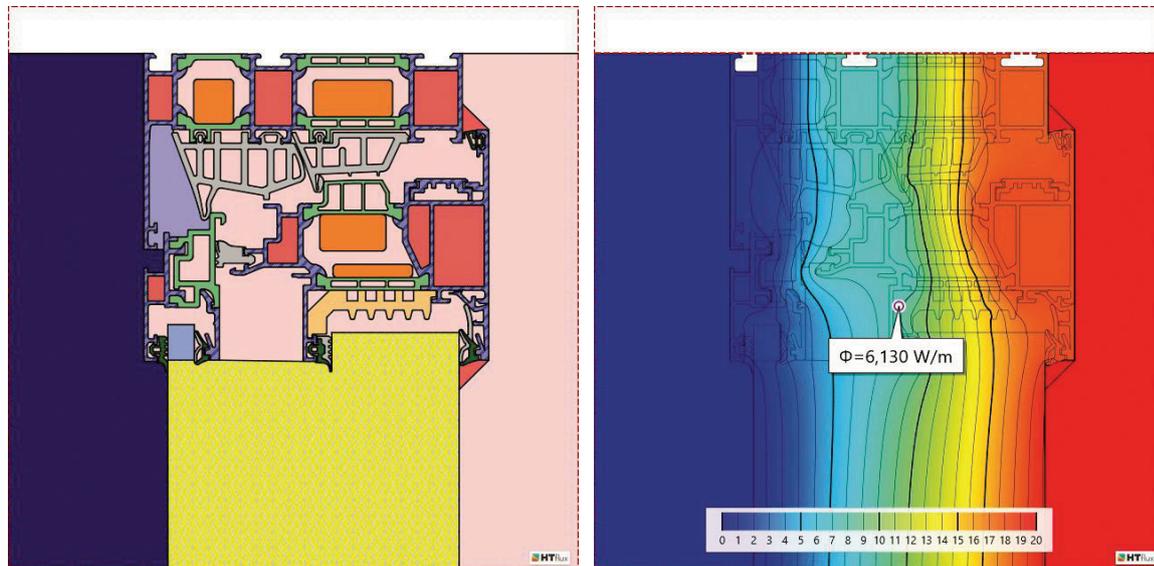


Abb. 4 Uf-Berechnung – Materialansicht (links) und Temperaturverlauf (rechts)

Die Berechnung der Hohlräume erfolgt softwareintern über das Verfahren nach [12]. Dabei wird in einem iterativen Verfahren, entsprechen der sich ergebenden Grenztemperaturen des Hohlraumes unter Berücksichtigung der Strahlung und Konvektion, eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Hohlraums ermittelt. Die Normung unterscheidet drei Fälle hinsichtlich der Belüftung des Hohlraums. Die drei Charakteristiken unbelüfteter, leicht belüfteter und gut belüfteter Hohlraum, werden über die Verbindung zum Innen- bzw. Außenklima definiert. Für den leicht belüfteten Hohlraum ist die zweifache äquivalente Wärmeleitfähigkeit des unbelüfteten Hohlraums anzusetzen. Bei einem gut belüfteten Hohlraum wird den Grenzflächen das Außen- bzw. Innenklima mit seinen Temperaturen und Wärmeübergangswiderständen zugeordnet. [12]

Im dem vorliegende Fall sind entsprechend der Kriterien in der ÖNORM EN ISO 10077-2 und den Erkenntnissen bezüglich des Verbundraumes unter 5.2.2 bis auf die außenseitige Vorkammer alle Hohlräume als unbelüftet definiert. Die außenseitige Vorkammer wird entsprechend ihrer Verbindung zum Außenklima als leicht belüftete eingestuft. Die Zuordnung der Materialien bzw. Hohlraumdefinitionen ist in Abb. 4 ersichtlich mit den Materialeigenschaften gemäß Tab. 1.

Hinsichtlich des Emissionsverhaltens der Aluminiumoberflächen wird die Tabelle A.3 [12] herangezogen. Dort sind pulverbeschichtete Oberflächen mit einem Emissionsgrad von  $\epsilon = 0,9$  definiert. Im vorliegenden Fall ist diese Beschichtung an den außen- bzw. innenseitigen, sichtbaren Teilen des Profils aufgebracht. Die innen liegenden Oberflächen sind nicht direkt beschichtet, jedoch ist durch das Beschichtungsverfahren nicht sichergestellt, dass sich der Sprühnebel nicht auf den innen liegenden Oberflächen absetzt. Dadurch begründet werden nur die komplett geschlossenen Hohlräume der Aluminiumprofile mit einem Emissionsgrad von  $\epsilon = 0,3$  entsprechend der Tabelle A.3 [12] definiert.

Bezeichnung	$\lambda$ [W/mK]	Bezeichnung	$\lambda$ [W/mK]
 Aluminiumlegierungen	160,00	 Natronglas (Floatglas)	1,0
 Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	0,25	 Dämmfüllung 035	0,035
 HI-Dämmschaum	0,04	 Hohlraum schwach belüftet; $\epsilon_1 = 0,9$ ; $\epsilon_2 = 0,9$	Automatisch ermittelt
 Polyethylenschaum 040	0,04	 Hohlraum unbelüftet; $\epsilon_1 = 0,9$ ; $\epsilon_2 = 0,9$	Automatisch ermittelt
 Moosgummi	0,05	 Hohlraum unbelüftet; $\epsilon_1 = 0,3$ ; $\epsilon_2 = 0,3$	Automatisch ermittelt
 Polythermid	0,15		

Tab. 1 Uf-Berechnung: Materialeigenschaften

Die Randbedingungen des Außen- und Innenklimas sind laut der Tab. 2 für die Berechnung angesetzt. Die Wärmeübergangswiderstände und Lufttemperaturen unterliegen der Vorgabe der ÖNORM EN ISO 10077-2.

Bezeichnung	T [°C]	R [m <sup>2</sup> K/W]
 Klima Innen R=0,20, Erhöhter Widerstand in den Eckbereichen des Rahmens	20,0	0,20
 Klima Innen R=0,13	20,0	0,13
 Klima Außen	0,0	0,04

Tab. 2 Uf-Berechnung: Randbedingungen

### 2.3.2 Verglasung – Wärmedurchgangskoeffizienten $U_g$

Entsprechend der ÖNORM EN ISO 10077-1 [10] errechnet sich der Wärmedurchgangskoeffizient einer Verglasung bei einem Verbundfenster mittels der Kombination der Ergebnisse der einzelnen Verglasungsteile. In diesem Fall der Einscheibensicherheitsverglasung im Verbundflügel sowie der Dreischiebenisolierverglasung im Hauptflügel. Nach der unten beschriebenen Formel ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasungskombination zu  $U_g = 0,481 \text{ W/m}^2\text{K} \approx 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vergleicht man diesen Wert mit jenem der Isolierverglasung alleine  $U_{g,IV} = 0,529 \text{ W/m}^2\text{K} \approx 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  zeigt sich eine Verbesserung aufgrund des Verbundflügels und des Luftraumes von 9%. Durch die übliche Angabe der Kennwerte auf eine Dezimalstelle genau ergibt sich jedoch der gleiche Wert.

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasungskombination nach [10]:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g,IV}} - R_{si} + R_s - R_{se} \frac{1}{U_{g,ESG}}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$U_{g,IV}$  ... Wärmedurchgangskoeffizient der Dreischiebenisolierverglasungen

$U_{g,ESG}$  ... Wärmedurchgangskoeffizient des Einschiebensicherheitsglases  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$R_{si}$  ... innenseitiger Wärmeübergangswiderstand der äußeren Verglasung (ESG)  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$

$R_{se}$  ... außenseitiger Wärmeübergangswiderstand der inneren Verglasung (IV)  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$

$R_s$  ... Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasungen  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$

Der Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen der inneren und äußeren Verglasung  $R_s$  wird in [10] für die Dicke des Luftraumes von 50mm bei beidseitig unbeschichtetem Glas mit  $R_s = 0,179 m^2K/W$  angegeben. Der Hohlraum, im vorliegenden Fall, ist mit 51,8mm geringfügig größer, jedoch wird dies für diesen Zweck als ausreichend genau angesehen. Die Werte der Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Verglasungen sowie der Wärmeübergangswiderstände werden nachfolgend angegeben.

### 2.3.2.1 Dreischiebenisolierverglasung $U_{g,IV}$

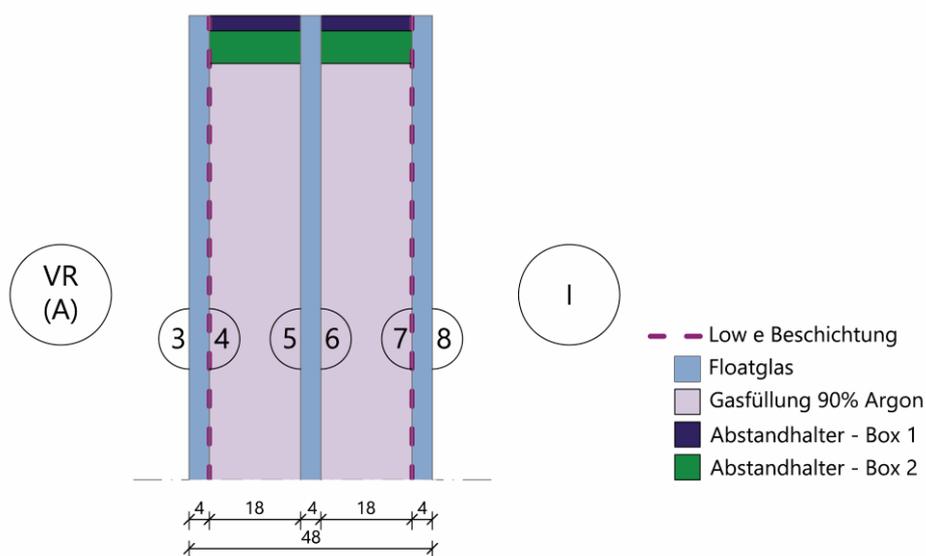


Abb. 5 Aufbau der 3-Scheiben-Isolierverglasung

Low-e Beschichtung	$\varepsilon = 0,037 [-]$
Gasfüllung 90% Argon	$\lambda_{eq} = 0,0211 [W/mK]$
Floatglas	$\lambda_{eq} = 1,0 [W/mK]$

Tab. 3  $U_g$ -Berechnung: Materialeigenschaften der Dreischiebenisolierverglasung

Die im Hauptflügel verbaute Dreischiebenisolierverglasung ist wie in Abb. 5 dargestellt mit den Kennwerten gemäß Tab. 3 aufgebaut. Die hier angeführte Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Isolierverglasung  $U_{g,IV}$  wird mithilfe der Software HTflux nach der ÖNORM EN 673 [11] ermittelt und ergibt sich zu  $U_{g,IV} = 0,529 W/m^2K \approx 0,5 W/m^2K$ .

Gemäß [11] wird für das Außenklima ein Wärmeübergangswiderstand von  $R_{se} = 0,04 m^2K/W$  ( $h_e = 25 W/m^2K$ ) und für das Innenklima  $R_{si} = 0,13 m^2/KW$  ( $h_i = 7,7 W/m^2K$ ) definiert. Für die Ermittlung der Kennwerte des Gaszwischenraumes wird eine mittlere Temperatur von  $T_m = 283 °K$  verwendet und als Temperaturdifferenz zwischen dem Innen- und Außenklima  $\Delta T = 15 °K$ .

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i} \quad \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

$h_e$  ... äußerer Wärmeübergangskoeffizient  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$h_t$  ... Wärmedurchlasskoeffizient der gesamten Verglasungseinheit  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$h_i$  ... innerer Wärmeübergangskoeffizient  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

Dabei errechnet sich der Wärmedurchlasskoeffizient  $h_t$  der Verglasungseinheit aus dem Wärmedurchlasskoeffizienten der einzelnen festen Schichten wie den Glasscheiben und ggf. vorhandene Zwischenlagen und dem Wärmedurchlasskoeffizienten des Gaszwischenraumes. Nach [11] errechnet sich dies wie folgt:

$$\frac{1}{h_t} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{s,i}} + \sum_{j=1}^m \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

$d_j$  ... Dicke der j-ten festen Schichten (Glas, Folie, etc.) [m]

$\lambda_j$  ... Wärmeleitfähigkeit der j-ten Zwischenlage  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$h_{s,i}$  ... Wärmedurchlasskoeffizient des Gaszwischenraumes,  $h_{s,i} = h_{r,i} + h_{g,i}$   $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$h_{r,i}$  ... Strahlungsleitwert des i-ten Gaszwischenraumes  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

$h_{g,i}$  ... U-Wert des i-ten Gases  $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

Der Strahlungsleitwert  $h_r$  umfasst den strahlungsbedingten Wärmeaustausch zwischen den beiden Glasoberflächen und berücksichtigt dabei das Emissionsverhalten der Glasoberflächen. Mittels des

U-Wertes des Gases  $h_g$  wird der Einfluss der Wärmeleitung des Gases unter Berücksichtigung von konvektiven Effekten erfasst. [11]

Der Wärmedurchlasskoeffizient des Gaszwischenraumes ergibt sich mit den auf Seite 13 beschriebenen Randbedingungen zu  $h_s = 1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dabei nimmt der Strahlungsleitwert  $h_r$  einen Anteil von 16 % ein und der Teil aus Konvektion und Leitung  $h_g$  einen Anteil von 84 % ein. Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit wird durch die Multiplikation mit der Schichtdicke zu  $\lambda_{eq} = 0,0211 \text{ W/mK}$  berechnet.

### 2.3.2.2 Einscheibensicherheitsverglasung $U_{g,ESG}$

Die im Verbundflügel eingebaute Einscheibensicherheitsverglasung weist eine Dicke von 10mm auf. Die Berechnung dieser Verglasung erfolgt nach dem gleichen Verfahren, wie unter 2.3.2.1 beschrieben. Bedingt durch die fehlende Mehrschichtigkeit reduziert sich die Formel auf den Teil der Wärmeleitung des Glases sowie den äußeren und inneren Wärmeübergangswiderstand und ergibt sich somit zu  $U_{g,ESG} = 5,556 \text{ W/m}^2\text{K} \approx 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

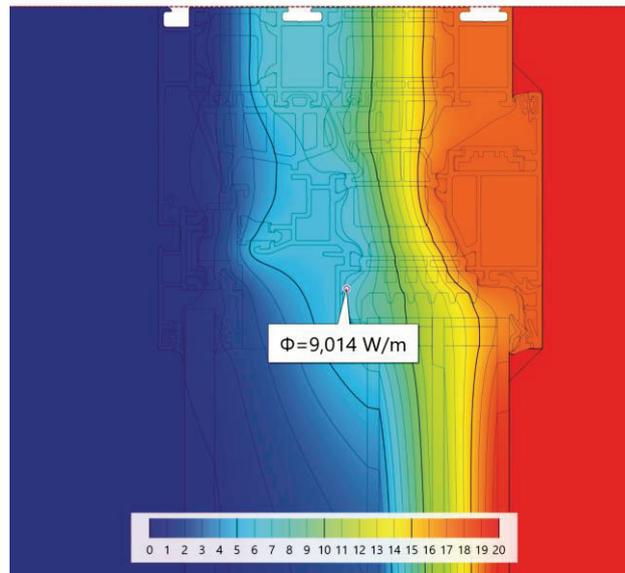
### 2.3.3 Randverbund – längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\psi$

Zur Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  wird die ÖNORM EN ISO 10077-2 [12] herangezogen. Bei dem sogenannte „Warme Kante“ Abstandhalter handelt es sich um einen thermisch verbesserten Abstandhalter. Die Modellierung erfolgt nach den zwei Boxen Modell (siehe Abb. 5), wobei die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten sowie die Höhe der Boxen den Herstellerangaben entsprechen und in Tab. 4 angeführt sind.

	$\lambda_{eq} [\text{W/mK}]$	$h [\text{mm}]$
Box 1	0,40	3
Box 2	0,29	6,5

Tab. 4 Abstandhalter – Kennwerte 2-Boxen-Modell

Die Berechnung ist vergleichbar mit jener des Rahmenprofiles, jedoch wird hier anstelle der Dämmfüllung die Verglasung mit dem entsprechenden Abstandhalter eingesetzt. Mit dem errechneten Wärmestrom  $\Phi [\text{W/m}]$  (Abb. 6), ergibt sich ein längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient von  $\psi = 0,0338 \text{ W/mK}$  nach dem unten angeführten Berechnungsansatz.

Abb. 6  $\Psi$ -Berechnung: Wärmestrom

Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  nach [12]:

$$\psi = L_{\psi}^{2D} - U_f \cdot b_f - U_g \cdot b_g \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$L_{\psi}^{2D}$  ... zweidimensionaler thermischer Leitwert der Profils mit Verglasung  $L_{\psi}^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$

$\Phi$  ... Wärmestrom des Profils mit Verglasung  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$

$\Delta T$  ... Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenklima [K]

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

$b_f$  ... projizierte Breite des Rahmenprofils [m]

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

$b_g$  ... projizierte Breite der Verglasung [m]

### 3 Luftdurchlässigkeit

Die Untersuchung der Luftdurchlässigkeit soll zeigen, welcher Luftaustausch zwischen dem Außen- und Innenklima herrscht. Im Weiteren sollen Schwachstellen hinsichtlich der Luftdurchlässigkeit untersucht werden, sowie eine Beurteilung der Vergleichbarkeit der beiden Prüffenster durchgeführt werden. Dabei erfolgt die Prüfung auf zwei Arten. Im ersten Teil erfolgt eine Prüfung nach der ÖNORM EN 1026 [8] für das gesamte Element, im zweiten Teil wird die Durchlässigkeit entlang von drei Ebenen am Fenster untersucht.

#### 3.1 Beschreibung der Untersuchung

##### 3.1.1 Luftdurchlässigkeitsprüfung nach ÖNORM EN 1026

Den ersten Teil bildet die Luftdurchlässigkeitsprüfung nach der ÖNORM EN 1026 [8]. Dabei wird eine Druckdifferenz zwischen der Außen- und Innenfläche aufgebaut, wobei der Druck außenseitig höher ist. Die Druckdifferenz wird schrittweise erhöht und bei jeder Messstufe, der sich ergebende Luftvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$ , erfasst. Die Prüfung nach [8] sieht als niedrigste Druckstufe 50 Pa vor. Da in der Praxis niedrigere Druckdifferenzen zwischen dem Außen- und Innenklima dominieren, starten die Messungen für die vorliegende Problemstellung mit einer Druckdifferenz von 5 Pa die schrittweise bis zu 900 Pa gesteigert.

Bezeichnung	Beschreibung
LDP-002-A	Fenster F002 im Originalzustand
LDP-003-A	Fenster F003 im Originalzustand
LDP-003-B	Fenster F003 mit um ca. 3 cm gelöster innenseitiger unterer Glasanlagedichtung
LDP-003-C	Fenster F003 im Originalzustand, 1. Justage
LDP-003-D	Fenster F003 im Originalzustand, 2. Justage
LDP-003-E	Fenster F003 mit um ca. 3 cm gelöster innenseitiger unterer Glasanlagedichtung
LDP-003-F	Fenster F003 mit der dünneren innenseitigen Glasanlagedichtung gemäß der Verarbeitungsrichtlinie des Profilverstellers

Tab. 5 Beschreibung der Messungen der Luftdurchlässigkeitsprüfung nach der ÖNORM EN 1026

Das Fenster F002 wird im Originalzustand wie in 2 beschrieben geprüft. Die Prüfung des Fenster F003 beginnt ebenfalls im Originalzustand, jedoch zeigen sich bei der ersten Messung an diesem Fenster deutlich höhere Werte der Luftdurchlässigkeit als beim Fenster F002. Demnach werden Einstellarbeiten durchgeführt und die Messung wiederholt. Im Weiteren werden Messungen mit gelöster innerer

Glasanlagedichtung um ca. 3 cm und eine weitere Messung mit der dünneren Dichtung nach den Verarbeitungsrichtlinien des Profilverstellers (siehe 2.1.1) durchgeführt. Die einzelnen Messungen sind in Tab. 5 zusammenfassend beschrieben.

### 3.1.2 Messung der Luftgeschwindigkeit

Im zweiten Teil erfolgt die Untersuchung der Durchlässigkeit im Bereich der Glasleiste (GL), des Flügelanschlags (FA) und der Glasanlagedichtung (GAD), siehe Abb. 7. Dabei wird umlaufend alle 5 cm die Luftgeschwindigkeit bei einer Druckdifferenz von ca. 900 Pa innenseitig an den entsprechenden Bereichen des Fensters gemessen. Diese Messstufe dient der Lokalisierung der Schwachstellen.

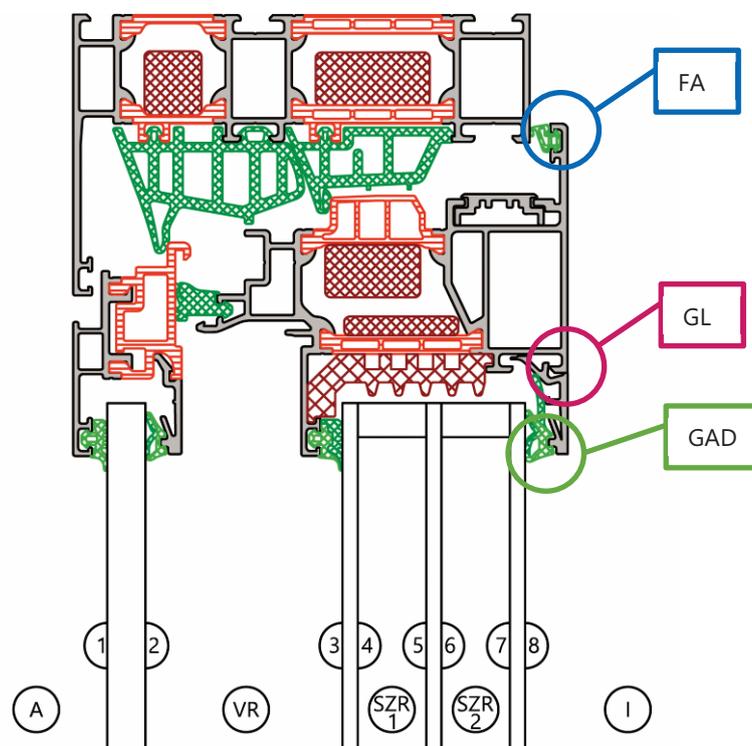


Abb. 7 Luftdurchlässigkeit – Messebenen der Luftgeschwindigkeit

Bei der ersten Messung beim Fenster F002 und F003 wird im Bereich der Glasanlagedichtung die Luftgeschwindigkeit stichprobenartig gemessen. Da in dem Bereich kein Durchgang festgestellt werden kann, wird dieser Bereich außer bei der Messung LDP-003-F als nicht relevant angesehen.

## 3.2 Auswertung der Ergebnisse

### 3.2.1 Luftdurchlässigkeitsprüfung nach der ÖNORM EN 1026 [8]

In Abb. 8 sind die Ergebnisse des Luftdurchlasses ausgewählter Messungen logarithmisch dargestellt. Abgebildet sind die A-Messungen beider Fenster, die D-Messung des Fensters F003 nach der Justage, die Messung E mit um 3 cm gelöster Glasanlagedichtung und F mit der dünneren Glasanlagedichtung.

Der Vergleich der A-Messungen der beiden Fenster zeigt deutlich, dass die beiden Fenster stark voneinander abweichen. Dabei ergibt sich bei der Messung A des Fensters F003 der höchste Luftdurchlass. Die Abweichung zwischen den beiden Fenstern wird durch die Justage des Fensters F003 deutlich verringert, jedoch ist trotz dessen ein deutlicher Unterschied erkennbar.

Die Messungen D und E zeigen ein ähnliches Verhalten der Luftdurchlässigkeit. Demnach verursacht die dünnere Dichtung eine vergleichbare Luftdurchlässigkeit wie eine Verkürzung der dickeren Dichtung um ca. 3 cm. Diese beiden Messungen zeigen einen deutlich höheren Luftdurchlass als die Messung im Originalzustand (D).

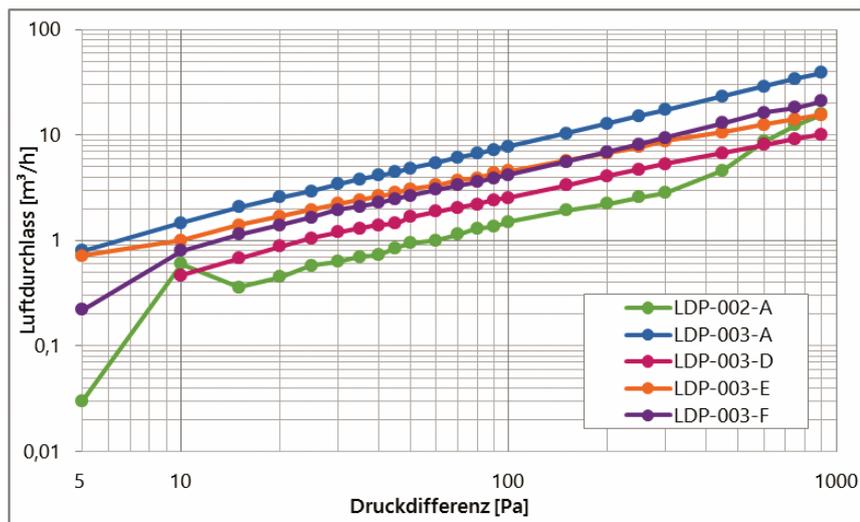


Abb. 8 Luftdurchlässigkeitsprüfung, Vergleich der Messungen

Die Prüfprotokolle der einzelnen Messungen sind dem Anhang A.1 zu entnehmen.

### 3.2.2 Luftdurchlässigkeit – Messung der Luftgeschwindigkeit

In Abb. 9 ist die Luftgeschwindigkeit umlaufend bei der A-Messung der Fenster F002 (links) und F003 (rechts) im Bereich der des Flügelanschlages und im Bereich der Glasleiste aus der Sicht von innen dargestellt. Es ist erkennbar, dass bei beiden Fenstern der höchste Luftdurchlass sowohl im Bereich der Glasleiste als auch im Bereich des Flügelanschlages in den Eckbereichen stattfindet. Beim Fenster F002 wird im Bereich der Glasleiste in der unteren rechten Ecke zwar der höchste Luftdurchlass von 23 m/s festgestellt, jedoch zeigt sich beim Fenster F003, dass in einem größeren Bereich ein Luftdurchlass gemessen werden kann. Im Bereich des Flügelanschlages zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Es ist erkennbar, dass das Fenster F002 lediglich im oberen linken Eck einen höheren Durchlass aufweist. Beim Fenster F003 zeigen sich im Vergleich vor allem im oberen und unteren Bereich höhere Luftgeschwindigkeiten, mit einer Konzentration in die Eckbereiche.

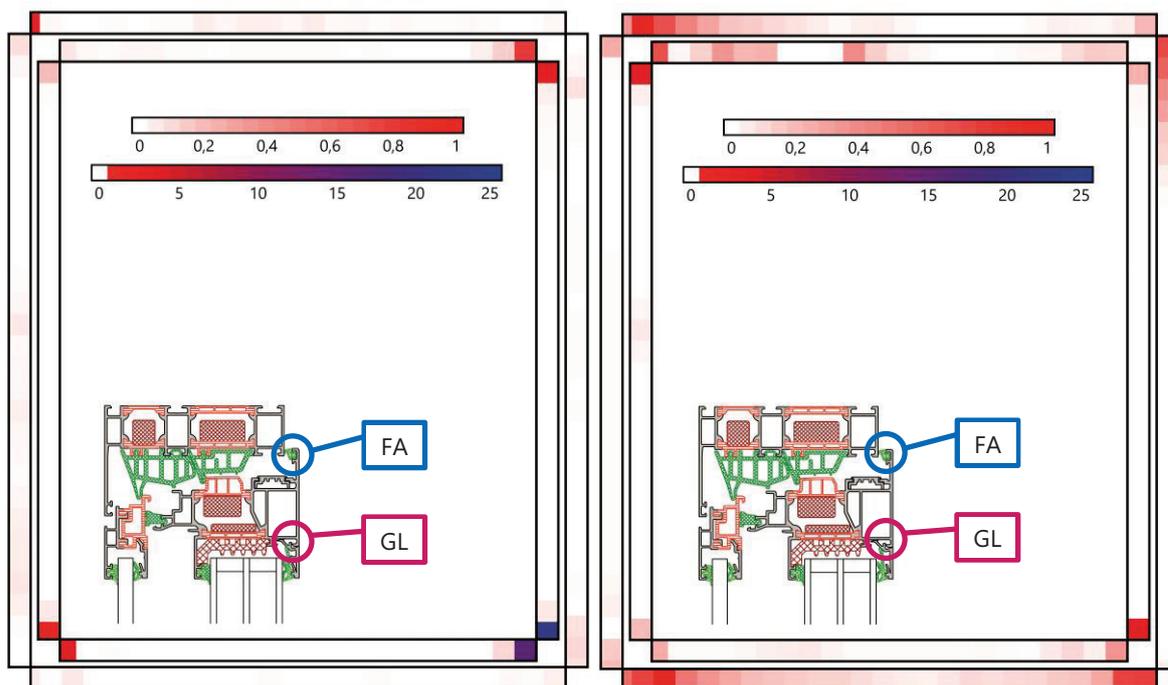


Abb. 9 Darstellung der Luftgeschwindigkeit, Ansicht von innen: LDP-002-A (links), LDP-003-A (rechts) und LDP-003-F (rechts); Außen Bereich Flügelanschlag, Innen Bereich Glasleiste

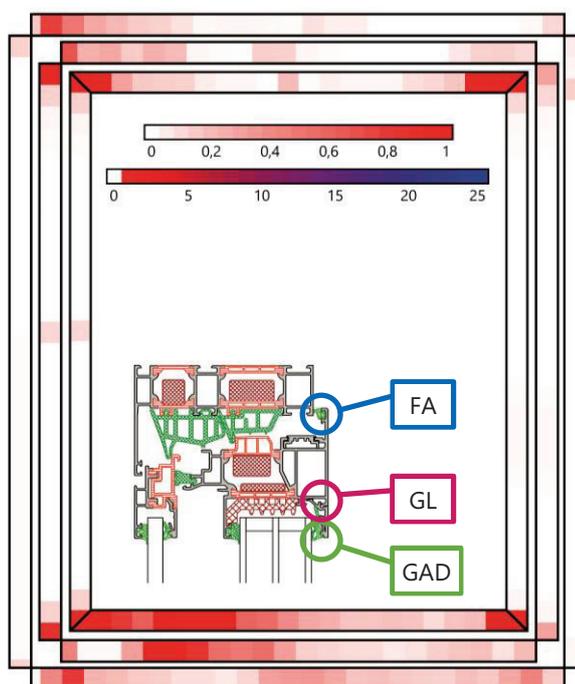


Abb. 10 Darstellung der Luftgeschwindigkeit, Ansicht von innen: Die LDP-003-F; Außen Bereich Flügelanschlag, Innen Bereich Glasleiste

Die Messung F am Fenster F003 mit der dünneren innenseitigen Glasanlagendichtung zeigt als einzige Messung einen Durchlass im Bereich dieser Dichtung (Abb. 10, rechts), dabei äußert sich der größte Durchlass im oberen und unteren Bereich. Im Bereich der Glasleiste kann im Vergleich zur Messung

LDP-F003-A festgestellt werden, dass sich der Luftdurchlass im unteren Bereich deutlich erhöht hat. Bei der Anschlagdichtung des Flügels hat sich hin gegen die Luftgeschwindigkeit im unteren Bereich etwas verringert. Auch hier ist erkennbar, dass die Eckbereiche die Schwachstelle mit der höchsten Luftgeschwindigkeit darstellen.

## 4 Hygrothermische Untersuchung in der Doppelklimakammer

Die hygrothermische Untersuchung der Verbundfensterkonstruktion in der Doppelklimakammer hat in erster Linie das Ziel, das Feuchte- und Temperaturverhalten im Bereich des Verbundraumes sowie die Kondensatbildung an der Verglasung an der Position 2 zu analysieren. Dabei werden mit der Variation der Parameter Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit im Außen- und Innenklimabereich und der Druckdifferenz drei Messserien durchgeführt. Während der vierten Messserie wird in den einzelnen Messungen der Einfluss einzelner Elemente des Fensters auf das Klima im Verbundraum untersucht. Die einzelnen Messserien sowie der Prüfaufbau sind nachfolgend detaillierter beschrieben.

### 4.1 Prüfstand

Die Untersuchung erfolgt in der Doppelklimakammer am Bautechnikzentrum der Technischen Universität Graz. Bei der Klimakammer handelt es sich um zwei Räume, dessen Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit unabhängig vom anderen Raum gesteuert werden können. Über den Gangbereich gelangt man in den Bereich des Innenklimas, von dort aus ist über eine Tür in der Trennwand der Außenklimaraum erreichbar. Zur Untersuchung des Verhaltens bei einem innenseitigen Überdruck wird, zwischen den beiden Elementen der Schiebetür des Zugangs zum Innenklimabereich, ein Ventilator in einer Holzkonstruktion (Abb. 11) ab der Messserie B eingesetzt. Um das direkte Anströmen der Prüffenster durch den Ventilator zu verhindern, wird ein Schirm für die Umlenkung der Luft vor dem Ventilator angebracht.



Abb. 11 Ventilator zur Erzeugung eines Überdruckes: Ansicht von Innen (links), Ansicht vom Gang (rechts)

In der Trennwand zwischen den beiden Räumen wird eine Maske aus extrudiertem Polystyrolhartschäum, mit den entsprechenden Öffnungen für die beiden Prüffenster, eingebaut. Die Fenster werden mit einer Parapethöhe von 80cm in die Maske eingesetzt. Die Fugen zwischen der Trennwand und der Maske sowie zwischen den Prüffestern und der Maske werden mit Mineralwolle ausgefüllt und mit Leinölkitt abgedichtet. Im eingebauten Zustand sind in Abb. 12 die Maske und die Prüffenster aus dem Bereich des Innenklimas zu sehen.



Abb. 12 Doppelklimakammer, Einbau der Maske und der Prüffenster, Ansicht von Innen

#### 4.1.1 Klima im Prüfstand im Vergleich zu der Natur

Das Außenklima ist ein komplexes Zusammenspiel vieler Faktoren. Die wichtigsten Faktoren für das wärme- und feuchtetechnische Verhalten eines Bauwerks sind in Abb. 13 nach [5] dargestellt. Ergänzend dazu sind der Luftdruck sowie die langwellige Abstrahlung der atmosphärischen Bestandteile anzumerken. Im Weiteren ist zu berücksichtigen, dass das Klima mit seinen einzelnen Komponenten kein statischer Zustand ist, sondern bekannter Weise Schwankungen im Laufe des Jahres und des Tages unterliegt. [5]

Auf die Ausprägung der einzelnen Komponenten hat die Lage des Objektes eine weitere bedeutende Rolle. Dabei wird das Klima in einem großräumigen Bereich als Makroklima bezeichnet. Bedingt durch die Einflüsse der Umgebung, ergeben sich in einem Gebiet mit gleichem Makroklima starke Schwankungen der einzelnen Klimafaktoren. In der Stadt beispielsweise ergeben sich höhere Bebauungsdichten und somit eine geringere Vegetation, sowie eine verstärkte Emission von Luftschadstoffen und eine höhere Abwärme bedingt durch den Verkehr, die Industrie, das Gewerbe und die Haushalte. Durch diese Faktoren beeinflusst, können im Stadtgebiet in der Regel unter anderem höhere Temperaturen als im ländlichen Gebiet festgestellt werden. Grenzt man das betrachtete Gebiet noch weiter ein, spricht man vom Mikroklima. Dort kommt es lokal durch die Lage, beispielsweise in der Nähe eines Gewässers oder eines Waldes, zu spezifischen Strahlungs-, Temperatur- und Feuchteverhältnissen. [7]

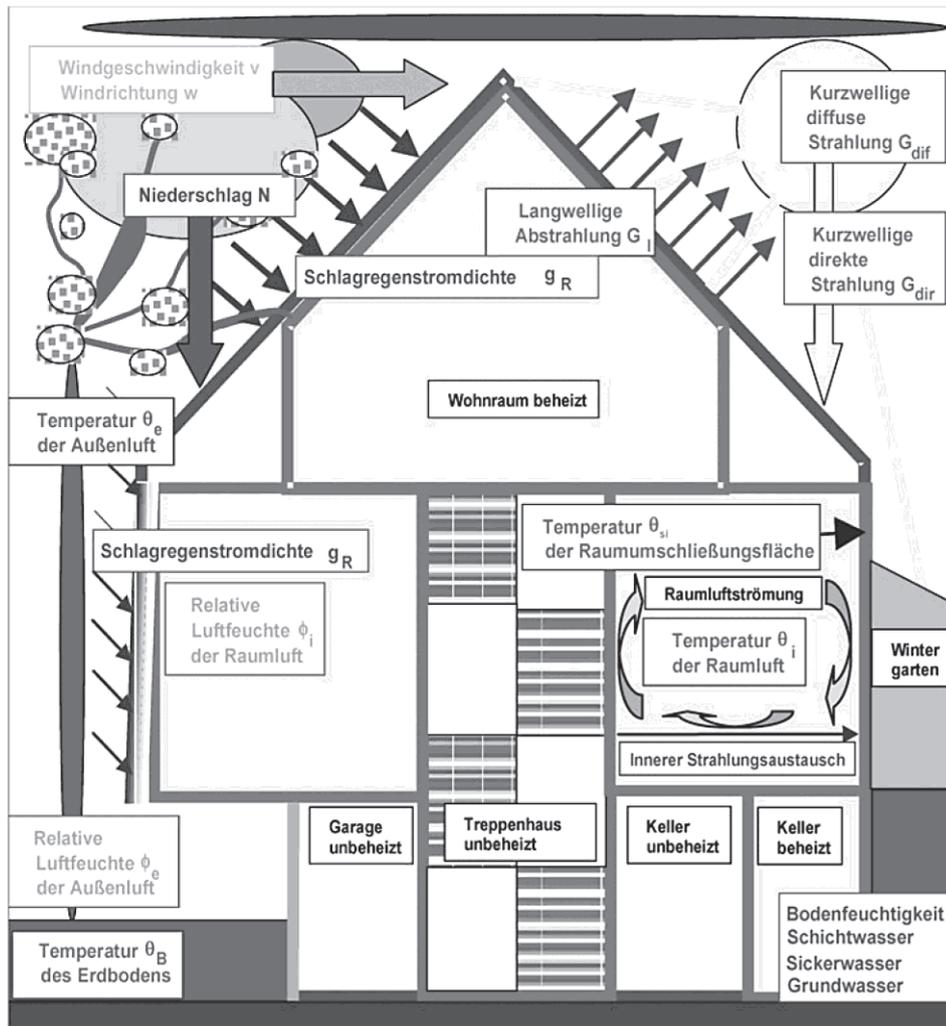


Abb. 13 Klimaeinflüsse auf ein Bauwerk [5]

Aus Sicht der einzelnen Fragestellungen ist es von größter Bedeutung, die Wichtigkeit der einzelnen Komponenten zu beurteilen und sie entsprechend sinnvoll zu quantifizieren.

Das Außenklima in der Klimakammer ist durch die Faktoren der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit entsprechend der technischen Möglichkeiten regulierbar. Stellt man dies den oben genannten Einflüssen auf ein Gebäude gegenüber, zeigt sich, dass viele dieser Faktoren in dem künstlich hergestellten Klima nicht berücksichtigt werden können bzw. nicht entsprechend modellierbar sind.

Bei dieser Untersuchung bleibt die kurzwellige Sonnenstrahlung zu Gänze unberücksichtigt. Ein Strahlungsaustausch zwischen dem Prüfenster und der umgebenden Flächen der Klimakammer findet zwar statt, jedoch ist dies nicht vergleichbar mit Zuständen, die in der Natur zu beobachten sind. Beispielsweise kann bei einem klaren Nachthimmel die langwellige Abstrahlung eines Bauteils größer sein als die atmosphärische Gegenstrahlung, wodurch sich das Bauteil stärker abkühlt [5].

Die Anlage der Klimakammer verursacht zwar eine Luftströmung an den Oberflächen des Fensters, die als Wind interpretiert werden kann, allerdings kann diese Luftströmung nur schwer beeinflusst werden. Aus den Erkenntnissen der Messungen ist jedoch zu schließen, dass die außenseitigen Verhältnisse der

Luftströmung eine bedeutende Rolle auf das Feuchteverhalten im Verbundraum haben. Im Zustand bei aktiver Klimaanlage zeigen sich außenseitig sehr niedrige Wärmeübergangswiderstände (siehe 5.2), was auf die erhöhte Konvektion in der Klimakammer zurückzuführen ist. Dieser Zustand kann mit starken Windaktivitäten verglichen werden. Da eine Steuerung des in der Klimaanlage verbauten Ventilators nicht möglich ist, kann folglich auch keine gezielte Untersuchung dieses Einflusses erfolgen. Um ein Verhalten, wie es bei Windstille entsteht zu simulieren, wird in der Messserie C und D nach dem Erreichen der gewünschten Randbedingungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte, außenseitig die Klimaanlage ausgeschaltet. Dessen Folge ist neben der Reduktion der Konvektion, ein Anstieg der Lufttemperatur und Luftfeuchte im Außenklimabereich. Der Anstieg der Luftfeuchte wird dadurch verursacht, dass die Prüfung mit einem innenseitigen Überdruck durchgeführt wird, wodurch es außenseitig zu einer Feuchtezufuhr kommt und diese zusätzliche Feuchtigkeit durch die Deaktivierung der Außenklimaanlage nicht abgeführt werden kann.

Neben den beschriebenen Auswirkungen auf die Außenklimaseite zeigt sich dieser Effekt des geringen Wärmeübergangswiderstandes, welcher mit der Aktivität des Ventilators der Klimaanlage begründet werden kann, auch auf der Innenseite. Dabei werden Werte des innenseitigen Wärmeübergangswiderstandes erreicht, die bei normalen Innenklimabedingungen zu niedrig sind. Um diesem Kriterium weitestgehend gerecht zu werden, wird vor der Klimaanlage des Innenklimas, folgend auf die unter 5.2 beschriebenen Erkenntnisse nach der Messserie A, ein Schutzschirm (Abb. 14) aufgebaut. Dadurch wird die Luft beim Ventilator umgeleitet und eine direkte Luftströmung entlang der Fenster vermieden.



Abb. 14 Abschirmung des Ventilators innenseitig

Da das Klima lediglich über die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit bestimmt wird, können Einflüsse der Sonnenstrahlung und des Strahlungsaustausches mit der Umgebung, wie es in der Natur vorkommt, nicht berücksichtigt werden. Konvektive Einflüsse werden in der Klimakammer außenseitig

sowie innenseitig, neben der durch Temperaturdifferenzen entstehenden Konvektion, in erster Linie durch die von der Klimaanlage verursachte Luftströmung bestimmt.

Dem zur Folge zeigt sich, dass in einem Prüfstand die Natur nicht exakt nachgebildet werden kann. Dabei sind die Messergebnisse stark von der Prüfkonfiguration, dem Prüfstand und den daraus folgenden Nebenwirkungen abhängig. Unter Berücksichtigung dessen können die Messergebnisse zwar entsprechende Einflüsse darstellen, jedoch sind bei der Interpretation der Ergebnisse die Randbedingungen zu berücksichtigen.

## 4.2 Messdaten und Sensorik

Die Erfassung der Klimabedingungen im Innen-, Außen-, und Verbundraum, sowie die Oberflächen-temperaturen in Glasmitte und die Druckdifferenzen zwischen dem Innenbereich und Außenbereich sowie dem Innenbereich und der Verbundräume erfolgt unter dem Einsatz der Sensoren des ALEMEO Systems der Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH. Die Sensoren sind mit den Messgeräten ALMEMO 2890-9, ALMEMO 2390-5 und ALMEMO 710 verknüpft. Über das Messgerät werden die Daten im Minutentakt ausgelesen und geben diese über die Software WinControl 6 in späteren Verlauf der Messung WinControl 7 an den Computer weiter. Einen Überblick über die Messdaten sowie der verwendeten Sensoren ist in Tab. 6 gegeben. Es ist anzumerken, dass die Messgeräte und Sensoren nicht bei allen Messungen verfügbar sind, daher sind nicht alle Daten bei jeder Messung vorhanden. In der Tab. 8 sind die entsprechenden Ausnahmen der erfassten Daten angeführt.

Ergänzend zu den Messwerten im Tab. 6, werden der Sättigungsdampfdruck, die Taupunkttemperatur und die absolute Luftfeuchtigkeit im Außen- und Innenbereich sowie in den Verbundräumen und im Bereich der Mitteldichtung berechnet. Die Ausgabe dieser Werte ist über den vorprogrammierten Rechenkanal des entsprechenden Sensors möglich, jedoch wird dort kein Unterschied zwischen den vorliegenden Lufttemperaturen entsprechend der ÖNORM EN ISO 13788 [13] gemacht. Ein Überblick über diese Daten wird in Tab. 7 gegeben. Nachfolgend ist der Berechnungsansatz nach [13] angeführt:

In Abhängigkeit der Lufttemperatur errechnet sich der Sättigungsdampfdruck der Luft zu [13]:

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \text{ [Pa]} \quad \text{für } \theta \geq 0^\circ\text{C}$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,845 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \text{ [Pa]} \quad \text{für } \theta < 0^\circ\text{C}$$

$p_{\text{sat}}$  ... Sättigungsdampfdruck [Pa]

$\theta$  ... Lufttemperatur [°C]

Die relative Luftfeuchtigkeit ist als das Verhältnis zwischen dem Partialdampfdruck und dem Sättigungsdampfdruck definiert [6], daraus ergibt sich der Partialdampfdruck zu:

$$p_d = \varphi \cdot p_{\text{sat}} \quad [\text{Pa}]$$

$p_{\text{sat}}$  ... Sättigungsdampfdruck [Pa]

$\varphi$  ... relative Luftfeuchtigkeit [%]

Formuliert man die Gleichungen zur Berechnung des Sättigungsdampfdruckes zur Temperatur hin um, kann durch den Einsatz des Partialdampfdruckes die Taupunkttemperatur ermittelt werden:

$$\theta = \frac{237,3 \cdot \log_e \left( \frac{p_d}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left( \frac{p_d}{610,5} \right)} \quad [^\circ\text{C}] \quad \text{für } \theta \text{ } p_d \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$\theta = \frac{265,5 \cdot \log_e \left( \frac{p_d}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left( \frac{p_d}{610,5} \right)} \quad [^\circ\text{C}] \quad \text{für } \theta \text{ } p_d < 610,5 \text{ Pa}$$

Entsprechend des in [6] dargelegten Zusammenhangs zwischen dem Partialdampfdruck und der absoluten Feuchte ergibt sich:

$$m_{d,v} = \frac{m_d}{V} = \frac{p_d}{R_d \cdot T} = \frac{p_d}{0,461 \cdot T} \quad \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right]$$

$m_{d,v}$  ... absolute Luftfeuchtigkeit [g/m<sup>3</sup>]

$m_d$  ... Masse des Wasserdampfes [g]

$V$  ... Luftvolumen [m<sup>3</sup>]

$p_d$  ... Partialdampfdruck [Pa]

$R_d$  ... Gaskonstante des Wasserdampfes [J/gK]

$T$  ... absolute Lufttemperatur [K]

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Sensor
Ki-Temp	°C	Innenklima – Lufttemperatur	FHAD 36 RS
Ki-Feuchte-rel	%H	Innenklima – relative Luftfeuchtigkeit	FHAD 36 RS
Ki-Druck	hPa	Innenklima – Luftdruck	FHAD 36 RS
Ka-Temp	°C	Außenklima – Lufttemperatur	FHAD 36 RS
Ka-Feuchte-rel	%H	Außenklima – relative Luftfeuchtigkeit	FHAD 36 RS
Ka-Druck	hPa	Außenklima – Luftdruck	FHAD 36 RS
K002-Temp	°C	Verbundraumklima F002 – Lufttemperatur	FHAD 36 RS
K002-Feuchte-rel	%H	Verbundraumklima F002 – rel. Luftfeuchtigkeit	FHAD 36 RS
K002-Druck	hPa	Verbundraumklima F002 – Luftdruck	FHAD 36 RS
K003-Temp	°C	Verbundraumklima F003 – Lufttemperatur	FHAD 36 RS
K003-Feuchte-rel	%H	Verbundraumklima F003 – rel. Luftfeuchtigkeit	FHAD 36 RS
K003-Druck	hPa	Verbundraumklima F003 – Luftdruck	FHAD 36 RS
T002-1	°C	Oberflächentemperatur – F002 Glasposition 1	FN 0001
T002-2	°C	Oberflächentemperatur – F002 Glasposition 2	FN 0001
T002-3	°C	Oberflächentemperatur – F002 Glasposition 2	FN 0001
T002-8	°C	Oberflächentemperatur – F002 Glasposition 3	FN 0001
T003-1	°C	Oberflächentemperatur – F003 Glasposition 1	FN 0001
T003-2	°C	Oberflächentemperatur – F003 Glasposition 2	FN 0001
T003-3	°C	Oberflächentemperatur – F003 Glasposition 3	FN 0001
T003-8	°C	Oberflächentemperatur – F003 Glasposition 8	FN 0001
P-i-a	Pa	Druckdifferenz zwischen Innenraum und Außenraum	FDA 602S1K
LS-i-a	m/s	Luftströmung zwischen Innenraum und Außenraum	FDA 602S1K
P-i-002	Pa	Druckdifferenz zwischen Innenraum und Verbundraum des Fensters F002	FDA 602S1K
LS-i-002	m/s	Luftströmung zwischen Innenraum und Verbundraum des Fensters F002	FDA 602S1K
P-i-003	Pa	Druckdifferenz zwischen Innenraum und Verbundraum des Fensters F003	FDA 602S1K
LS-i-003	m/s	Luftströmung zwischen Innenraum und Verbundraum des Fensters F003	FDA 602S1K
Kmd-Temp	°C	Klima im Bereich der Mitteldichtung - Lufttemperatur	FH 0D46
Kmd-Feuchte-rel	%H	Klima im Bereich der Mitteldichtung – rel. Luftfeuchtigkeit	FH 0D46

Tab. 6 Beschreibung der Messdaten und der Sensorik

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Ki-Pd	Pa	Innenklima – Partialdruck des Wasserdampfes
Ki-Taupkt	°C	Innenklima – Taupunkttemperatur
Ki-Feuchte-abs	g/m <sup>3</sup>	Innenklima – absolute Luftfeuchte
Ka-Pd	Pa	Außenklima – Partialdruck des Wasserdampfes
Ka-Taupkt	°C	Außenklima – Taupunkttemperatur
Ka-Feuchte-abs	g/m <sup>3</sup>	Außenklima – absolute Luftfeuchte
K002-Pd	Pa	Verbundraumklima F002 – Partialdruck des Wasserdampfes
K002-Taupkt	°C	Verbundraumklima F002 – Taupunkttemperatur
K002-Feuchte-abs	g/m <sup>3</sup>	Verbundraumklima F002 – absolute Luftfeuchte
K003-Pd	Pa	Verbundraumklima F003 – Partialdruck des Wasserdampfes
K003-Taupkt	°C	Verbundraumklima F003 – Taupunkttemperatur
K003-Feuchte-abs	g/m <sup>3</sup>	Verbundraumklima F003 – absolute Luftfeuchte

Tab. 7 Hergeleitete Größen aus den Messdaten

Bezeichnung	Anmerkung zur Erfassung der Daten bei den einzelnen Messungen
Ki-Temp	Messserie A: Erfassung der Daten erfolgt über den Datenlogger „Tinytag Plus 2 – TGP-4500“
Ki-Feuchte-rel	Messserie A: Erfassung der Daten erfolgt über den Datenlogger „Tinytag Plus 2 – TGP-4500“
Ki-Druck	Messserie A: Daten nicht erfasst
P-i-a	Messdaten nur bei den Messungen D-06 und D-07 kontinuierlich erfasst
LS-i-a	Messdaten nur bei den Messungen D-06 und D-07 kontinuierlich erfasst
P-i-002/ LS-i-002	M-C-02: Fühlerbruch ab ca. 2.Tag der Messung
Kmd-Temp/ Kmd-Feuchte-rel	Messserie A: Daten nicht vorhanden M-C-02: Fühlerbruch, Daten ab ca. 2.Tag der Messung nicht vorhanden M-D-06: Fühlerbruch, Daten nicht vorhanden

Tab. 8 Anmerkung zur Erfassung der Daten bei den einzelnen Messungen

## 4.3 Beschreibung der Messserien und Erkenntnisse aus der Begutachtung

### 4.3.1 Messserie A

#### 4.3.1.1 Beschreibung der Messungen

Diese Messserie soll zeigen, welches Klima sich bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen im Verbundraum einstellt. Im Weiteren dienen die Ergebnisse zur Beurteilung des wärmetechnischen Verhaltens des Fensters insbesondere zur Berechnung der äußeren und inneren Wärmeübergangswiderstände sowie der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes, vgl. 5

Die Messserie A wird bei konstanten Klimawerten des Außen- und Innenklimas durchgeführt. Dabei beträgt die Lufttemperatur auf der Innenklimateite ca. 20 °C und die rel. Luftfeuchtigkeit ca. 50 %. Nach einer Konditionierungsphase mit gleichen Klimawerten außenseitig und innenseitig wird beim ersten Messschritt die Außenlufttemperatur auf 10 °C abgesenkt. In sieben weiteren Schritten erfolgt nach und nach eine Absenkung der Außenlufttemperatur auf -30 °C. Der Sollwert der relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich des Außenklimas liegt bei 50 %, jedoch kann dieser Wert bei den tieferen Temperaturen bedingt durch die Funktionsweise der Klimakammer nicht erreicht werden und liegt bei ca. 65 %. Die jeweiligen Messschritte werden bis zum Erreichen von konstanten Werten der Luft- und Oberflächen-temperaturen sowie der Luftfeuchtigkeit im Bereich des Außen- und Innenklimas und im Verbundraum durchgeführt. Während der einzelnen Messschritte wird stichprobenartig die Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenklima erfasst. Dabei stellt sich ein Unterdruck von 1 Pa bis 3 Pa ein. In Tab. 9 sind die Eckdaten der einzelnen Messschritte angeführt. Dabei handelt es sich um die Mittelwerte, die am Ende des jeweiligen Messschrittes erreicht werden.

	Ki-Temp [°C]	Ki-Feuchte-rel [%]	Ka-Temp [°C]	Ka-Feuchte-rel [%]
M-A-01	19,7	44,1	9,2	48,6
M-A-02	19,8	43,1	-0,2	59,5
M-A-03	19,7	43,4	-5,2	48,9
M-A-04	19,5	43,7	-10,2	56,5
M-A-05	19,3	44,3	-15,2	61,8
M-A-06	18,9	45,7	-20,6	64,4
M-A-07	18,8	46,0	-24,7	64,5
M-A-08	18,6	46,1	-29,2	65,3

Tab. 9 Eckdaten der Messserie A

#### 4.3.1.2 Beobachtungen während der Messungen

Im Laufe dieser Messserie konnten keine Kondensatspuren an der Verglasung festgestellt werden. Jedoch wurde nach der Messung A-04 Kondensat im Bereich der Mitteldichtung festgestellt. Bei den anderen Messungen wird dies nicht überprüft.

Bedingt durch die Beobachtung einer Durchbiegung der Fenster bei der Messung A-06 mit einer Außentemperatur von etwa  $-20^{\circ}\text{C}$  wird die Durchbiegung des Flügels und des Stockes bei beiden Fenstern überprüft. Mittels einer Latte, welche auf Distanzklötzen angebracht ist, wird der Abstand von der Oberkante der Latte bis zum Flügel bzw. Stock an definierten Punkten innenseitig gemessen. Dabei zeigt sich, dass beide Elemente des Fensters sich konvex nach innen biegen und sich eine maximale Differenz zwischen der Durchbiegung am Flügel und am Stock von einem Millimeter einstellt. Im Mittel liegt diese Differenz bei ca. 0,5mm. In Betracht der sehr tiefen Außenlufttemperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$ , wird diese Differenz als nicht ungewöhnlich hoch angesehen.

#### 4.3.2 Messserie B

##### 4.3.2.1 Beschreibung der Messungen

Diese Messserie soll zeigen, wie sich die Feuchte im Verbundraum durch einen Überdruck verhält. Dabei wird bei konstantem Innen- und Außenklima ein innenseitiger Überdruck mithilfe eines Ventilators erzeugt.

Bedingt durch die Erkenntnisse über die verhältnismäßig niedrigen Wärmeübergangswiderstände im Bereich des Innenklimas, welche unter 5.2 näher erläutert werden, wird vor Beginn dieser Messung ein Schutzschirm vor der Lüftungsanlage des Innenklimas aufgebaut. Dieser soll die durch den Ventilator der Klimaanlage erzeugte hohe Luftströmung entlang der Fenstern vermindern und somit realitätsnähere Verhältnisse hinsichtlich des innenseitigen Wärmeübergangswiderstandes schaffen. Ebenso wird vor dem eingebauten Ventilator zur Erzeugung der Druckdifferenz eine Abschirmung angebracht.

Die ersten drei Messungen der Serie werden mit annähernd gleichem Klima auf der Innen- und Außen-seite geführt, dabei variiert je Messung die Druckdifferenz. Die letzte Messung dieser Messserie erfolgt mit einer niedrigeren Außenlufttemperatur.

Vor jeder Messung wird eine Konditionierungsphase durchgeführt. Diese läuft bis zum Erreichen konstant bleibender Werte der Luftfeuchtigkeit im Bereich des Außen- und Innenklimas und im Verbundraum und bei der letzten Messung auch bis zum Erreichen konstant bleibender Werte der Oberflächen- und Lufttemperaturen. Der Start der Messung wird durch das Einschalten des Ventilators gekennzeichnet. In nachfolgender Tabelle sind die Kenndaten der einzelnen Messungen zu Beginn und Ende des jeweiligen Messschrittes angegeben. Da die Aufzeichnung der Druckdifferenz zwischen dem Innen- und Außenklima nicht durchgehend erfolgt, wird hier die Druckdifferenz zwischen dem Innenklima und dem Verbundraum des jeweiligen Fensters angegeben. Wie unter 4.4.4.7 erläutert, ist die

Druckdifferenz zwischen Innenklima und Außenklima annähernd gleich jener zwischen dem Innenklima und Verbundraum.

		Ki-Temp [°C]	Ki-Feuchte-rel [%]	Ka-Temp [°C]	Ka-Feuchte-rel [%]	P-i-002 [Pa]	P-i-003 [Pa]	Dauer der Messung
M-B-01	Start	21,5	72,9	20,3	39,5	11,8	10,5	04:23 h
	Ende	21,3	76,6	20,7	52,4	10,7	10,9	
	Anmerkung:	Mit der Aktivierung des Ventilators erfolgt ein starker Anstieg der Luftfeuchte im Bereich des Außenklimas. Die Anlage der Klimakammer kann die eingeführte Luftfeuchte nicht abführen. Somit kann die Luftfeuchte auf der Außenseite nicht konstant gehalten werden.						
M-B-02	Start	21,6	80,5	20,4	39,1	11,8	11,3	15:15 h
	Ende	21,3	77,0	20,5	40,3	11,3	11,4	
	Anmerkung:	Zum Beibehalten einer annähernd konstanten Luftfeuchte im Bereich des Außenklimas (siehe M-B-01) wird beim Start der Messung ein Entfeuchter aufgestellt.						
M-B-03	Start	21,7	77,3	20,6	39,2	5,0	4,7	2 Tage 00:14 h
	Ende	21,1	79,4	20,3	47,2	5,4	5,1	
	Anmerkung:	Zum beibehalten einer annähernd konstanten Luftfeuchte im Bereich des Außenklimas (siehe M-B-01) wird beim Start der Messung ein Entfeuchter aufgestellt						
M-B-04	Start	20,4	75,6	-0,8	64,6	11,3	10,0	21:12 h
	Ende	20,7	77,3	-0,3	79,0	10,6	10,5	
	Anmerkung:	Zum beibehalten einer annähernd konstanten Luftfeuchte im Bereich des Außenklimas (siehe M-B-01) wird beim Start der Messung ein Entfeuchter aufgestellt						

Tab. 10 Eckdaten der Messserie B

#### 4.3.2.2 Beobachtungen während der Messungen

Während der Messung B-04 konnte an der Verglasung (Glasposition 1, 2 und 3) kein Kondensat festgestellt werden. Kurz vor dem Start der Messung wird Kondensat an der Verglasung an der Glasposition 8 festgestellt. Diese Kondensatbildung ist vergleichbar mit der in Abb. 18 dargestellten Situation der Messung C-01, jedoch wird bei der Messung B-04 eine geringere Konzentration festgestellt.

Nach Beendigung dieser Messung ist Kondensat im Bereich der Mitteldichtung sowie auf gleicher Höhe am Hauptflügel feststellbar. Das Kondensat ist bei beiden Fenstern umlaufend erkennbar mit einer höheren Konzentration in den Eckbereichen (siehe Abb. 15 und Abb. 17). Unterhalb der drei Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels sind kleine Kondenswassertropfen erkennbar (siehe Abb. 16 rechts). Im Bereich des Verbundflügels können Spuren von Kondensat außerhalb der Dichtebene bei beiden Fenstern festgestellt werden (Abb. 16 links und Mitte).

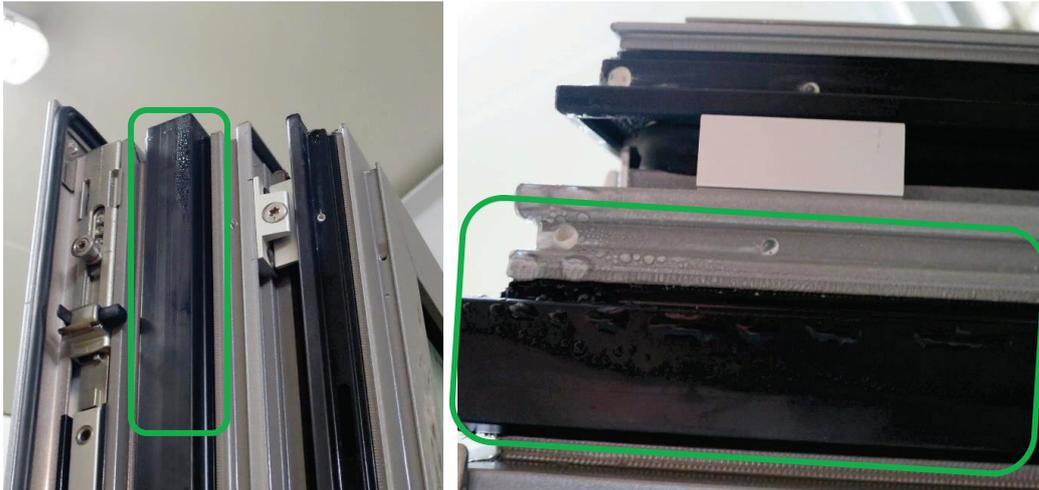


Abb. 15 B-04 - Kondensatbildung am Hauptflügel (F003): Schließseitig oben (links), untere Kante schließseitig (rechts)



Abb. 16 B-04 - Kondensat am Verbundflügel außerhalb der Dichtebene: unterer Eckbereich schließseitig bei F002 (links) und unterer Eckbereich bandseitig beim F003 (Mitte); Kondensat bei unterer Dampfdruckausgleichsöffnung des Hauptflügels des Fensters F003 (rechts)



Abb. 17 B-04 - Kondensat im Bereich der Mitteldichtung: unterer Eckbereich schließseitig (F003) (links) und oberer Bereich schließseitig (F002) (rechts)

### 4.3.3 Messserie C

#### 4.3.3.1 Beschreibung der Messungen

Entsprechend der Erkenntnisse unter 5.2, zum sehr niedrigen äußeren Wärmeübergangswiderstand, bedingt durch die Aktivität des Ventilators der Klimaanlage, soll in dieser Messserie die Untersuchung des Verhaltens bei einer geringeren Konvektion außenseitig verbunden mit einem innenseitigen Überdruck untersucht werden.

Diese Reduktion der Luftströmung an der äußeren Seite wird durch das Ausschalten der außenseitigen Klimaanlage erzeugt. Da es die technischen Möglichkeiten nicht erlauben, ist somit das konstant halten des Außenklimas nicht möglich. Zur Folge dessen sowie des innenseitigen Überdruckes steigen außenseitig die Lufttemperatur und die Luftfeuchte an.

Vor Beginn jeder Messung wird die Außenlufttemperatur auf ca.  $-10^{\circ}\text{C}$  abgesenkt und die relative Luftfeuchtigkeit auf etwas unterhalb von 70% eingestellt. Innenseitig werden eine Lufttemperatur von ca.  $21^{\circ}\text{C}$  und eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 80% angesetzt. Bedingt durch eine Störung der Klimaanlage des Innenklimas sind geringere Werte der relativen Luftfeuchtigkeit nicht zu erreichen. Demnach erfolgt hier die Untersuchung mit extremen Bedingungen. Das konstante Klima wird bis zum Erreichen konstant bleibender Werte der Luft- und Oberflächentemperaturen sowie der Luftfeuchtigkeit im Bereich des Außen- und Innenklimas und im Verbundraum gehalten. Darauf folgend wird die Klimaanlage des Außenklimas ausgeschaltet und der Ventilator eingeschaltet. Die einzelnen Messschritte weisen annähernd gleiche Werte der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit entsprechend der Tab. 11 auf, wobei die Druckdifferenzen zwischen dem Innenklima und dem Verbundraum und somit auch zwischen dem Innen- und Außenklima variieren.

		Ki-Temp [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Ki-Feuchte-rel [%]	Ka-Temp [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Ka-Feuchte-rel [%]	P-i-002 [Pa]	P-i-003 [Pa]	Dauer der Messung
M-C-01	Start	21,1	80,7	-10,5	68,6	8,5	8,3	10:45 h
	Ende	21,5	75,1	7,7	100,0	16,1	15,4	
M-C-02	Start	22,2	77,3	-10,1	64,1	4,2	4,6	1 Tage 20:23 h
	Ende	21,1	78,4	15,0	100,0	---	6,0	
M-C-03	Start	21,1	82,7	-10,2	67,1	9,7	9,4	1 Tage 08:33 h
	Ende	20,9	79,3	12,4	100,0	11,3	11,2	
M-C-04	Start	21,7	81,4	-10,1	67,1	1,7	2,5	1 Tage 14:59 h
	Ende	21,4	83,5	12,2	100,0	1,9	1,4	

Tab. 11 Eckdaten der Messserie C

#### 4.3.3.2 Beobachtungen während der Messungen

Bei allen Messungen ist kurz vor dem Start Kondensat innenseitig an der Verglasung im unteren Bereich an der Position 8 feststellbar (Abb. 18). Es zeigt sich bei beiden Fenstern ein vergleichbares Verhalten. Dadurch begründet wird innenseitig an der Verglasung die Oberflächentemperatur an unterschiedlichen Messpunkten erfasst, in dieser Arbeit wird darauf jedoch nicht näher eingegangen.

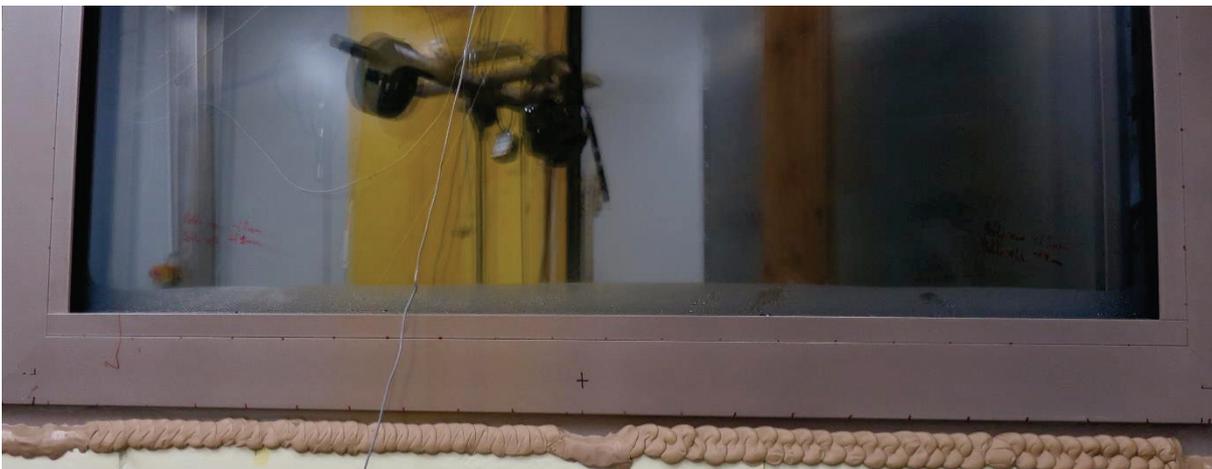


Abb. 18 C-01 (F002): Kondensatbildung an der Verglasunginnenseite (Position 8) im unteren Bereich

Im Bereich der Verglasung können hier Kondensatspuren an der Position 2 festgestellt werden, die bei allen vier Messungen erkennbar sind. Bei den Messungen C-01, C-02 und C-03 ist die Ausbildung des Kondensats mit jener während des zweiten Messzyklus der Messung D-02 vergleichbar. Hinsichtlich der fotografischen Darstellung wird auf diese Messung verwiesen. Im Unterschied zu den ersten drei Messungen dieser Messserie ist bei der letzten Messung C-04 ein deutlich geringeres Beschlagen der Glasscheibe erkennbar. Dabei ist die Ausprägung des Kondensats so gering, dass eine fotografische Erfassung nicht möglich ist.

Vergleichbar mit der während der Messung B-04 feststellbaren Kondensatbildung im Bereich der Mitteldichtung, am Hauptflügel und am Verbundflügel, ist hier qualitativ die gleiche Kondensatbildung in diesen Bereichen am Ende der Messung erkennbar.

Ergänzend dazu kann im Bereich des Verbundflügels gegenüberliegend den Dampfdruckausgleichöffnungen des Hauptflügels Kondensat festgestellt werden (Abb. 19). Im Verbundraum im Eckbereich unterhalb der Dampfdruckausgleichöffnungen des Hauptflügels ist eine deutlich erkennbare Kondenswasserlache zu sehen, siehe Abb. 20. Die genannten Kondensatspuren sind bei beiden Fenstern und bei allen Messungen dieser Messserie feststellbar, bei der Messung C-04 ist jedoch eine etwas geringere Konzentration des Kondensats erkennbar.



Abb. 19 C-03 F003 (links); C-02 F002 (rechts): Kondensat am Verbundflügen gegenüber der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels

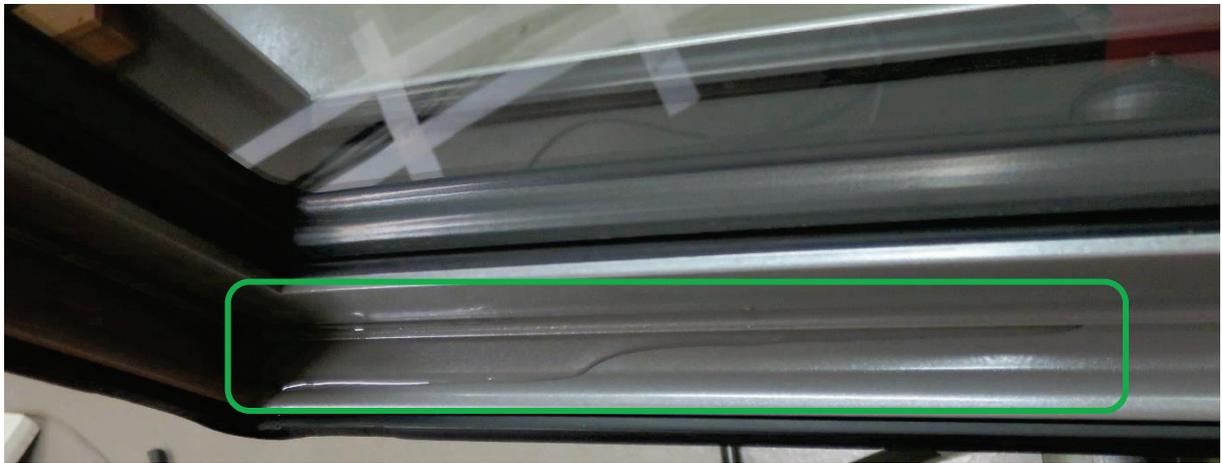


Abb. 20 C-03 (F003): Kondenswasser im Bereich unterhalb der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels

#### 4.3.4 Messserie D – Maßnahmen zur Lokalisierung des Optimierungspotenzials

Im Zuge der einzelnen Messungen der Messserie D werden unterschiedliche Bereiche des Fensters abgeklebt bzw. abgedichtet (siehe Tab. 12). Dadurch soll untersucht werden, welchen Einfluss die einzelnen Elemente auf das Feuchteverhalten im Verbundraum haben und somit der primäre Faktor des Feuchteanstiegs lokalisiert werden. Der Messablauf entspricht einer Kombination aus der Messserie B und C. Dabei wird vorerst die Konditionierungsphase mit den entsprechenden Klimaparametern durchgeführt. Nach Erreichen konstanter Werte der Luft- und Oberflächentemperaturen sowie der Luftfeuchte im Bereich des Innenklimas, Außenklimas und der Verbundräume wird der erste Messzyklus gestartet. Dabei wird der Ventilator aktiviert und eine Druckdifferenz von ca. 10 Pa zwischen Innen- und Außenklima eingestellt. Bei konstanten Klimabedingungen läuft dieser Messzyklus etwa 12 Stunden. Darauf folgend wird, im zweiten Messzyklus, die Anlage des Außenklimas deaktiviert. Mit dieser Prüfkongfiguration läuft die Messung mindestens 12 Stunden weiter. Die einzelnen Messungen werden unter annähernd gleichen Klimabedingungen durchgeführt. Während des ersten Messzyklus liegen die Innenlufttemperatur bei ca. 21 °C und die Innenluftfeuchte bei etwa 80%. Außenseitig beträgt die

Lufttemperatur etwa 0°C und die relative Luftfeuchte ca. 60%. Mit der Deaktivierung der Anlage des Außenklimas erhöhen sich folglich die Lufttemperatur und die Luftfeuchte auf der Außenseite. Zusammenfassend sind die einzelnen Messungen in Tab. 12 beschrieben und werden nachfolgend detaillierter erläutert.

Bezeichnung	Beschreibung
M-D-01	Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels sind bei F002 und F003 abgedichtet
M-D-02	Beide Fenster befinden sich im Originalzustand
M-D-03	Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels sind bei F002 und F003 abgedichtet
M-D-04	Innenseitige Glasleiste und Glasanlagendichtung des Hauptflügels sind bei F003 abgeklebt
M-D-05	Innenseitige Glasanlagendichtung des Hauptflügels ist bei F003 ca. 3 cm geöffnet
M-D-06	Anschlagdichtung innenseitig am Fenster F003 ist abgeklebt
M-D-07	Belüftungsöffnungen am Verbundflügel am Fenster F003 sind abgeklebt

Tab. 12 Übersicht Messserie D

#### 4.3.4.1 M-D-01 – Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel

Vor Beginn der Konditionierungsphase werden bei beiden Fenstern alle Dampfdruckausgleichsöffnungen, wie in Abb. 21 dargestellt abgedichtet. Die Messung wird mit einer Temperatur des Außenklimas von -10°C und einer Druckdifferenz von ca. 10Pa gestartet, wobei die Außenklimaanlage aktiv ist. Durch die Bildung von Kondensat am Flügel innenseitig, welches bisher nicht feststellbar war, sowie des Vergleiches mit der Isothermenberechnung wird die Gefahr der Vereisung des entstehenden Kondensats im Hauptflügel festgestellt. Aus diesem Grund wird die Messung vorzeitig abgebrochen.



Abb. 21 D-01: Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen (von links nach rechts): Öffnungen im unteren Bereich des Flügels; Detailansicht; bandseitige Öffnung

## 4.3.4.2 M-D-02 - Vergleichsmessung

Diese Messung dient als Vergleichsmessung. Bedingt durch die Gefahr, der zuvor beschriebenen Vereisung im Bereich des Hauptflügels, werden diese und die nachfolgenden Messungen bei einer Außenlufttemperatur von ca. 0°C gestartet.

Während des ersten Messzyklus der Messung konnten keine Auffälligkeiten am Fenster festgestellt werden.



Abb. 22 D-02 (F003): Kondensat Glasposition 2 ca. 20 Min nach Deaktivierung der Außenklimaanlage

Circa 10 Minuten nach der Deaktivierung der Außenklimaanlage (Messzyklus 2) ist am Fenster F003 eine leichte Kondensatbildung an Position 2 im oberen Bereich der Glasscheibe erkennbar (Abb. 22, Aufnahme ca. 20 Minuten nach Beginn des zweiten Messzyklus). Nach weiteren 10 Minuten zeigen sich auch am Fenster F002 ebenfalls im oberen Bereich der Glasscheibe (Position 2) erste Spuren des Kondensats.

Am Ende der Messung ist an beiden Fenster die Kondensatbildung an der Glasposition 2 deutlich erkennbar. Dabei zeigt sich entgegen der ersten Beobachtungen eine Verlagerung in den unteren Bereich der Verglasung, siehe Abb. 23.



Abb. 23 D-02 (F003): Kondensat Glasposition 2 – Ende der Messung von links nach rechts: Ansicht von vorne, von der Seite und von unten

Die Kondensatbildung am Ende der Messung im Bereich der Mitteldichtung, am Hauptflügel und am Verbundflügel sowie zu Beginn der Messung an der Verglasungsposition 8 sind vergleichbar mit jenen der Messung B-04 und der Messserie C (siehe 4.3.2.2 und 4.3.3.2).

#### 4.3.4.3 M-D-03 - Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel

Die Messung D-03 soll zeigen, wie sich das Abdichten der Dampfdruckausgleichsöffnungen auf das Feuchteverhalten im Verbundraum äußert. Die Abdichtung der Öffnungen erfolgt bei beiden Fenstern und ist von der Art mit der Messung D-01 (Abb. 21) vergleichbar. Im Bereich der Verglasung ist, bei der Inaugenscheinnahme der Fenster im Laufe der Messung und am Ende der Messung, kein Kondensat feststellbar.



Abb. 24 D-03 (F002): Ausgetretenes Kondenswasser aus der Dampfdruckausgleichsöffnung nach dem Lösen der Abdichtung

Nach Beendigung der Messung wird das Austreten von Kondenswasser aus den unteren Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels, nach dem Entfernen der Abdichtungen, bei beiden Fenstern beobachtet (Abb. 24). Im Bereich der Mitteldichtung, des Hauptflügels und des Verbundflügels ist Kondensat wie unter 4.3.2.2 beschrieben bei beiden Fenstern feststellbar. Ebenfalls ist die bereits

erläuterte Kondensatbildung vor Beginn der Messung an der Glasposition 8 bei beiden Fenstern erkennbar (vgl. 4.3.3.2).

#### 4.3.4.4 M-D-04 – Abdichtung der Glasanlagedichtung und der Glasleiste

Diese Messung wird mit umlaufend abgeklebter innenseitiger Glasanlagedichtung und Glasleiste am Hauptflügel des Fensters F003 durchgeführt (Abb. 25). Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen, wird das Fenster F002 im Originalzustand belassen. D-04 soll zeigen, ob sich die Vermeidung des Kondensates an der Verglasung im Verbundraum wie bei der Messung D-03 einstellt und wie sich das Feuchteverhalten im Verbundraum im Vergleich zum Standardfall und zur Messung D-03 äußert.



Abb. 25 D-04 (F003): Abklebung der innenseitigen Glasanlagedichtung und Glasleiste

Die Kondensatbildung an der Verglasung ist beim Fenster F002 mit jener der Messung D-02 vergleichbar. Am Fenster F003 ist, wie bei der Messung D-03, kein Kondensat an der Verglasung feststellbar. Hinsichtlich der Kondensatbildung im Bereich der Mitteldichtung und der Flügel zeigen beide Fenster gleiches Verhalten (vgl. 4.3.2.2 und 4.3.3.2). Jedoch ist beim Fenster F003 das Kondensat im Verbundraum unterhalb der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels sowie denen gegenüber am Verbundflügel nicht erkennbar. Ebenfalls ist die bereits erläuterte Kondensatbildung vor Beginn der Messung an der Glasposition 8 bei beiden Fenstern erkennbar (vgl. 4.3.3.2).

#### 4.3.4.5 M-D-05 – Glasanlagedichtung um ca. 3 cm gelöst

Wie unter 2.1.1 erläutert, ist nach Angaben des Systemherstellers der Rahmenprofile für die innenseitige Glasanlagedichtung eine dünnere Dichtung vorgesehen. Desweiteren ist in der Praxis aufgefallen, dass sich diese Dichtung bei unsachgemäßer Verarbeitung zusammenzieht. Mit diesem Hintergrund wird bei dieser Messung die Glasanlagedichtung am Fenster F003 im unteren Bereich schließseitig um

ca. 3 cm gelöst (Abb. 26) um den Effekt der damit verbundenen höheren Luftdurchlässigkeit zu simulieren. Entsprechend der Ergebnisse der Luftdurchlässigkeitsprüfung (siehe 3.2.1) zeigt sich, dass diese beiden Undichtigkeiten sich in etwa ähnlich verhalten. Daher wird auf die Untersuchung in der Klimakammer mit der dünneren Glasanlagendichtung verzichtet. Das Fenster F002 verbleibt im Originalzustand.



Abb. 26 D-05 (F003): Innenseitigen Glasanlagendichtung um ca. 3 cm gelöst

Während der ersten Begutachtung der Fenster, etwa 40 Minuten nach dem Start des zweiten Messzyklus, wird die Kondensatbildung an der Verglasung (Position 2) an beiden Fenstern festgestellt. Jedoch zeigt sich, dass beim Fenster F003, mit der gelösten Dichtung, das Kondensat über die gesamte Höhe mit einer deutlich höheren Konzentration auftritt. Beim Fenster F002 hingegen sind leichte Kondensatspuren im oberen Bereich der Verglasung feststellbar. Der Vergleich der beiden Fenster in Abb. 27 zeigt, dass die Durchsicht des Fensters F003 (rechts) deutlich eingeschränkter ist als jene des Fensters F002 (links). Im Weiteren ist am Verbundflügel im gegenüberliegenden Bereich der unteren Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels beim Fenster F003 Kondenswasser mit einer Breite von ca. 5 cm erkennbar. Diese Spuren sind beim Fenster F002 zu diesem Zeitpunkt nicht vorhanden. In Abb. 28 ist der Verlauf des Kondensates am Fenster F003 etwa neun Stunden nach dem Ausschalten der Außenklimaanlage zu sehen.



Abb. 27 D-05: Vergleich der Kondensatbildung (Glasposition 2) der beiden Fenster F003 (links) und F002 (rechts)

Abb. 28 D-05 (F003): Kondensatbildung Glasposition 2

Die Kondensatbildung im Bereich der Mitteldichtung und an den Flügeln ist bei beiden Fenstern vergleichbar. Im Bereich des Verbundraumes sind ebenfalls die gleichen Effekte erkennbar (4.3.3.2), jedoch ist die Ausprägung beim Fenster F003 deutlich höher.

#### 4.3.4.6 M-D-06 – Abdichtung der Anschlagdichtung

Diese Messung ist durch die umlaufende Abklebung der Anschlagdichtung innenseitig beim Fenster F003 gekennzeichnet. Es soll untersucht werden, welchen Einfluss die Funktionsfuge zwischen Flügel und Rahmen auf das Feuchteverhalten im Verbundraum hat. Am Fenster F002 werden keine Änderungen vorgenommen, siehe Abb. 29.



Abb. 29 D-06: F003 (links) Abklebung des Flügelanschlages und F002 (rechts) Originalzustand

Die Entstehung des Kondensates an der Verglasung sowie im Verbundraum im Bereich der Dampfdruckausgleichsöffnungen ist in beiden Fällen mit dem Verhalten bei der Messung D-02 vergleichbar. Im Funktionsfugenbereich ist bei Fenster F003 kein Kondensat erkennbar, beim Fenster F002 zeigt sich das bereits erläuterte Verhalten.

#### 4.3.4.7 M-D-07 – Abdichtung der Belüftungsöffnungen des Verbundraumes

Durch das Abkleben der Belüftungsöffnungen am Verbundflügel soll die Funktion der Öffnungen zur Abfuhr anfallender Luftfeuchte gezeigt werden. Bei diesem Versuch werden am Fenster F003 vor Beginn der Messung alle Belüftungsöffnungen abgeklebt. Da die innenseitige Luftfeuchtigkeit bedingt durch die Funktionsweise der Klimaanlage nicht ausreichend gesenkt werden kann, wird durch das Öffnen des Fensters zum Abkleben der Öffnungen eine vergleichsweise hohe Startfeuchte im Verbundraum eingeschlossen.

Am Ende des ersten Messschrittes zeigen sich am Fenster F003 bereits leichte Kondensatspuren an der Glasposition 2. Diese Kondensatbildung wird mit dem Ausschalten der Außenklimaanlage verstärkt.

Dem zur Folge stellt sich am Ende der Messung ein stärker ausgeprägtes Bild des Kondensats an der Verglasung (Position 2) sowie im Verbundraum im Bereich der Dampfdruckausgleichsöffnungen beim Fenster F003 im Vergleich zum Fenster F002 ein. Im Bereich der Mitteldichtung und am Flügel wird ähnliches Verhalten bei beiden Fenstern festgestellt.

## 4.4 Auswertung und Analyse der Messergebnisse

Nachfolgen werden die Messdaten der einzelnen Messungen ausgewertet und analysiert. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt dabei auf dem Feuchte- und Kondensatverhalten im Verbundraum.

In dieser Arbeit werden einzelne Messungen ausgewertet. Wenn nicht gesondert angeführt, verhalten sich die anderen Messungen der jeweiligen Messerie qualitativ gleich. Die entsprechenden Diagramme aller Messungen sind dem Anhang B zu entnehmen.

### 4.4.1 Messerie A

In Abb. 30 sind für die Messungen A-04 die absolute Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit des Außenklimas sowie des Verbundraumes beider Fenster dargestellt. Dabei ist der Start der Messung (Klimaumstellung) mit der ersten Stunde gekennzeichnet und im Weiteren werden 9 Stunden der laufenden Messung dargestellt. Die Abb. 32 zeigt die gleichen Messwerte beider Fenster im Detail zu Beginn der Messung.

Der in den Diagramm (Abb. 30) dargestellte Verlauf der Luftfeuchtigkeit (absolut und relativ) und Lufttemperatur im Verbundraum und im Außenbereich zeigt einen starken Anstieg aller Messwerte kurz nach der dritten Stunde. Die Ursache dieses Anstieges liegt in einer Sicherheitsfunktion der Klimakammer, wodurch ein Anstieg der Feuchtigkeit und der Lufttemperatur des Außenklimas verursacht wird. Dadurch wird jedoch sehr gut die Abhängigkeit des Verbundraumklimas vom Außenklima verdeutlicht. Dieses Verhalten der Klimaanlage ist auch bei anderen Messungen erkennbar, für den vorliegenden Fall wird das Verhalten weiter unten erläutert.

Infolge der Änderung des Außenklimas, Reduktion der Lufttemperatur und der absoluten Luftfeuchte, reduziert sich auch die Lufttemperatur und die absolute Luftfeuchte im Verbundraum. In Abb. 30 zeigt sich, dass nach einer gewissen Zeit ein Gleichgewichtszustand erreicht wird. Nach dem Erreichen dieses Zustandes zeigt sich ein konstanter Verlauf der einzelnen Messwerte, der hier durch die Funktionsweise der außenseitigen Klimaanlage gestört wird. Im Verlauf der gesamten Messung liegt die absolute Feuchte des Verbundraumes über jener des Außenraumes. Ein völliger Ausgleich zwischen der Luft im Verbundraum und der Außenluft findet demnach nicht statt.

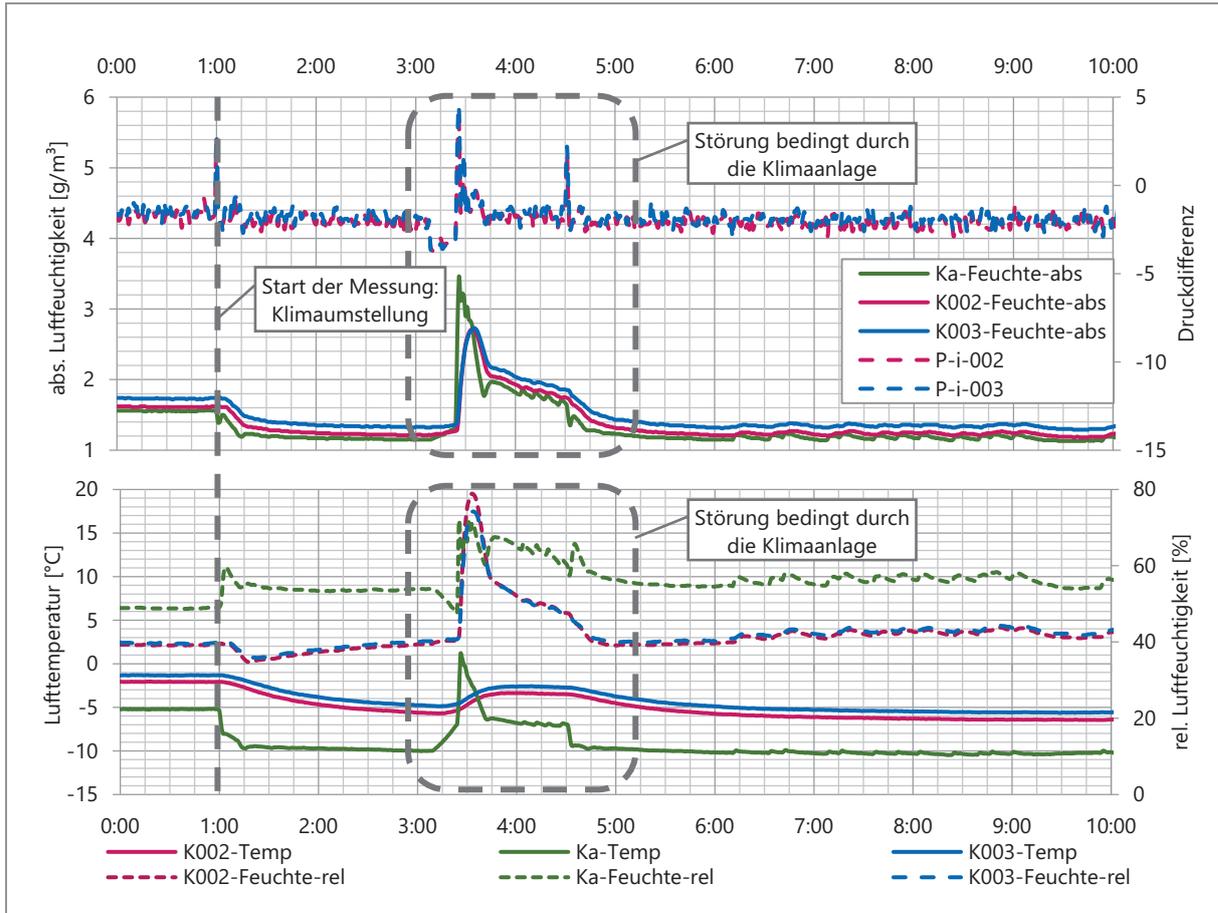


Abb. 30 A-04 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

Jedoch reicht diese höhere absolute Luftfeuchtigkeit im Verbundraum nicht aus, um an der Verglasung Kondensat zu verursachen, da die Lufttemperatur im Verbundraum höher ist und somit die relative Luftfeuchtigkeit niedriger als die des Außenklimas ist und über der Taupunkttemperatur der Verglasungsebene 2 liegt. Dies wird in Abb. 31 verdeutlicht. Dargestellt sind die Oberflächentemperaturen an Position 2 der Verglasung sowie die dazugehörige Taupunkttemperatur der Messung A-04. Es ist gut erkennbar, dass die Differenz zwischen den beiden Kurven relativ groß ist.

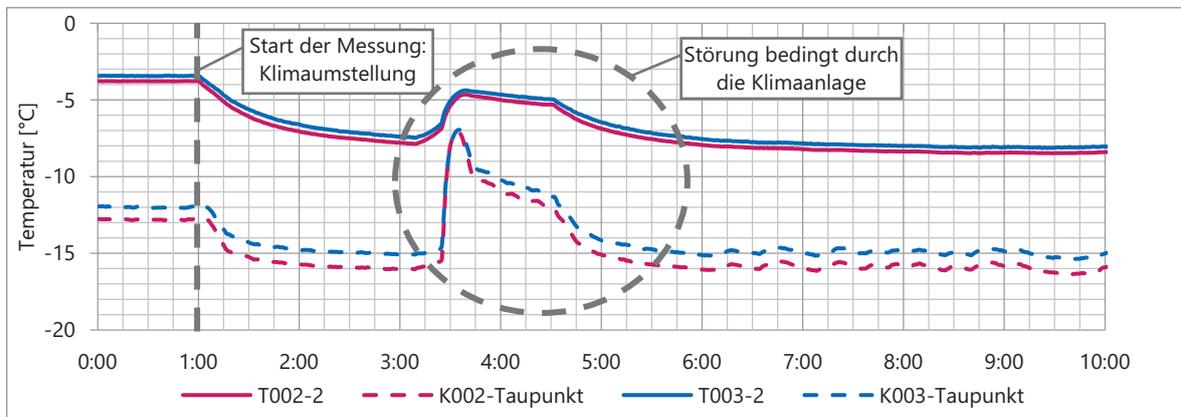


Abb. 31 A-04 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

Betrachtet man die Druckdifferenz zwischen dem Verbundraum und dem Innenklima, stellt sich bei beiden Fenstern ein höherer Druck im Verbundraum ein. Die stichprobenartigen Messungen der Druckdifferenz zwischen dem Außen- und Innenklima zeigen, dass sich auch im Bereich des Außenklimas ein höherer Druck einstellt. Durch die fehlende Genauigkeit des Messgerätes, mit dem die Daten der Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenklima stichprobenartig erfasst werden, ist ein Bezug zwischen Außenklima und Verbundraum bei dieser Messserie nicht herstellbar. Hierzu wird auf die Erkenntnisse aus der Messserie D unter 4.4.4.7 verwiesen.

Hinsichtlich des Verhaltens der beiden Fenster kann gezeigt werden, dass das Fenster F002 eine etwas höhere Druckdifferenz zum Innenklima aufweist als das Fenster F003. Lediglich bei der Messung A-08 zeigen sich etwa gleiche Werte bei beiden Fenstern. Diese Angleichung der Druckdifferenzen kann auch den Unterschied der Luftfeuchte zwischen F002 und F003 während der Messung A-08 begründen. Bei den Messungen A-01 bis A-07 zeigt sich, dass die Luftfeuchte beim Fenster F003 höher ist als jene beim F002. Zugleich zeigt sich, dass die Differenz zwischen Verbundraum und Außenklima beim Fenster F002 kleiner ist als jene beim Fenster F003. Während der Messung A-08 gleicht sich die Druckdifferenz zwischen dem Verbundraum und dem Innenklima des Fensters F002 jener des Fensters F003 an.

In Abb. 32 kann man erkennen, dass sich die Änderung des Außenklimas mit einer Verzögerung von einigen wenigen Minuten auf die Luftfeuchtigkeit sowohl absolut als auch relativ im Verbundraum auswirkt. Dabei ist ersichtlich, dass der Abfall der Kurven der Luftfeuchtigkeiten im Verbundraum mit einem deutlichen Knick gekennzeichnet ist. Infolge dessen ist daraus zu schließen, dass die Reduktion der Luftfeuchte im Verbundraum durch das Außenklima bestimmt wird und daher ein Austausch zwischen der Luft im Verbundraum und des Außenklimas stattfindet. Der Verlauf der Lufttemperatur im Verbundraum erfährt ebenfalls einen Abfall dem Außenklima folgend, jedoch ist erkennbar, dass dieser Abfall zu Beginn der Messung deutlich gedämpfter verläuft.

Die absolute Feuchte, mit dem bereits erwähnten Anstieg der außenseitigen Klimadaten durch die Sicherheitsfunktion der Klimaanlage, zeigt sich in Abb. 33 im Detail. Es wird deutlich, dass einige Minuten nach dem Anstieg der Luftfeuchte im Außenbereich auch die Feuchtigkeit im Bereich der Verbundräume ansteigt. Die Absenkung der Luftfeuchtigkeit außenseitig und der damit eingeleiteten normalen Funktion der Klimaanlage hat auch eine Reduktion im Verbundraum der beiden Fenster zur Folge.

Dieses Verhalten bestätigt erneut die Abhängigkeit des Verbundraumklimas vom Außenklima.

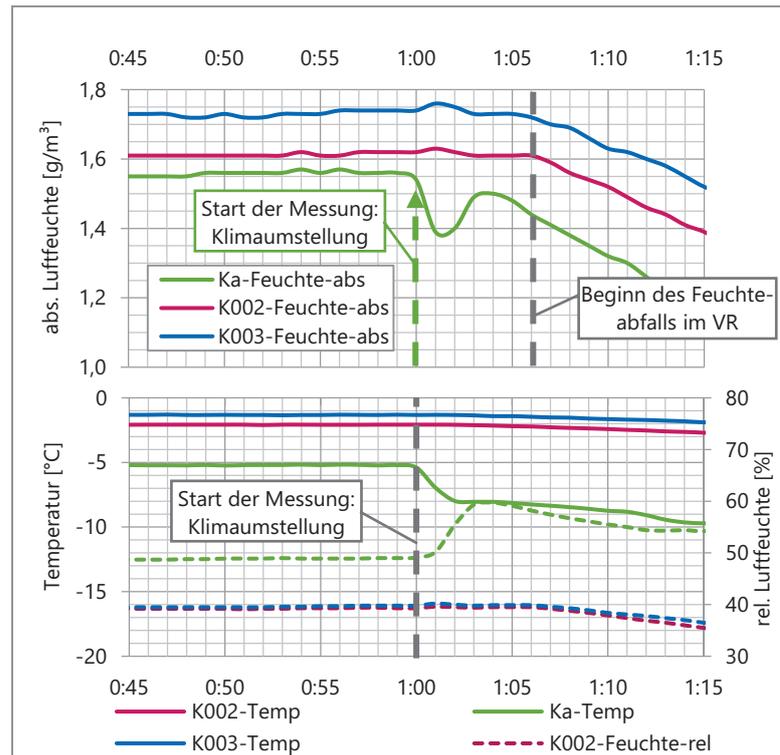


Abb. 32 A-04 (F002, F003): Detailauszüge der Messdaten im Verbundraum und im Außenbereich zu Beginn der Messung: abs. Luftfeuchte (oben), rel. Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

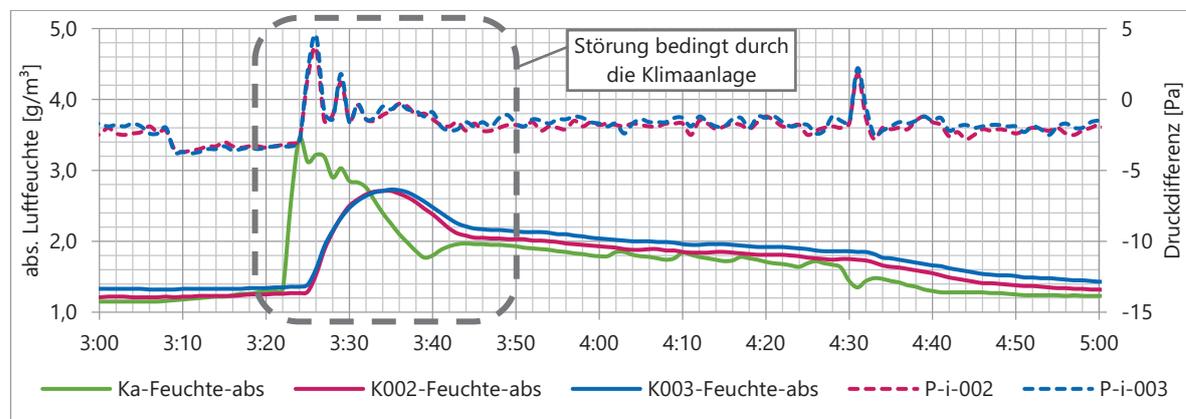


Abb. 33 A-04 (F002, F003): Detailauszug der Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der abs. Luftfeuchte und Druckdifferenz zum Zeitpunkt der Störung

#### 4.4.2 Messserie B

Die Ergebnisse der Messserie C sind, bezüglich des Einflusses unterschiedlicher Druckdifferenzen, eindeutiger. Demnach wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Erläuterung der Messergebnisse verzichtet und auf den Abschnitt 4.4.3 verwiesen. Die Messkonfiguration der Messung B-04 mit einer niedrigeren Außenlufttemperatur im Vergleich zum Innenklima ist vergleichbar mit dem ersten Messzyklus der Messung D-02. Unter 4.4.4.1 erfolgt die Auswertung der Messung D-02. Die Ergebnisse der Messserie B sind im Anhang B zusammenfassend dargestellt.

### 4.4.3 Messserie C

#### 4.4.3.1 Vergleich der Luftfeuchte und Temperaturen im Verbundraum

In der Abb. 34 (unten) sind die Lufttemperatur im Verbundraum sowie die relative Feuchtigkeit des Fensters F002 der einzelnen Messungen dieser Messserie dargestellt. Der Start der Messung erfolgt im Diagramm nach einer Stunde und wird mit der Aktivierung des Ventilators und der sich somit einstellenden Druckdifferenz zwischen dem Innen- und Außenklima sowie der Deaktivierung der Außenklimaanlage eingeleitet. Die absolute Luftfeuchtigkeit und die Druckdifferenz zwischen dem Innenraum und dem Verbundraum (F002) sind in Abb. 34 (oben) ersichtlich.

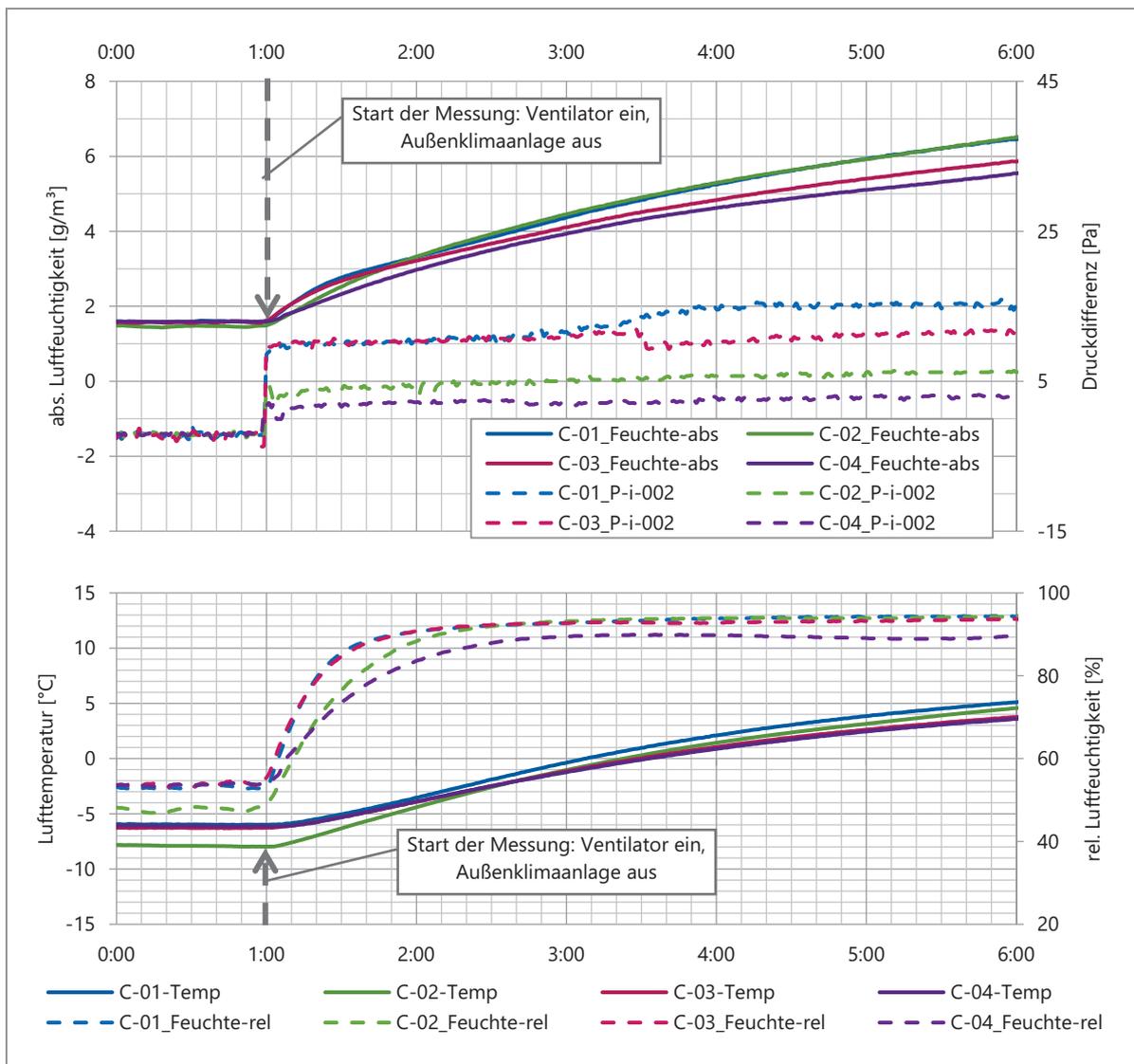


Abb. 34 Messserie C (F002): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

Es ist erkennbar, dass alle Kennwerte mit dem Start der Messung schlagartig ansteigen. Die relative Luftfeuchte erreicht bei allen Messungen in den ersten Stunden einen Gleichgewichtszustand mit

einem annähernd konstanten Niveau. Bei den ersten drei Messungen wird in etwa das gleiche Niveau von ca. 95% erreicht. Die Messung C-04 mit der geringsten Druckdifferenz von ca. 2 Pa erreicht, bei einer etwas geringeren relativen Luftfeuchte, konstante Werte. Die Dauer bis zum Erreichen dieses Gleichgewichtszustandes verzögert sich mit abnehmender Druckdifferenz zwischen dem Innenklima und dem Verbundraum.

Bei der absoluten Luftfeuchtigkeit ist erkennbar, dass bei den Messungen C-01 und C-02 trotz unterschiedlicher Druckdifferenzen, der höchste Anstieg mit einem annähernd gleichen Verlauf erfolgt. Bei der Messung C-03, die mit einer Druckdifferenz von etwas über 10 Pa zu Beginn der Messung annähernd gleich der Messung C-01 ist und eine höhere Druckdifferenz als die Messung C-02 aufweist, wird ein etwas flacherer Anstieg der absoluten Luftfeuchte vermerkt. Der geringste Anstieg der absoluten Feuchte ist, wie bei der relativen Feuchte bei der Messung C-04 mit der geringsten Druckdifferenz, zu vermerken.

#### 4.4.3.2 Vergleich Oberflächentemperatur Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

In Abb. 35 sind von allen Messungen dieser Messserie die Oberflächentemperaturen an der Glasposition 2 und die Taupunkttemperaturen des Fensters F002 dargestellt sowie die Druckdifferenzen zum Innenklima. Es zeigt sich, dass bei den Messungen C-01 und C-03, mit etwa dem gleichen Niveau der Druckdifferenz von ca. 10 Pa zu Beginn der Messung, der Taupunkt in Glasmitte etwa 40 Minuten nach dem Start am frühesten erreicht wird. Darauf folgt die Messung C-02 mit etwa 5 Pa Druckdifferenz. Bei der Messung C-04 mit der geringsten Druckdifferenz zeigt sich, dass eine Überschneidung der Kurve der Oberflächentemperatur mit jener der Taupunkttemperatur nicht stattfindet. Die Begutachtung des Fensters zeigt jedoch, dass trotz dessen Kondensat an der Verglasung (Position 2) feststellbar ist. Wobei die Konzentration des Kondensats im Vergleich zu den anderen Messungen dieser Messserie deutlich geringer ist (siehe 4.3.3.2). 2:36 h nach dem Start der Messung, wird die geringste Differenz mit 0,26 °C zwischen den beiden Kurven festgestellt.

Vergleicht man dazu die Erkenntnisse zur Entwicklung der Kondensatbildung an der Verglasung (Position 2) unter 4.3.4.2 zeigt sich, dass die ersten Kondensatspuren im oberen Bereich der Verglasung auftreten. Im Laufe der Messung entsteht jedoch eine Verlagerung des Kondensats in den unteren Bereich der Glasscheibe. Da sich die Messergebnisse jedoch auf die Glasmitte beziehen, ist daher ein Auftreten von Kondensat im oberen Bereich der Verglasung vor dem Erreichen des Schnittpunktes der gemessenen Oberflächentemperatur mit der Taupunkttemperatur möglich.

Trotz dessen, dass die Kondensatbildung an anderen als den gemessenen Bereichen vorher stattfinden kann, kann gezeigt werden, dass die Dauer bis zu Erreichen des Kondensats sowie deren Ausprägung von der Druckdifferenz zwischen dem Innenraum und dem Außenraum bzw. zwischen dem Innenraum und dem Verbundraum abhängig ist. Ebenso kann gezeigt werden, dass mit steigender Druckdifferenz das Kondensat früher und in einer stärkeren Konzentration auftritt. Aus den Beobachtungen der Kondensatbildung an den Fenstern während der Messungen wird jedoch optisch nur bei der Messung

C-04 ein deutlicher Unterschied mit einer höheren Durchsichtigkeit bemerkt. Dieses wird auch durch den Verlauf der relativen Luftfeuchte (Abb. 34) unterstrichen. Wie bereits erläutert, zeigt sich, dass bei den ersten drei Messungen ein annähernd gleiches Endniveau erreicht wird, jenes der Messung C-04 hingegen etwas unter diesem liegt.

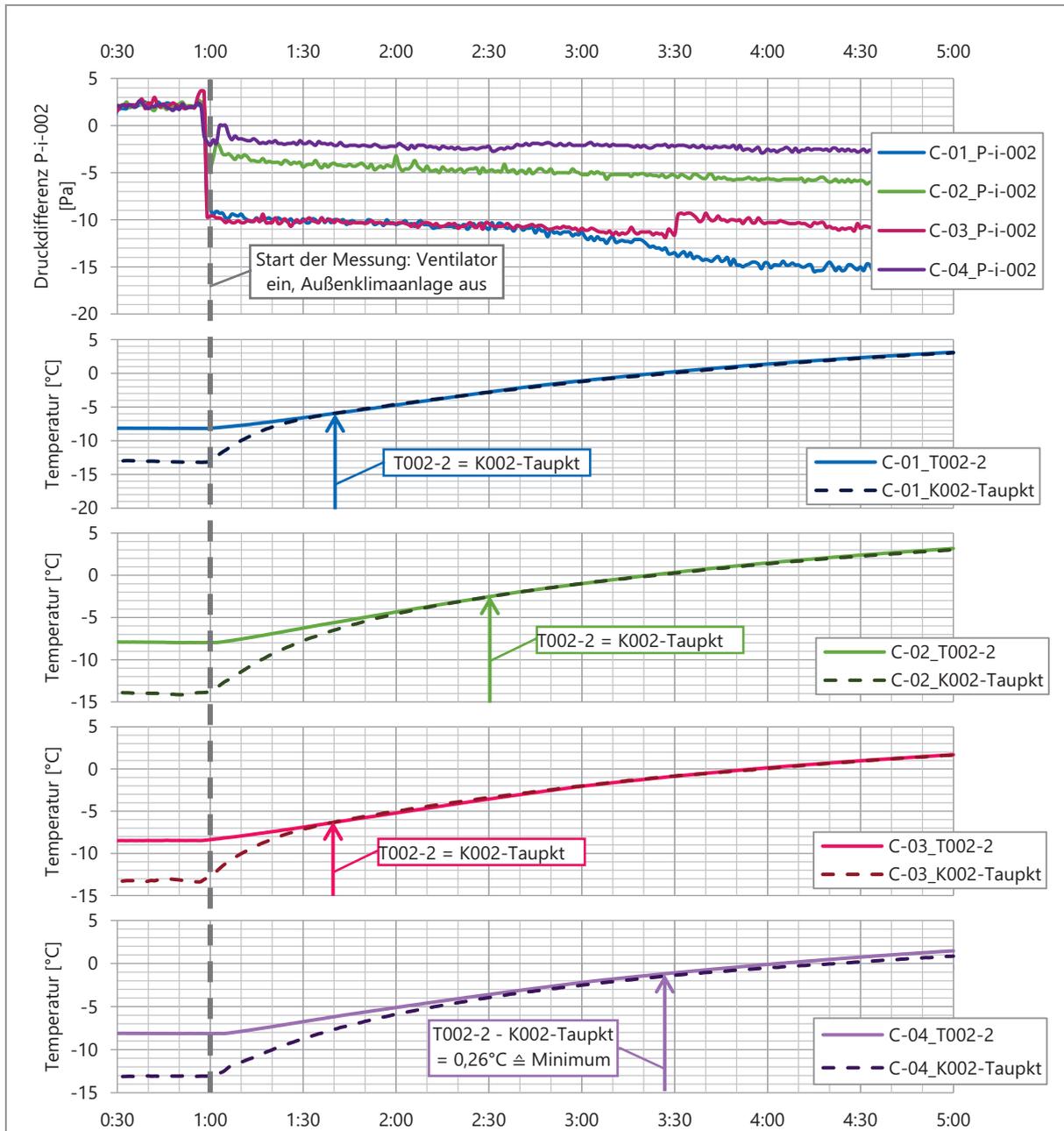


Abb. 35 Messserie C (F002): Druckdifferenz, Oberflächentemperatur (Glasposition 2) und Taupunkttemperatur

#### 4.4.3.3 Reaktion beim Start der Messung

Nachfolgend soll das Reaktionsverhalten des Verbundraumes und des Außenklimaraumes auf den Start der Messung, sprich dem Deaktivieren der Außenklimaanlage und dem Aktivieren des Ventilators,

gezeigt werden. Dafür wird die Messung C-04 und die Verbundräume beider Fenster herangezogen. Das dargelegte Verhalten ist bei den anderen Messungen dieser Messserie qualitativ gleich.

In Abb. 36 sind die absolute Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft und des Verbundraumes (F002, F003) bei der Messung C-04 zu sehen. Dabei ist eine halbe Stunde vor Start der Messung sowie 02:30h nach der Messung dargestellt.

Man kann erkennen, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Verbundraum bei beiden Fenstern nach dem Start (01:00h) sofort zu steigen beginnt. Die relative Luftfeuchtigkeit des Außenklimas reagiert hingegen mit einer Verzögerung von ca. 10 Minuten. Betrachtet man die absolute Luftfeuchtigkeit, kann man erkennen, dass jene des Außenklimas mit einer geringfügigen Verzögerung zum Verbundraum zu steigen beginnt.

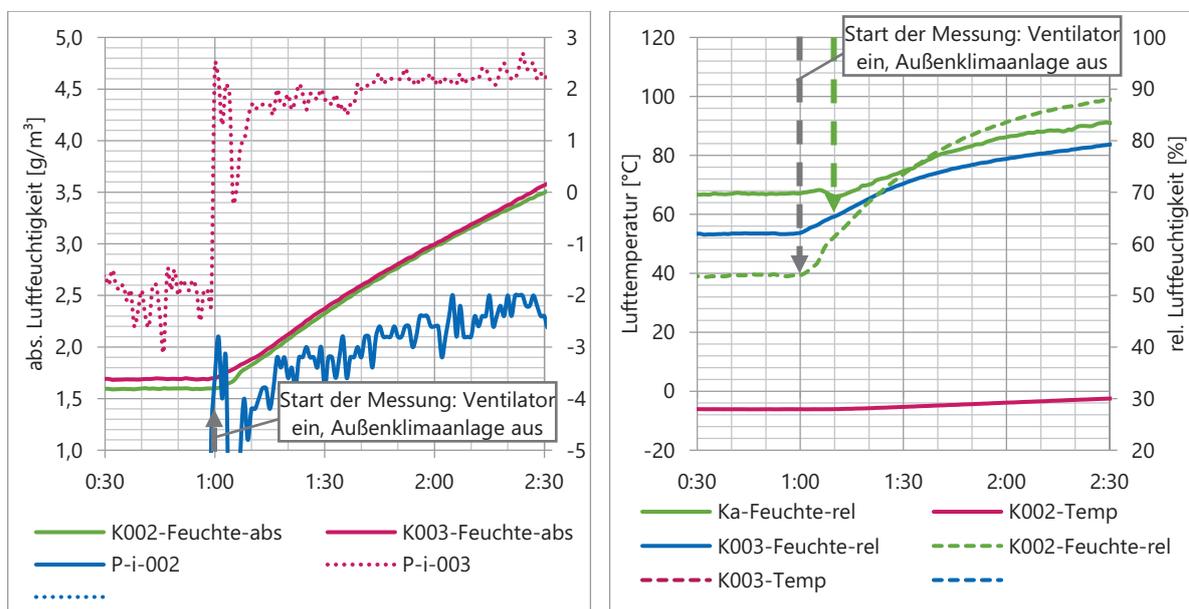


Abb. 36 C-04 (F002, F003): Detailauszüge der Messdaten im Verbundraum und im Außenbereich zu Beginn der Messung: abs. Luftfeuchte und Druckdifferenz (links), rel. Luftfeuchte und Lufttemperatur (rechts)

Daraus lässt sich schließen, dass im Fall der deaktivierten Klimaanlage der Anstieg der Luftfeuchte im Verbundraum nicht eine Folge des Anstieges der Luftfeuchte des Außenklimas sein kann.

Bei der Lufttemperatur zeigt sich, dass die Außenlufttemperatur nach dem Deaktivieren der Klimaanlage einige Minuten konstant bleibt und dann mit einem Knick in dem Verlauf zu steigen beginnt. Die Reaktion der Erwärmung des Außenklimas wirkt sich im Verbundraum deutlich gedämpfter aus.

#### 4.4.4 Messserie D

Nachfolgend werden die einzelnen Messungen der Messserie D analysiert. Dabei zeigt sich, thermisch ein annähernd gleiches Verhalten. Bedeutende Unterschiede diesbezüglich können bei den durchgeführten Maßnahmen nicht festgestellt werden,

4.4.4.1 M-D-02 - Vergleichsmessung

Bei der Messung D-02 zeigt sich (Abb. 37), dass bei Start des ersten Messzyklus, die Verläufe der dargestellten relativen und absoluten Luftfeuchtigkeiten mit einem Knick ruckartig ansteigen und im weiteren Verlauf dieses Messzyklus ein Gleichgewichtszustand mit konstanten Werten erreicht wird. Dabei werden im Verbundraum höhere Werte der absoluten Luftfeuchte als im Außenbereich festgestellt, wobei im Verbundraum des Fensters F003 die höchsten Werte erreicht werden. Ruft man sich die Ergebnisse der Luftdurchlässigkeitsprüfung in Erinnerung (3.2.1), kann man diesen Unterschied zwischen den beiden Fenstern durch die höhere Luftdurchlässigkeit des Fensters F003 begründen.

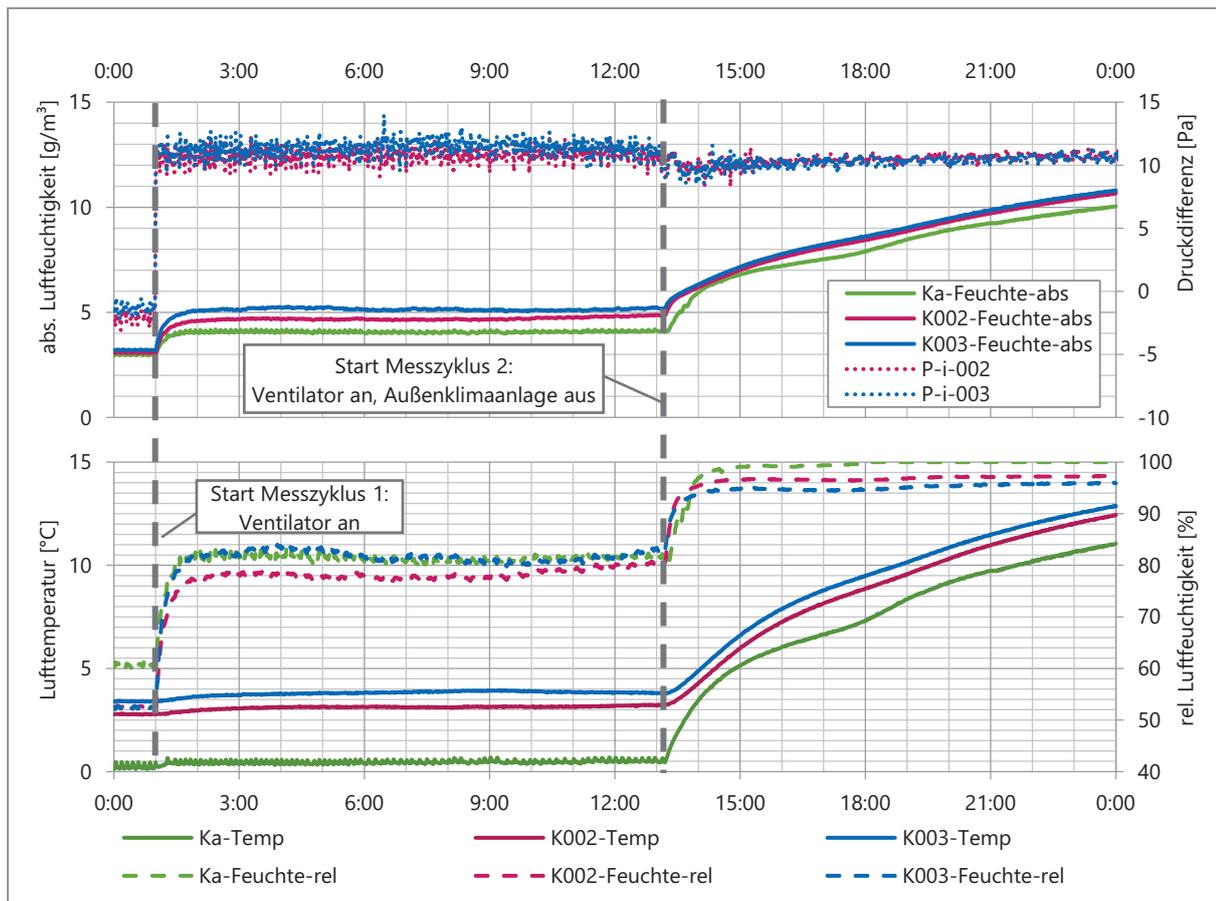


Abb. 37 D-02 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

Mit der Deaktivierung der Außenklimaanlage und dem damit verbundenen Einleiten des zweiten Messzyklus erfolgt ein weiterer Anstieg der Luftfeuchtigkeit sowohl im Verbundraum als auch im Außenbereich. Dabei zeigt sich, dass der Unterschied zwischen den absoluten Luftfeuchten im Verbundraum der beiden Fenster geringer wird und sich dadurch eine Umstrukturierung der Reihenfolge der relativen Luftfeuchtigkeiten ergibt. Man kann erkennen, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Verbundraum wie beim ersten Messzyklus im Verlauf der Messung ein konstantes Plateau erreicht. Im Bereich des Außenklimas erreicht die relative Luftfeuchtigkeit 100%, die Werte der Verbundräume

liegen knapp drunter. Mit dem weiteren Anstieg der Lufttemperatur, zeigt sich bis zum Ende der Messung ein Anstieg der absoluten Luftfeuchtigkeit.

Betrachtet man den Vergleich der Oberflächentemperaturen an der Position 2 mit der Taupunkttemperatur, zeigt sich in Abb. 38 (links), dass im Laufe des ersten Messzyklus die Taupunkttemperatur bei beiden Fenstern unterhalb der Oberflächentemperatur liegt. Im Weiteren wird deutlich, dass bei diesem Messzyklus, die Kurve der Taupunkttemperatur des Fensters F003 sehr knapp die Oberflächentemperatur unterschreitet.

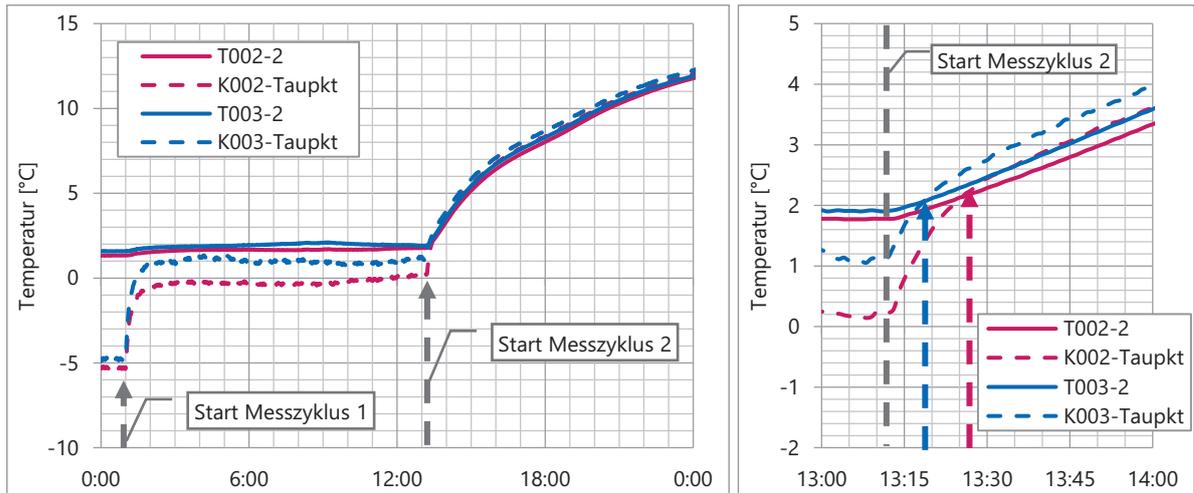


Abb. 38 D-02 (F002, F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur über die gesamte Messzeit (links) und zu Beginn des 2. Messzyklus (rechts)

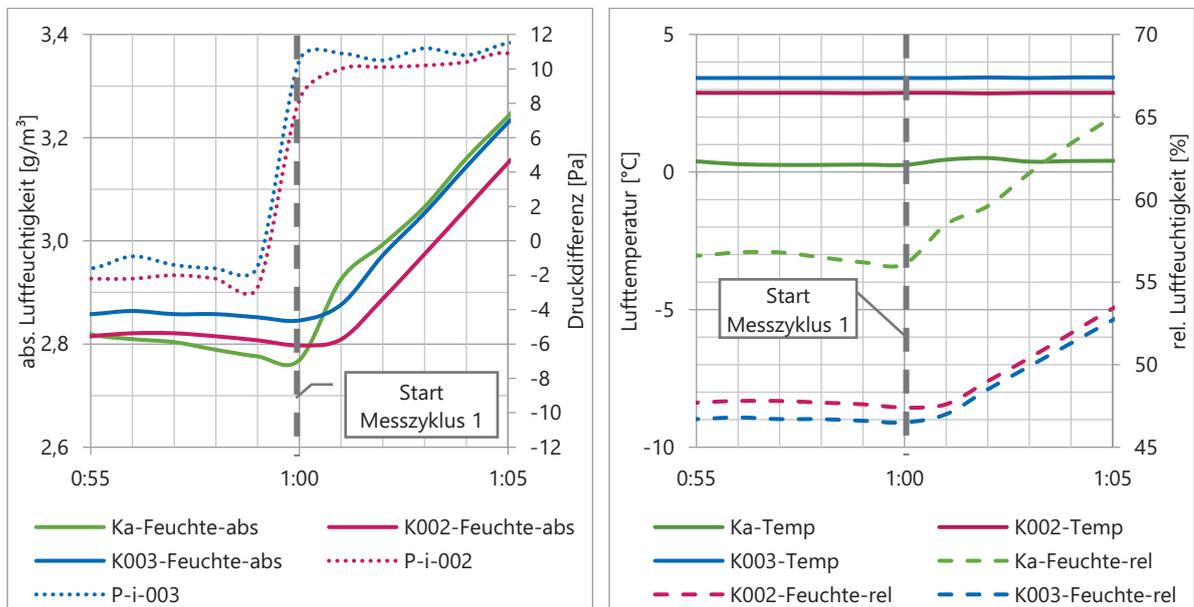


Abb. 39 D-02 (F002, F003): abs. Feuchte der Außenluft und im Verbundraum sowie die Druckdifferenz (links) und die Lufttemperatur und die rel. Luftfeuchte der Außenluft und im Verbundraum (rechts), Detailauszug beim Start des ersten Messschrittes

Im Detailauszug (Abb. 38 rechts), ist ersichtlich, dass nach dem Deaktivieren der Außenklimaanlage bei beiden Fenstern die Taupunkttemperatur sehr steil ansteigt. Dabei überschreitet die Taupunkttemperatur 8 Minuten nach Beginn des zweiten Messzyklus beim Fenster F003 die Oberflächentemperatur. Beim Fenster F002 geschieht dies nach 15 Minuten. Diese Verzögerung zwischen den beiden Fenstern, wurde bei der Begutachtung der Fenster (4.3.4.2) mit geringem zeitlichem Unterschied zu den Messergebnissen ebenfalls vermerkt.

In Abb. 39 ist der Start des ersten Messzyklus im Detail dargestellt. Dabei zeigt sich sowohl bei der relativen als auch absoluten Luftfeuchtigkeit, dass das Außenklima mit Beginn der Messung, zur vollen Stunde, sofort ansteigt. Die Luftfeuchte im Verbundraum hingegen erfährt einen Anstieg ca. eine Minute später. Dies zeigt, dass hier der Feuchteanstieg von der Außenseite beeinflusst wird. Jedoch zeigt sich auch, dass der Einfluss nicht so groß ist, sodass der Feuchtegehalt nicht dauerhaft geringer gehalten wird, wie in Abb. 37 ersichtlich ist, wodurch nach kurzer Zeit die absolute Luftfeuchte der Verbundräume jene des Außenklimas übersteigt.

#### 4.4.4.2 M-D-03 - Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Hauptflügel

In der Abb. 40 sind die Messergebnisse der absoluten Luftfeuchtigkeit, der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit der Verbundräume beider Fenster sowie der Außenluft im Zuge der Messungen D-02 und D-03 dargestellt.

Vergleicht man das Verhalten der absoluten Feuchte der beiden Messungen, zeigt sich, dass durch das Abdichten der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels die absolute Feuchte im Verbundraum bei beiden Fenstern im Laufe der gesamten Messung deutlich geringer ist als bei der Messung D-02. Bei der Messung D-02 kann man erkennen, dass der Verlauf im Verbundraum zu Beginn des ersten Messzyklus deutlich stärker ansteigt als im Bereich des Außenklimas, wodurch sich eine höhere Luftfeuchte im Verbundraum einstellt. Bei der Messung D-03 zeigt sich hingegen, dass die absolute Luftfeuchte im Verbundraum in annähernd gleichem Maß wie die der Außenluft ansteigt.

Dieser Unterschied ist beim Betrachten der relativen Luftfeuchtigkeit noch deutlicher zu erkennen. Dabei zeigt sich im ersten Messzyklus der Messung D-02 beim Erreichen konstanter Werte im Verbundraum eine rel. Luftfeuchtigkeit von ca. 80%. Beim Messzyklus 1 der Messung D-03 zeigt sich hingegen eine um ca. 10% geringere Luftfeuchte. Nach der Deaktivierung der Außenklimaanlage und des damit verbundenen Einleitens des zweiten Messzyklus zeigt sich auch bei der Messung D-03 ein deutlicher Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit. Dieser ist jedoch deutlich gedämpfter als bei der Messung D-02.

Im Weiteren ist erkennbar, dass der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit des Fensters F002 während der Messung D-03 über dem des Fensters F003 liegt. Während der Messung D-02 wird ein entgegengesetztes Verhalten vermerkt. Dies kann dadurch begründet sein, dass die Abdichtungen der Dampfdruckausgleichsöffnungen am Fenster F003 sauberer angebracht sind.

Die Kurven der Oberflächentemperatur (Position 2) und der Taupunkttemperatur (Abb. 41) zeigen, dass keine Überschneidung erfolgt. Jedoch nähern sich die Kurven zum Ende der Messung sehr an. Beim Fenster F002 überschreitet der letzte Messwert der Oberflächentemperatur jenen der Taupunkttemperatur um 0,1°C, beim Fenster F003 sind es 0,3°C.

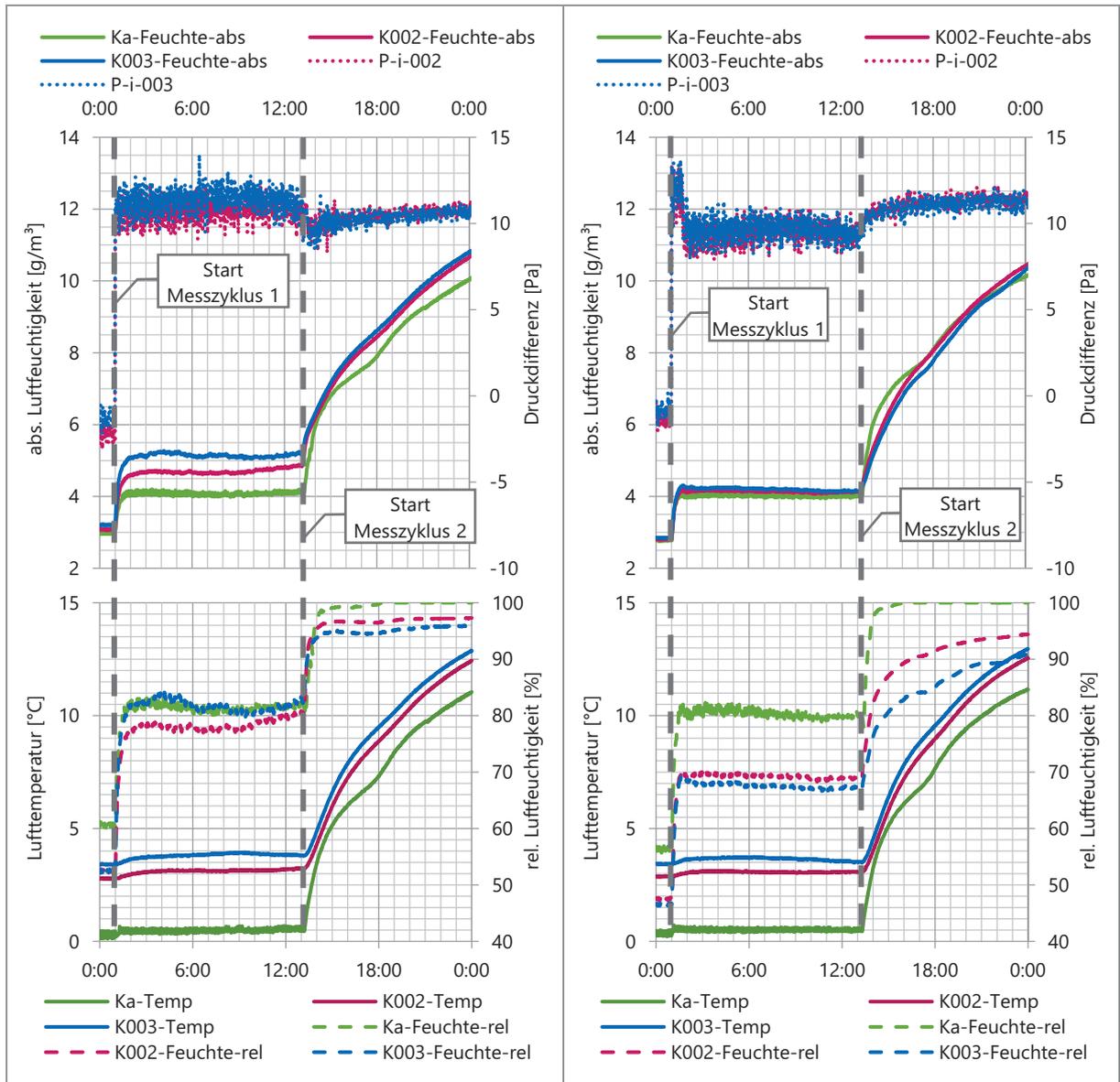


Abb. 40 D-02 (links) und D-03 (rechts) – F002, F003: Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unten)

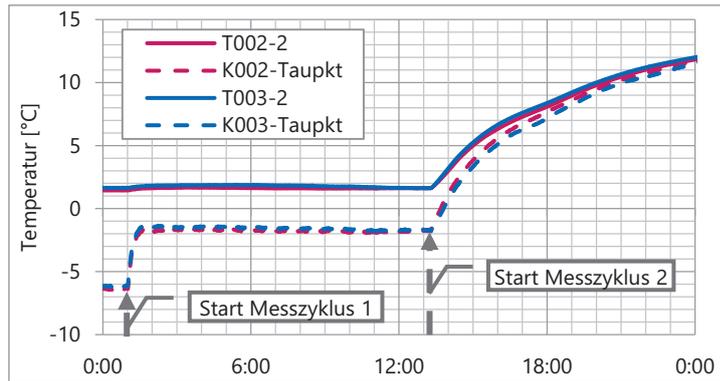


Abb. 41 D-03 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

4.4.4.3 M-D-04 – Abdichtung der Glasanlagedichtung und der Glasleiste

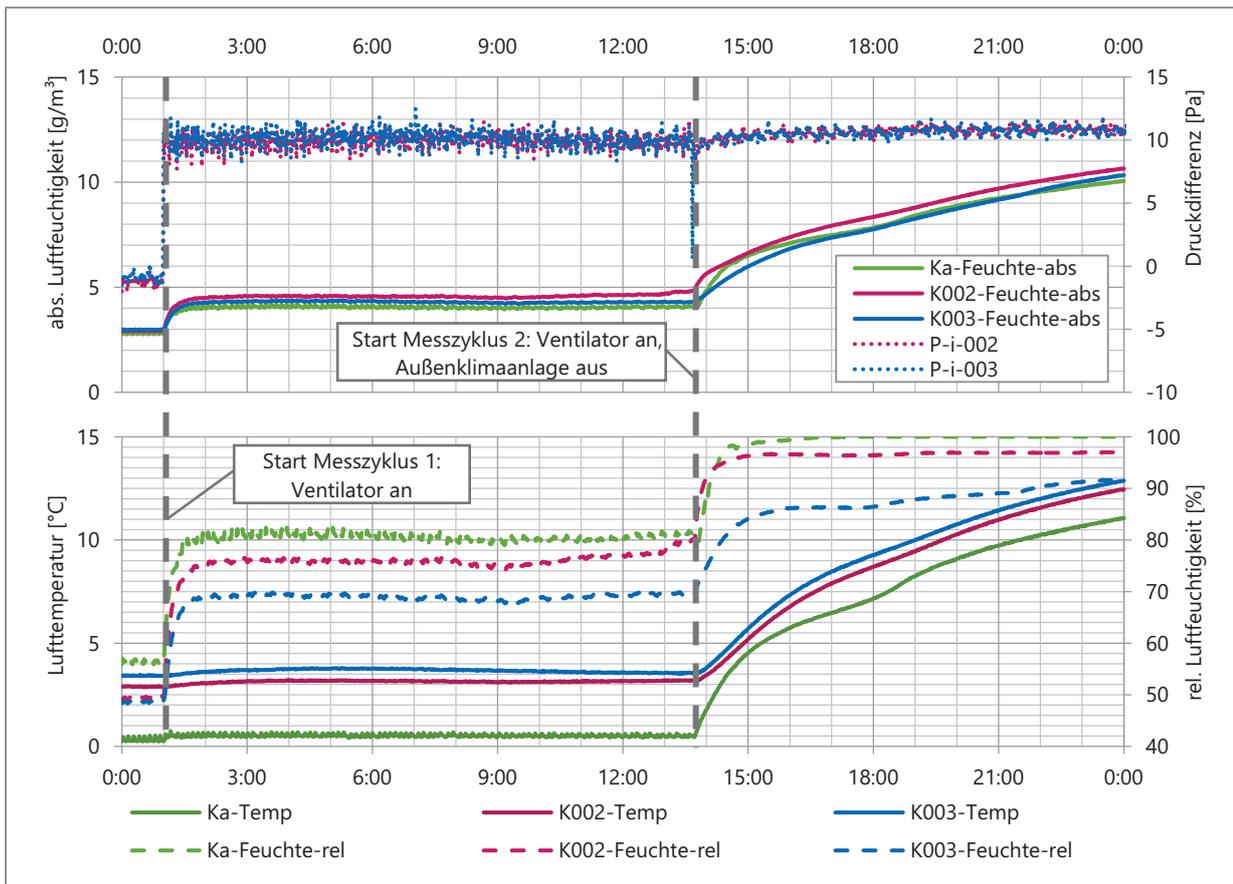


Abb. 42 D-04 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

Im oben dargestellten Verlauf steht das Fenster F002 im Originalzustand im Vergleich zum Fenster F003 mit abgeklebter Glasanlagedichtung und Glasleiste. Dabei ist erkennbar, dass das Verhalten des Feuchteanstieges des Fensters F003 vergleichbar ist mit jenem der Messung D-03 mit abgedichteten

Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels. Es zeigt sich, dass sowohl beim Messzyklus 1 als auch beim Messzyklus 2, eine Reduktion des Feuchteanstieges, im Vergleich zum Fenster F002, stattfindet.

In Abb. 43 ist der Verlauf der Oberflächentemperatur beider Fenster an Position 2 und jener der Taupunkttemperatur ersichtlich. Es wird verdeutlicht, dass beim Fenster F002 kurz nach Beginn des zweiten Messschrittes die Taupunkttemperatur die Oberflächentemperatur schneidet, vergleichbar mit der Messung D-02. Beim Fenster F003 zeigt sich hingegen, wie bei der Messung D-03, dass die Kurve der Taupunkttemperatur bis zum Ende der Messung unter jener der Oberflächentemperatur liegt.

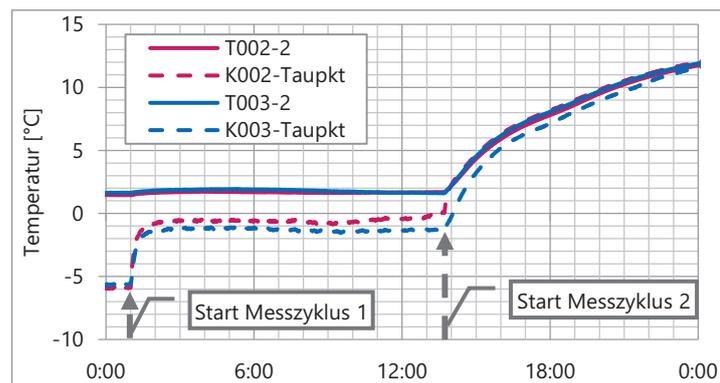


Abb. 43 D-04 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

#### 4.4.4.4 M-D-05 – Glasanlagedichtung um ca. 3 cm gelöst

In der Darstellung der Verläufe der Messdaten in Abb. 44 zeigt sich, dass die absolute Luftfeuchtigkeit des Fensters F003 mit der gelösten Glasanlagedichtung einen deutlich höheren Anstieg als das Fenster F002 während des ersten Messzyklus erfährt. Der Verlauf der Oberflächentemperatur an der Verglasungsebene 2 und der Taupunkttemperatur (Abb. 45) zeigt, dass hier beim Fenster F002 kurz nach dem Start des ersten Messzyklus eine Überschneidung stattfindet, wodurch es zwangsläufig zur Kondensatbildung an der Verglasung kommt. Der starke Anstieg der Werte kurz nach Stunde 6 ist durch die bereits erläuterte Sicherheitsfunktion der Klimakammer bedingt. Auch hier zeigt sich, dass das Klima des Verbundraumes, jenem des Außenbereichs folgt. Ab dem Messzyklus 2 erfolgt ein weiterer Anstieg der Luftfeuchte, jedoch ist beim Verlauf der relativen Feuchtigkeit erkennbar, dass dabei das gleiche Niveau wie beim Fenster F002 erreicht wird. Man kann erkennen, dass bei beiden Fenstern dieser Gleichgewichtszustand nach dem Deaktivieren der Außenklimaanlage und der damit verbundenen Reduktion der Außenkonvektion fast zeitgleich erreicht wird. Somit steigt die absolute Luftfeuchtigkeit des Fensters F002 deutlich steiler an als jene des Fensters F003. Dies könnte, durch den hohen Sättigungsgrad des Fensters F003 während des ersten Messzyklus, begründet sein.

Das Fenster F002 zeigt das bereits bekannte Verhalten mit der Kondensatbildung erst ab dem zweiten Messzyklus. Daher ist auch die begutachtete höhere Konzentration des Kondensats am Fenster F003 begründet. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die dünnere Glasanlagedichtung bzw. ein fehlerhafter

Einbau der Dichtung das Risiko der Kondensatbildung an der Verglasung im Verbundraum deutlich verstärkt.

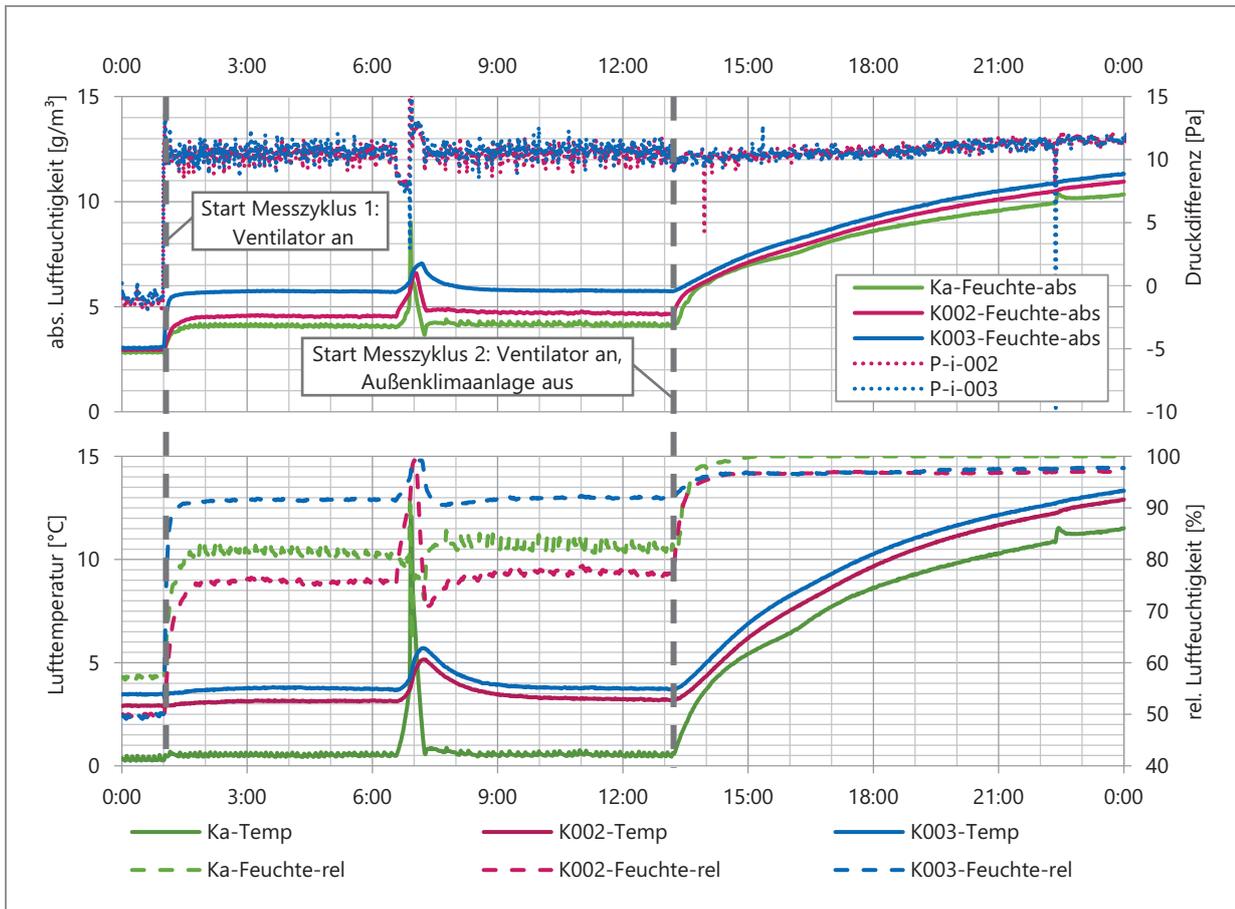


Abb. 44 D-05 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

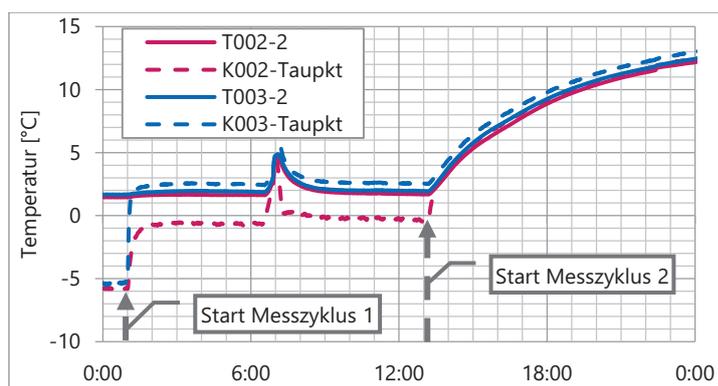


Abb. 45 D-05 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

4.4.4.5 M-D-06 – Abdichtung der Anschlagsdichtung

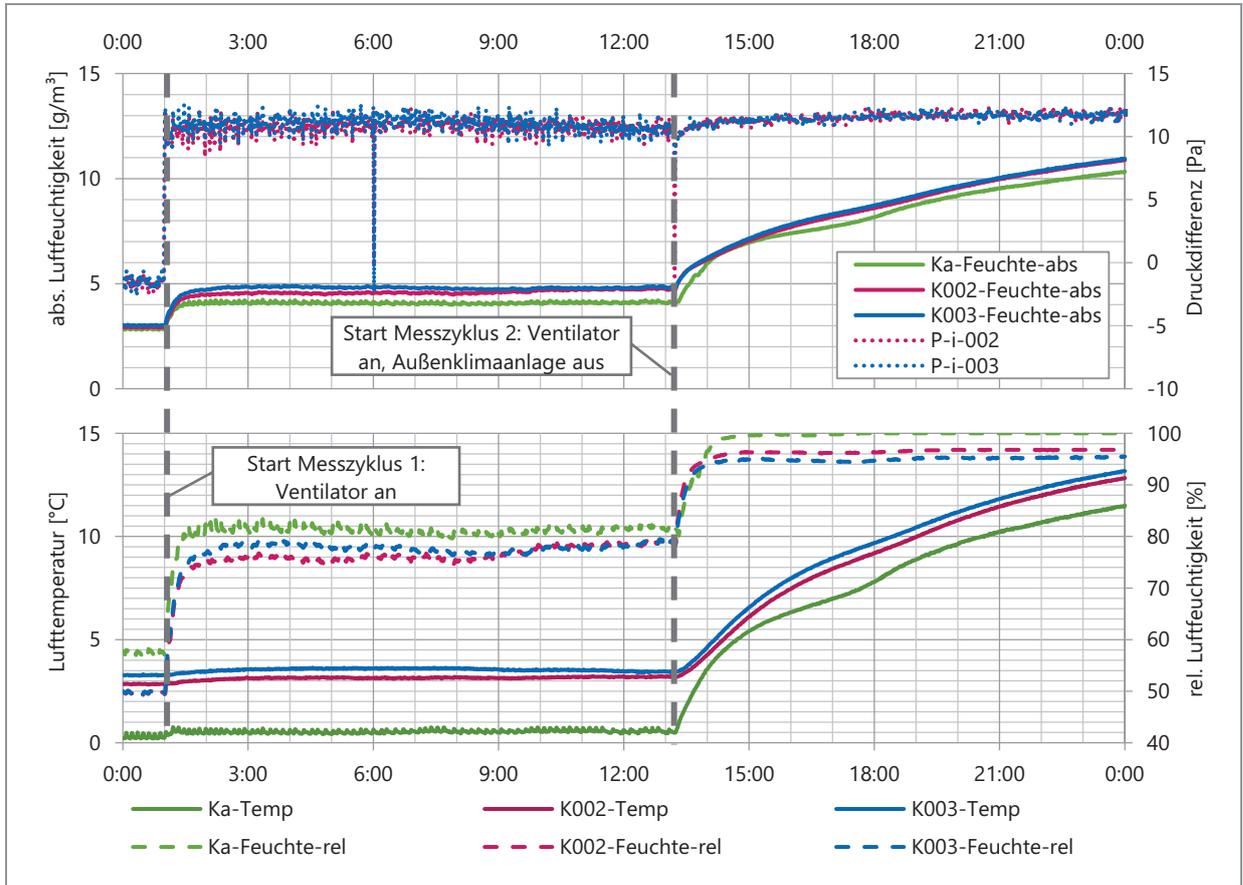


Abb. 46 D-05 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

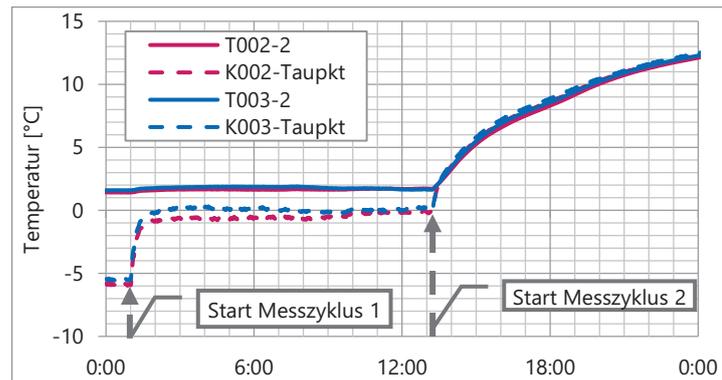


Abb. 47 D-06 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

Die Messergebnisse in Abb. 46 und Abb. 47 zeigen, dass sich das Feuchteverhalten der beiden Fenster kaum unterscheidet. Dabei sind die Unterschiede der beiden Fenster vergleichbar mit jenen der Messung D-02 und sind daher mit der allgemeinen höheren Undichtheit des Fensters F003 zu begründen.

Eine Schlussfolgerung daraus ist, dass der Weg der feuchten Luft des Innenklimas über die Funktionsfuge keinen Einfluss auf das Feuchteverhalten im Verbundraum hat.

#### 4.4.4.6 M-D-07 – Abdichtung der Belüftungsöffnungen des Verbundraumes

Wie bereits in der Beschreibung des Messablaufs angemerkt, wird durch das Abkleben der Belüftungsöffnungen des Verbundraumes eine verhältnismäßig hohe Luftfeuchtigkeit im Verbundraum des Fensters F003 eingeschlossen, was sich auch deutlich in Abb. 50 bemerkbar macht. Betrachtet man die relative und absolute Luftfeuchtigkeit im Verbundraum des Fensters F003, zeigen sich vor Beginn der Messung deutlich höhere Werte als beim Fenster F002. Ruft man sich dabei die Ergebnisse der Messserie A in Erinnerung, bei der die absolute Luftfeuchte ohne einen innenseitigen Überdruck schrittweise abgesenkt wurde. Dabei zeigt sich, dass die Feuchte im Verbundraum dieser Abnahme im Bereich des Außenklimas folgt. Diese Phase der Feuchteabsenkung ist auch hier vor Beginn der Messung erfolgt (Abb. 48 und Abb. 49). Bei dem Verlauf ist erkennbar, dass nach dem Abkleben der Belüftungsöffnungen und der darauffolgenden Konditionierungsphase die absolute Feuchtigkeit im Außenbereich und im Verbundraum des Fensters F002 deutlich absinkt. Beim Verbundraum des Fensters F003 entfällt diese Absenkung. Durch die Reduktion der Außenlufttemperatur folgt auch ein Abfall der Temperaturen im Verbundraum und dem zur Folge ein deutlich höherer Anstieg der relativen Luftfeuchte im Verbundraum des Fensters F003. Betrachtet man dazu ergänzend den Verlauf der Oberflächentemperatur (Position 2) und der Taupunkttemperatur in Abb. 51 ist erkennbar, dass zu Beginn der Messung beim Fenster F003 die Taupunkttemperatur über der Oberflächentemperatur liegt.

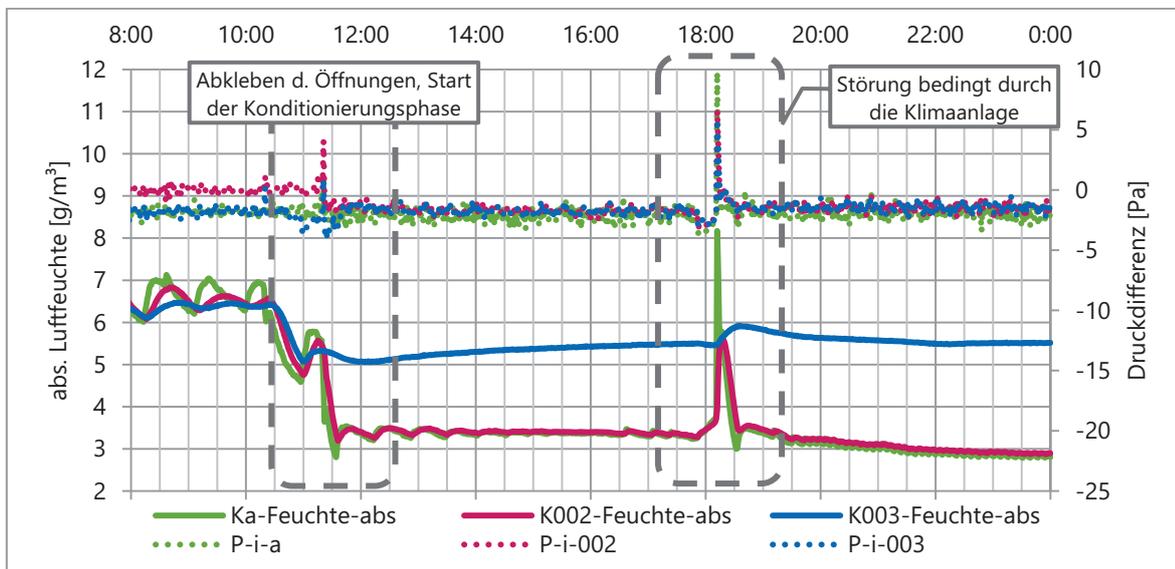


Abb. 48 D-07 – Konditionierungsphase (F002;F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und der Druckdifferenz zum Innenklima

Betrachtet man den Verlauf der absoluten Luftfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Störung in Abb. 48 zeigt sich, dass der Feuchteanstieg der Außenluft auf das Fenster F003 einen deutlich geringeren Einfluss hat als beim Fenster F002.

Durch diese Erläuterungen wird bestätigt, dass zwischen der Luft im Verbundraum und der des Außenklimas ein Austausch über die Belüftungsöffnungen stattfindet. Jedoch zeigt sich aus dieser Messung sowie der weiteren Messungen mit deaktivierter Außenklimaanlage, dass eine entsprechende Abfuhr der Luftfeuchte nur bei ausreichend starker Luftströmung außenseitig erfolgen kann.

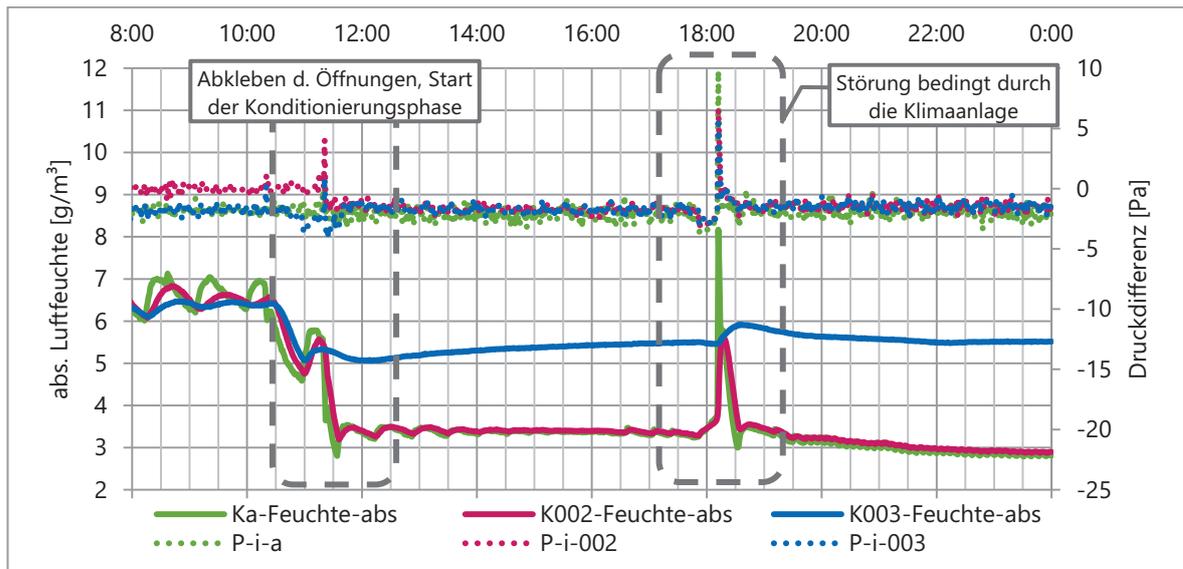
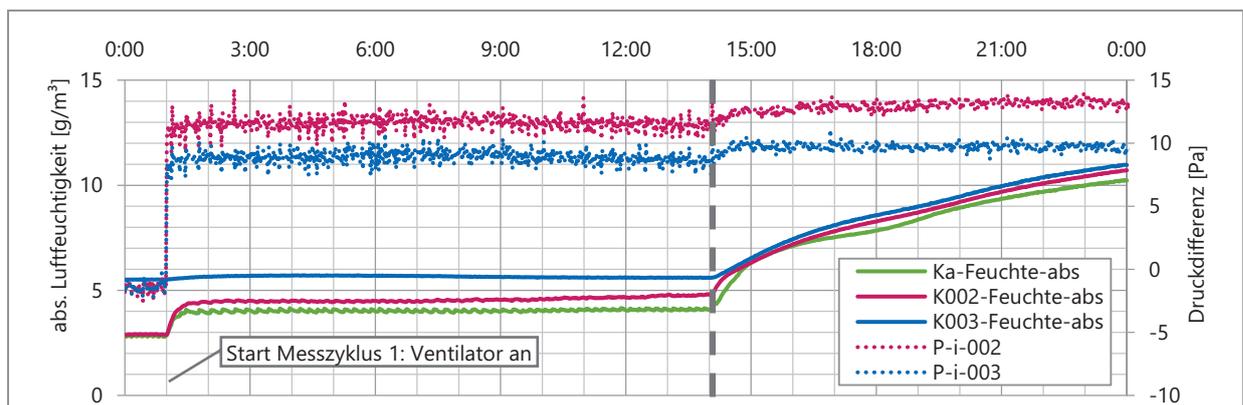


Abb. 49 D-07 – Konditionierungsphase (F002;F003): Messdaten im Verbundraum (F002 und F003) und Außenbereich der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte



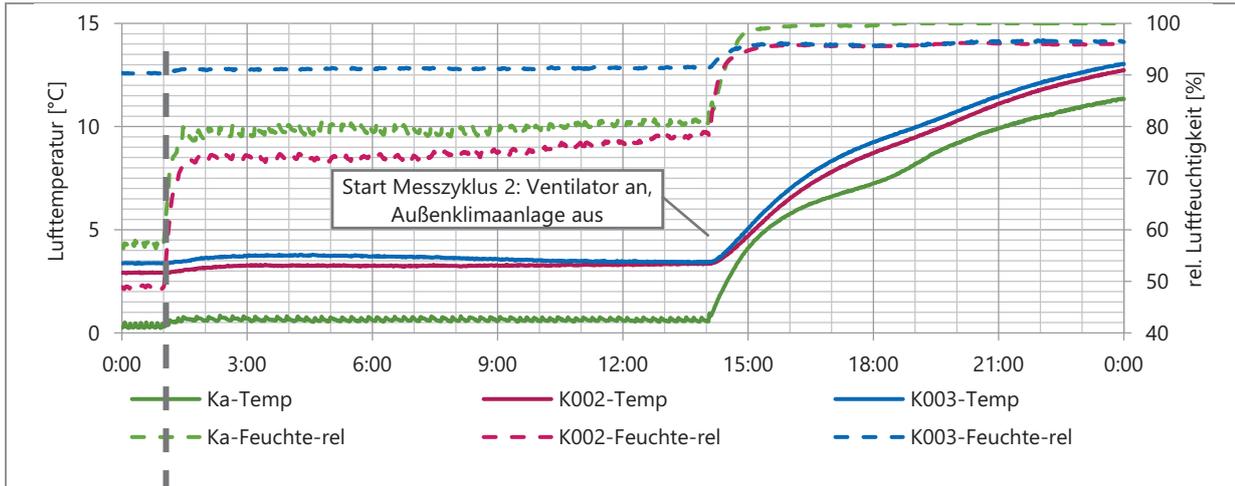


Abb. 50 D-05 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)

Bezieht man sich nun auf den Verlauf während des ersten Messzyklus (Abb. 50), ist erkennbar, dass die Luftfeuchte sowohl absolut als auch relativ geringfügig ansteigt. Fraglich ist, wieso die Luftfeuchte nicht weiter ansteigt, obwohl ein Austausch zwischen dem Außenklima und dem Verbundraum unterbunden ist. Daher ist keine Abfuhr der Feuchte nach Außen möglich, eine Feuchtezufuhr aus dem Innenklimabereich durch den Überdruck hingegen stattfinden sollte. Als dessen Ursache, wird der sich einstellende Gleichgewichtszustand während des Messzyklus 1 in Erwägung gezogen. Eine Begründung dieses Gleichgewichtszustandes kann im Rahmen dieser Arbeit nicht erbracht werden, jedoch zeigt sich, dass im Normalzustand des Fensters dieses Niveau deutlich unter dem hier vorliegenden Startwert des Fensters F003 liegt. Demnach kann der Grund für den geringen Anstieg der Luftfeuchte im Verbundraum des Fensters F003 beim ersten Messzyklus, das Erreichen bzw. Überschreiten des Gleichgewichtszustandes sein. Betrachtet man, den Verlauf der absoluten und relativen Luftfeuchtigkeit während des zweiten Messzyklus, kann man erkennen, dass die Feuchte mit der Deaktivierung der Anlage weiter steigt. Dabei erreichen beide Fenster ein etwa gleiches Endniveau der relativen Luftfeuchtigkeit. Zieht man den Verlauf der Vergleichsmessung D-02 hinzu, zeigt sich dort, dass in dieser Messung das Endniveau des Fensters F003 geringfügig unterhalb des Fensters F002 liegt. Bei der Messung D-05 mit der gelösten Glasanlagendichtung am Fenster F003 zeigt sich hingegen ein vergleichbares Verhalten wie hier. Dies kann, durch die im vorherein vorliegenden höheren Feuchtebedingungen im Verbundraum, begründet sein.

Da der weitere Anstieg der Luftfeuchte im Verbundraum des Fensters F003 vergleichbar mit den vorherigen Messungen ist, wird die Unwirksamkeit der Belüftungsöffnungen im Zustand der Windstille, sprich Deaktivierung der Klimaanlage und Reduktion der Außenkonvektion, bestätigt.

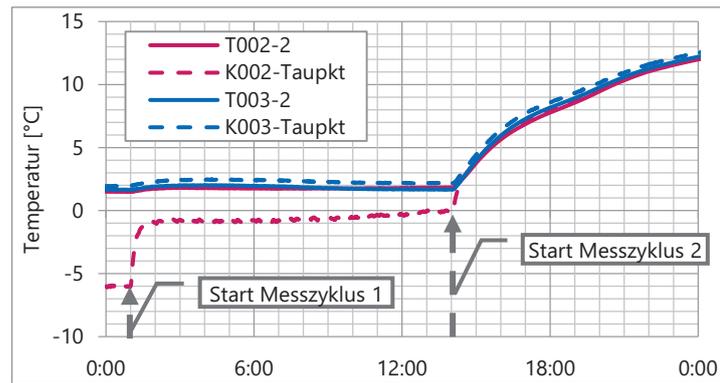


Abb. 51 D-07 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur

#### 4.4.4.7 Vergleich der Druckdifferenzen M-D-06 und M-D-07

Auf der nachfolgenden Seite sind die Verläufe der Druckdifferenz zwischen dem Innenraum und dem Verbundraum des jeweiligen Fensters sowie zwischen dem Verbundraum und dem Außenraum, der Messungen D-06 und D-07 dargestellt. Im Weiteren sind die zugehörigen Lufttemperaturen in den Verbundräumen sowie im Außenbereich dargestellt. Die Lufttemperatur des Innenklimas ist über die dargestellte Zeit annähernd konstant und liegt zwischen 21 und 22 °C. Neben der Darstellung des ersten und zweiten Messzyklus, umfassen die Diagramme auch die Phasen vor und nach der Messung. Die in Abb. 52 verwendeten Abkürzungen sind in Tab. 13 näher erläutert.

Die Verläufe der Druckdifferenzen zwischen dem Verbundraum des jeweiligen Fensters und dem Innenklima (P-i-002, P-i-003) zeigt in der Regel ein annähernd gleiches Verhalten in der gleichen Größenordnung. Dabei liegt die Druckdifferenzen P-i-002 und P-i-003 etwas über der Druckdifferenz zwischen dem Außenbereich und dem Innenbereich (P-i-a). Während der Phasen ohne den künstlich erzeugten Überdruck (D-06-K, D-07-K und D-07-E) ist ein Unterdruck sowohl auf Basis des Außenklimas als auch der Verbundräume zu vermerken. Dabei liegt der Unterschied der Differenzen P-i-002 und P-i-003 zu P-i-a bei ca. 0,5 Pa. Im Fall des aktiven Ventilators und vorherrschendem Überdruck liegen die Differenzen der Verbundräume zum Innenraum etwa 1 bis 2 Pa über jener des Außenklimas zum Innenklima.

Während des ersten und zweiten Messzyklus der Messung D-07 ist erkennbar, dass die Druckdifferenz des Verbundraumes des Fensters F003, mit abgeklebten Belüftungsöffnungen, deutlich niedriger ist als jene bei Fenster F002. Dabei liegt P-i-003 im Mittel ca. 3 Pa unter P-i-002, wodurch der Verlauf der Druckdifferenz P-i-003 unter jenem der Druckdifferenz P-i-a liegt.

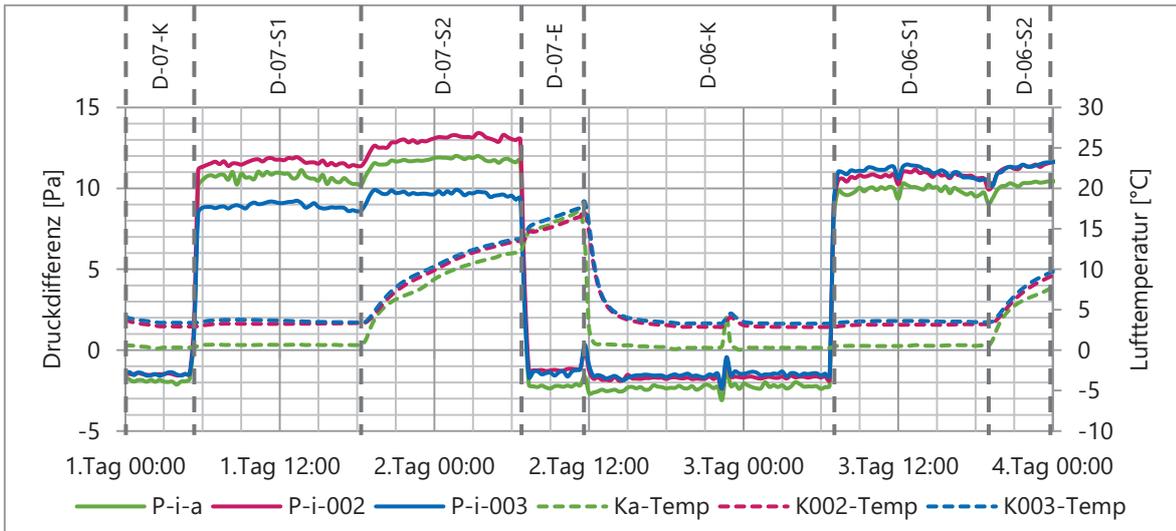


Abb. 52 D-07 und D-06: Verlauf der Druckdifferenzen zwischen den Verbundräumen der beiden Fenster zum Innenraum und jener zwischen dem Außenraum zum Innenraum sowie die Lufttemperaturen in den Verbundräumen und dem Außenklima; Darstellung ist über 20 Minuten geglättet.

Bezeichnung	Beschreibung der Messphase
D-06-K bzw. D-07-K	Konditionierungsphase der Messungen D-06: Anschlagdichtung innenseitig abgeklebt D-07: Belüftungsöffnungen des Verbundraumes abgeklebt
D-06-S1 bzw. D-07-S1	Messzyklus 1 der jeweiligen Messung; Ventilator an, Außenklimaanlage an
D-06-S2 bzw. D-07-S2	Messzyklus 2 der jeweiligen Messung; Ventilator an, Außenklimaanlage aus
D-07-E	Ende der Messung; Ventilator aus, Außenklimaanlage aus; Abklebungen entfernt

Tab. 13 Beschreibung der Messphasen der Diagramme dargestellt in Abb. 52

## 5 Thermische Untersuchung: Vergleich zwischen Messung und Berechnung

Die Untersuchung soll einen Vergleich der Oberflächentemperaturen zwischen den Messergebnissen der Messserie A und der Berechnung mit unterschiedlichen Ansätzen der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit des Luftraumes im Verbundraum zeigen. Im Weiteren werden die Wärmeübergangswiderstände an den Verglasungsebenen 1, 2, 3 und 8 in Glasmitte ermittelt und diese einer Vergleichsmessung mit der angebrachten Abschirmung vor der Ventilation der Innenklimaanlage (vgl. 4.1) gegenübergestellt.

Die zum Vergleich herangezogenen Messwerte werden in der Periode ab dem Erreichen annähernd konstanter Werte der Luft- und Oberflächentemperaturen herangezogen (vgl. 4.4.1 und Anhang B). Dabei werden die Einzelergebnisse über eine Zeitspanne von in der Regel 10 h gemittelt.

### 5.1 Berechnungsgrundlagen

#### 5.1.1 Berechnungsansatz

Für die thermische Berechnung werden die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten nach vier unterschiedlichen Berechnungsarten ermittelt und mit diesen, die Oberflächentemperatur mit der Software HTflux in Glasmitte berechnet. Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit wird einerseits nach der ÖNORM EN ISO 10077-2 [12] ermittelt, wobei dort die Unterscheidung zwischen einem schwach belüfteten  $\lambda_{VR,HR-bel,eq}$  und unbelüfteten Hohlraum  $\lambda_{VR,HR-unbel,eq}$  zum Vergleich gestellt wird. Die Erläuterung zur Definition und zur Berechnung des Hohlraumes nach [12] ist unter 2.3.1 angeführt. Als zweiter Ansatz werden die Messergebnisse zur Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit des Luftraumes im Verbundraum herangezogen. Die Ermittlung erfolgt nach dem Prinzip des eindimensionalen stationären Wärmetransports in einem mehrschichtigen Bauteil. Da in Glasmitte der Einfluss des Rahmens sehr gering ist, wird die Vereinfachung des eindimensionalen Zustandes als akzeptabel angesehen. Da das Klima während der Messungen beidseitig konstant gehalten wird und die Oberflächen- und Lufttemperaturen im gewählten Zeitbereich der Messung annähernd konstant sind, liegt ein annähernd stationärer Zustand vor. Entsprechend der angeführten Randbedingungen wird das Verhalten nach [5] wie folgt definiert:

Die Wärmestromdichte  $q$  ist bedingt durch den stationären Zustand konstant. Es gilt, dass die Wärmestromdichte des gesamten Bauteils gleich jener der einzelnen Bauteilschichten ist.

$$q = U (\theta_i - \theta_e) = \text{konstant}$$

$$q_i = q_1 = q_2 = q_n = q_e = q$$

U ... Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils [W/m<sup>2</sup>K]

q ... Wärmestromdichte des Bauteils [W/m]

q<sub>i</sub> ... Wärmestromdichte im Bereich der inneren Grenzschicht [W/m]

q<sub>e</sub> ... Wärmestromdichte im Bereich der äußeren Grenzschicht [W/m]

q<sub>1-n</sub> ... Wärmestromdichte der Bauteilschichten 1 bis n [W/m]

θ<sub>i</sub> ... Innenlufttemperatur [°C]

θ<sub>e</sub> ... Außenlufttemperatur [°C]

Infolge dessen kann der Wärmetransport schichtweise wie folgt aufgeteilt werden:

$$q_i = \frac{1}{R_{si}} (\theta_i - \theta_{si})$$

$$q_1 = \frac{1}{R_1} (\theta_{si} - \theta_{1,2})$$

$$q_2 = \frac{1}{R_2} (\theta_{1,2} - \theta_{2,2+i})$$

$$q_3 = \frac{1}{R_n} (\theta_{n-1,n} - \theta_{se})$$

$$q_e = \frac{1}{R_{se}} (\theta_{se} - \theta_e)$$

R<sub>si</sub> ... Wärmeübergangswiderstand im Bereich der inneren Grenzschicht [m<sup>2</sup>/WK]

R<sub>se</sub> ... Wärmeübergangswiderstand im Bereich der äußeren Grenzschicht [m<sup>2</sup>/WK]

R<sub>1-n</sub> ... Wärmedurchlasswiderstand der Bauteilschichten 1 bis n [m<sup>2</sup>/WK]

Entsprechend des auf dem gleichen Prinzip basierenden grafischen Verfahrens zur Bestimmung der Temperaturverteilung in einem mehrschichtigen Bauteil, ergibt sich eine lineare Kurve, wenn man die Widerstände auf die x-Achse aufbringt und die Temperaturen auf die y-Achse (siehe Abb. 53). [14]

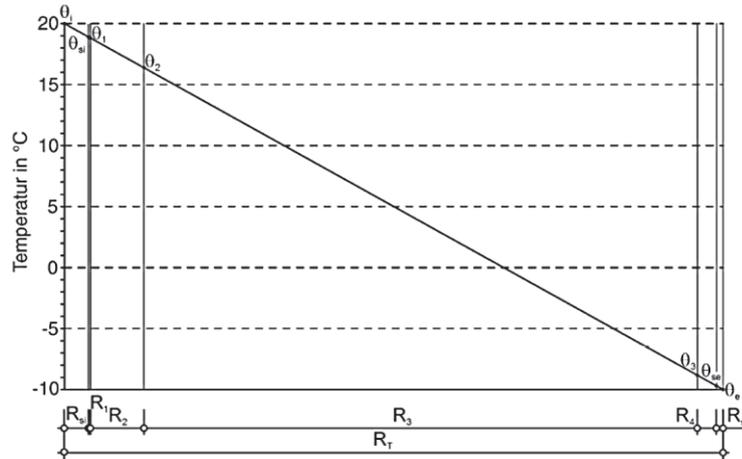


Abb. 53 Grafisches Verfahren zur Bestimmung der Temperaturverteilung in einem Bauteil [14]

Bezieht man die beschriebenen Formeln auf das vorliegende Glaspaket, ergibt sich:

$$q_i = q_{ESG} = q_{VR} = q_{IV} = q_a = q$$

$$q_i = \frac{1}{R_{si}} (T_i - T_8)$$

$$q_{IV} = \frac{1}{R_{IV}} (T_8 - T_3)$$

$$q_{VR} = \frac{1}{R_{VR}} (T_3 - T_2)$$

$$q_{ESG} = \frac{1}{R_{ESG}} (T_2 - T_1)$$

$$q_e = \frac{1}{R_{se}} (T_1 - T_a)$$

Dabei ist die Nummerierung der Glasebenen nach Abb. 1 definiert.

Im vorliegenden Fall sind die Oberflächentemperaturen durch die Messung bekannt. Der Wärmedurchlasswiderstand der außen liegenden Einscheibensicherheitsverglasung  $R_{ESG}$  und der inneren Isolierverglasung  $R_{IV}$  sind entsprechend ihrer wärmetechnischen Eigenschaften ermittelbar. Der Wärmedurchlasswiderstand der Isolierverglasung wird entsprechen des unter 2.3.2.1 beschriebenen Verfahrens nach [11] ermittelt. Dabei werden zur Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten der Scheibenzwischenräume als Randbedingungen die gemessenen Oberflächentemperaturen an den Positionen 3 und 8 mit einem Wärmeübergangswiderstand von  $0 \text{ m}^2\text{K/W}$  herangezogen. Infolgedessen verbleiben als Unbekannte der äußere und innere Wärmeübergangswiderstand ( $R_{se}$  und  $R_{si}$ ) sowie der Widerstand des Luftraumes im Verbundraum  $R_{VR}$ .

Zur Ermittlung des inneren Wärmeübergangswiderstandes  $R_{si}$  wird die Wärmestromdichte der inneren Grenzschicht  $q_i$  mit jener der Isolierverglasung  $q_{IV}$  gleich gestellt. Dabei sind die Bezeichnungen der Oberflächentemperaturen nach der Nummerierung in Abb. 1 definiert:

$$q_i = \frac{1}{R_{si}}(T_i - T_8) = \frac{1}{R_{IV}}(T_8 - T_3) = q_{IV} \rightarrow R_{si} = R_{IV} \frac{(T_i - T_8)}{(T_8 - T_3)} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

Zur Ermittlung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes  $R_{se}$  wird die Wärmestromdichte der äußeren Grenzschicht  $q_e$  mit jener der Einscheibensicherheitsverglasung  $q_{ESG}$  gleich gestellt:

$$q_e = \frac{1}{R_{se}}(T_1 - T_a) = \frac{1}{R_{ESG}}(T_2 - T_1) = q_{ESG} \rightarrow R_{se} = R_{ESG} \frac{(T_1 - T_a)}{(T_2 - T_1)} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

Die errechneten Werte der Wärmeübergangswiderstände werden bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen als Randbedingungen angesetzt.

Bei der Ermittlung des Wärmedurchlasswiderstandes der Luftschicht im Verbundraum werden zwei Berechnungen durchgeführt. Zum einen wird die Wärmestromdichte des Verbundraumes  $q_{VR}$  jener der Isolierverglasung  $q_{IV}$  gleichgestellt und zum anderen der Wärmestromdichte der Einscheibensicherheitsverglasung  $q_{ESG}$ . Daraus ergibt sich:

$$q_{VR} = \frac{1}{R_{VR}}(T_3 - T_2) = \frac{1}{R_{ESG}}(T_2 - T_1) = q_{ESG} \rightarrow R_{VR,ESG} = R_{ESG} \frac{(T_3 - T_2)}{(T_2 - T_1)} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

und

$$q_{VR} = \frac{1}{R_{VR}}(T_3 - T_2) = \frac{1}{R_{IV}}(T_8 - T_3) = q_{IV} \rightarrow R_{VR,IV} = R_{IV} \frac{(T_3 - T_2)}{(T_8 - T_3)} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

Aus dem errechneten Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht im Verbundraum ergibt sich die äquivalente Wärmeleitfähigkeit, mit einer Luftschichtdicke von  $d_{VR} = 5,18 \text{ cm}$ , wie folgt:

$$\lambda_{eq} = \frac{d_{VR}}{R_{VR}} \left[ \frac{W}{mK} \right]$$

Ergänzend dazu wird noch der Wärmeübergangswiderstand an den Glaspositionen 2 und 3 nach dem gleichen Prinzip ermittelt:

$$q_{VR,ESG} = \frac{1}{R_{s,VR,2}}(T_{VR} - T_2) = \frac{1}{R_{ESG}}(T_2 - T_1) = q_{ESG} \rightarrow R_{s,VR,2} = R_{ESG} \frac{(T_{VR} - T_2)}{(T_2 - T_1)} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

$$q_{VR,IV} = \frac{1}{R_{s,VR,3}}(T_3 - T_{VR}) = \frac{1}{R_{IV}}(T_8 - T_3) = q_{IV} \rightarrow R_{s,VR,3} = R_{IV} \frac{(T_3 - T_{VR})}{(T_8 - T_3)} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

Die detaillierte Ergebnisse der Berechnungen sowie die gewählten Randbedingungen sind dem Anhang C zu entnehmen.

### 5.1.2 Modellierung des Fensters

Die thermische Berechnung und die damit verbundene Ermittlung der Oberflächentemperaturen in Glasmitte erfolgt am Vertikalschnitt des Fensters. Dabei wird im Modell die adiabate Grenze in der Mitte der Verglasung gesetzt. Entsprechend der Verhältnisse im eingebauten Zustand in der Klimakammer schließt der Fensterrahmen an die Maske aus extrudiertem Polystyrol mit einer Hohlraumfüllung aus Mineralwolle an. Ein Ausschnitt des Rechenmodells ist in Abb. 54 dargestellt mit den entsprechenden Kennwerten nach Tab. 14.

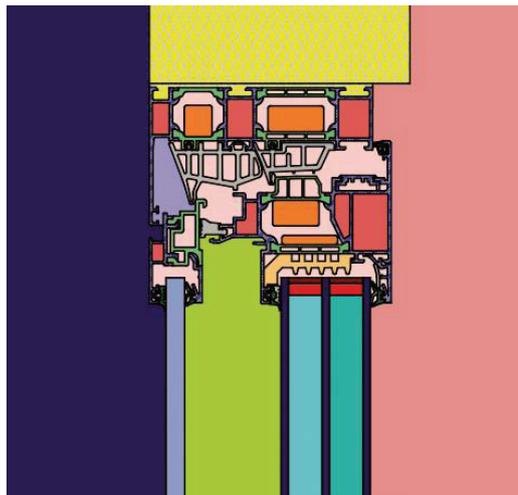


Abb. 54 Thermische Untersuchung – Modell – Materialansicht

Für die Randbedingungen des Innen- und Außenklimas werden die entsprechend gemessenen Außen- und Innenlufttemperaturen angesetzt und die errechneten Wärmeübergangswiderstände nach dem auf Seite 67 beschriebenen Verfahren. Die entsprechenden Werte sind dem Anhang C zu entnehmen.

Bezeichnung	$\lambda$ [W/mK]	Bezeichnung	$\lambda$ [W/mK]
 Aluminiumlegierungen	160,00	 Natronglas (Floatglas)	1,0
 Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	0,25	 Luftraum im Verbundraum	Abhängig von der jeweiligen Berechnungssituation
 HI-Dämmschaum	0,04	 Hohlraum schwach belüftet; $\epsilon_1 = 0,9$ ; $\epsilon_2 = 0,9$	Automatisch ermittelt
 Polyethylenschaum 040	0,04	 Hohlraum unbelüftet; $\epsilon_1 = 0,9$ ; $\epsilon_2 = 0,9$	Automatisch ermittelt
 Moosgummi	0,05	 Hohlraum unbelüftet; $\epsilon_1 = 0,3$ ; $\epsilon_2 = 0,3$	Automatisch ermittelt
 Polythermid	0,15	 SZR01 – 90% Argon	Abhängig vom jeweiligen Temperaturniveau
 Abstandhalter Box 1	0,40	 SZR02 – 90% Argon	
 Abstandhalter Box 2	0,29		

Tab. 14 Thermische Untersuchung – Materialkennwerte

## 5.2 Berechnungsergebnisse

### 5.2.1 Wärmeübergangswiderstände

In Abb. 55 sind die Wärmeübergangswiderstände der Messserie A des Fensters F002 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der innere Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  zwischen  $0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$  und  $0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$  liegt. Vergleicht man diese Werte mit dem Normwert von  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  nach [9] wird deutlich, dass die vorliegenden Werte eher niedrig sind. Ausgehend davon, dass in der Klimaanlage der Klimakammer ein Ventilator eingebaut ist, kann davon ausgegangen werden, dass der niedrige Wärmeübergangskoeffizient auf die Konvektion in der Klimakammer während der Konditionierungsphase zurückzuführen ist. In einem Raum mit normalen Bedingungen wird der konvektive Anteil des Wärmeübergangskoeffizienten in erste Linie durch die freie Konvektion bestimmt.

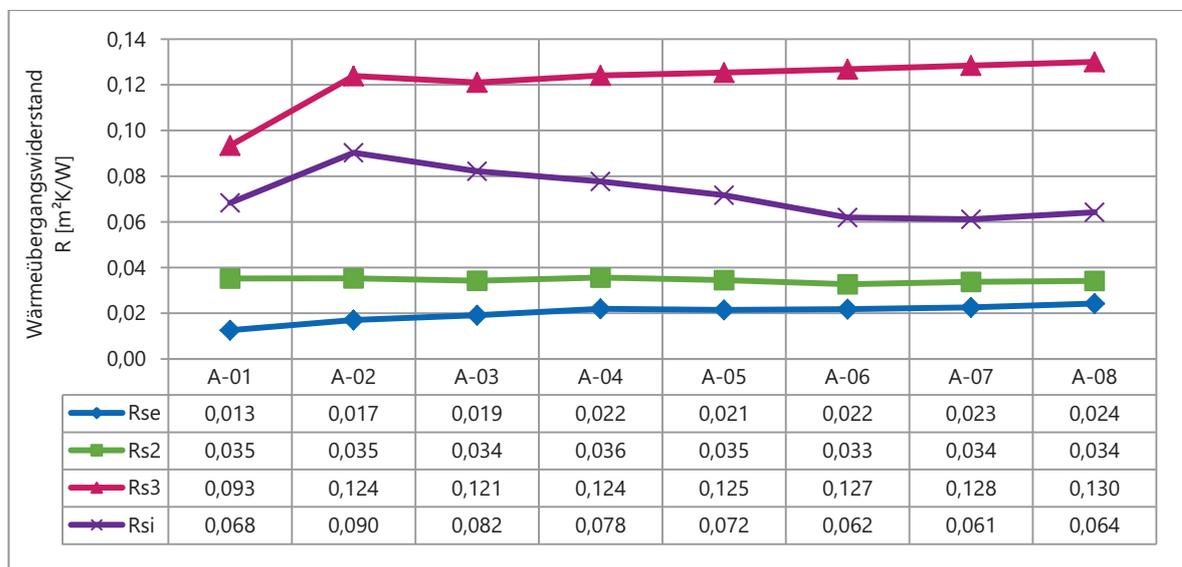


Abb. 55 Messserie A (F002) – Wärmeübergangswiderstände

Bei der freien Konvektion kommt es zu einem Kontakt zwischen einem Fluid (Luft) und einer Oberfläche (Glasscheibe) mit unterschiedlichen Temperaturen. In dem Fluid entstehen infolgedessen Temperaturdifferenzen, wodurch sich Dichteunterschiede ergeben. Da die Oberflächentemperatur geringer ist als jene des Fluides, ergibt sich eine nach unten gerichtete Strömung. [2]

Wird die Konvektion durch eine erzwungene Strömung z. B. durch einen Ventilator oder den Wind hervorgerufen, spricht man von erzwungener Konvektion [6]. Bei dieser Form der Strömung ergeben sich höhere Werte der Strömungsgeschwindigkeit, wodurch die Wärmeübertragung infolge Konvektion gesteigert wird [2]. Entsprechend der Steigerung der Wärmeübertragung ergibt sich eine Reduktion des Wärmeübergangswiderstandes.

Demnach werden die geringen Werte des inneren Wärmeübergangswiderstandes der Aktivität des Ventilators der Klimaanlage zugeschrieben. Entsprechend dieser Erkenntnis werden Maßnahmen zur Reduktion der Luftgeschwindigkeit an den Fenstern durchgeführt (siehe 4.1). Darauf folgend wird eine

Vergleichsmessung (A-01-VM) mit den gleichen Randbedingungen der Messung A-01 durchgeführt. In Abb. 56 sind die Wärmeübergangswiderstände dieser Messungen von beiden Fenstern dargestellt. Es zeigt sich, dass durch die Abschirmung, der innere Wärmeübergangswiderstand deutlich erhöht wird. An den anderen Oberflächenebenen sind zwar geringfügige Unterschiede zu vermerken, jedoch in keiner relevanten Größenordnung.

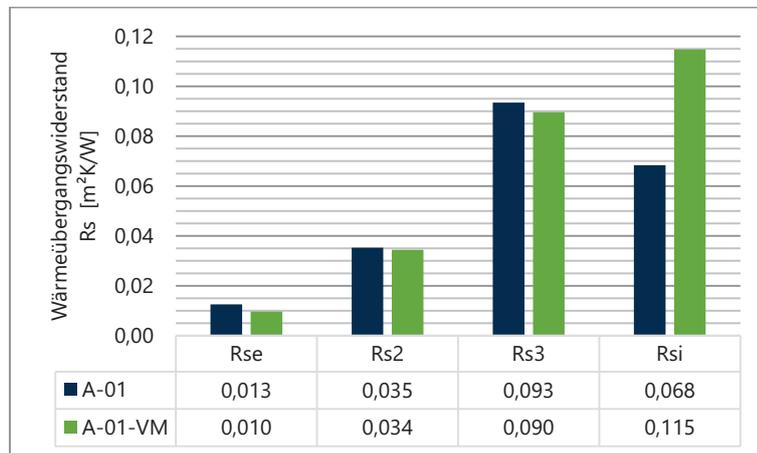


Abb. 56 A-01 und A-01-VM (F002) – Wärmeübergangswiderstände im Vergleich

Beim äußeren Wärmeübergangswiderstand  $R_{se}$  werden bei der Messserie A (Abb. 55) Werte von ca.  $0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$  erreicht. Auf die natürlichen Verhältnisse bezogen, wird dieser Wert als eher gering beurteilt. Die Ursache dessen wird wie beim inneren Wärmeübergangswiderstand in der Ventilation der Klimaanlage gesehen und die Verhältnisse mit sehr hohen Windgeschwindigkeiten gleichgestellt.

Vergleicht man die Wärmeübergangswiderstände im Verbundraum, kann man erkennen, dass sich sehr große Differenzen zwischen den beiden Grenzflächen an der Isolierverglasung  $R_{s3}$  und der der Einscheibensicherheitsverglasung  $R_{s2}$  ergeben. Dabei ist der Widerstand während der Messserie A  $R_{s2} \approx 0,035 \text{ m}^2\text{K/W}$  deutlich geringer als jener an der Isolierverglasung mit  $R_{s3} \approx 0,125 \text{ m}^2\text{K/W}$  (siehe Abb. 55). Zur Beurteilung dieses großen Unterschiedes werden nachfolgend die einzelnen Komponenten des Wärmeübergangswiderstandes untersucht.

Neben der Konvektion bildet der Wärmeaustausch durch Strahlung den zweiten Teil des Wärmeübergangswiderstandes [5]:

$$R_s = \frac{1}{h_k + h_s}$$

$R_s$  ... Wärmeübergangswiderstand [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$h_k$  ... Wärmeübergangskoeffizient infolge Konvektion [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$h_s$  ... Wärmeübergangskoeffizient infolge Strahlung [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

Der entsprechende Wärmeübergangskoeffizient  $h$  verhält sich dabei proportional zur Wärmestromdichte  $q$  [5]:

$$q = h (\theta_1 - \theta_2)$$

Der Wärmestrom, der von einer Oberfläche durch die Strahlung abgegeben wird, ist zur vierten Potenz von der Temperatur abhängig [5]:

$$q_s = \varepsilon \cdot C_s \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

$q_s$  ... Strahlungsbedingter Wärmestrom [ $m^2K/W$ ]

$\varepsilon$  ... Emissionsgrad der Oberfläche [ $W/m^2K$ ]

$C$  ... Strahlungskonstante [ $W/m^2K^4$ ]

$T$  ... Absolute Temperatur der Oberfläche [ $K$ ]

Daraus ergibt sich, dass an einer Oberfläche mit einer höheren Temperatur die strahlungsbedingte Wärmestromdichte höher ist als jene mit einer niedrigeren Temperatur und folglich der strahlungsbedingte Teil des Wärmeübergangswiderstandes an der Oberfläche mit einer höheren Temperatur niedriger ist.

Bezieht man sich nun auf den vorliegenden Verbundraum, ist die Temperatur an der Glasposition 3 größer als die an der Glasposition 2. Demnach ist der strahlungsbedingte Teil des Wärmeübergangswiderstandes an der Einscheibensicherheitsverglasung (Ebene 2) höher als der an der Isolierverglasung. Da die Ergebnisse der Messungen jedoch ein entgegengesetztes Verhalten zeigen, wird dies auf den konvektiven Anteil zurückgeführt.

In [6] wird zur Berechnung der freien Konvektion die Formel nach [1] wie folgt angegeben:

$$h_k = 1,31 \cdot \sqrt[3]{\Delta T}$$

Dabei ist  $\Delta T$  die Differenz zwischen der Lufttemperatur und der Oberflächentemperatur. Somit ist die konvektive Wärmeübertragung umso größer, je größer die Temperaturdifferenz ist. Betrachtet man dies am Beispiel der Messung A-04 bei einer Außenlufttemperatur von ca.  $-10^\circ C$  zeigt sich, dass die Differenz zwischen der Glasposition 2 und der Lufttemperatur im Verbundraum größer ist als die Differenz zwischen der Glasposition 3 und der Lufttemperatur im Verbundraum. Entsprechend der oben angeführten Formel ergibt sich an Glasposition 2 ein Wärmeübergangskoeffizient infolge Konvektion von  $h_{k,2} = 1,776 W/m^2K$  und an der Position 3  $h_{k,3} = 1,611 W/m^2K$ . Demnach zeigt sich, dass bei einer freien Konvektion der konvektive Teil des Wärmeübergangswiderstandes  $R$  an der Position 3 höher sein muss. Diese Aussage bestätigt, den Unterschied zwischen den errechneten Ergebnissen. Jedoch ist die Differenz zwischen den beiden errechneten konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten der beiden Glasscheiben nicht so groß, dass der entgegenwirkende Effekt des strahlungsbedingten Wärmeübergangswiderstandes kompensiert wird und zugleich eine so große Differenz zwischen den Wärmeübergangswiderständen an den beiden Glasscheiben verursacht.

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass der geringe Wärmeübergangswiderstand  $R_{s2} = 0,035 \text{ m}^2\text{K/W}$  nur durch eine erzwungene Konvektion hervorgerufen werden kann. Diese kann durch eine stärkere Luftströmung entlang der Glasscheibe bedingt durch die über die Belüftungsöffnungen des Verbundraumes zugeführte Luft begründet werden.

### 5.2.2 Äquivalente Wärmeleitfähigkeit der Luftschicht im Verbundraum

Nach dem unter 5.1.1 beschriebenen Berechnungsverfahren ergeben sich für die Messserie A die in Abb. 57 dargestellten Wärmeleitfähigkeiten für den Luftraum im Verbundraum. Dabei sind die Daten wie folgt definiert:

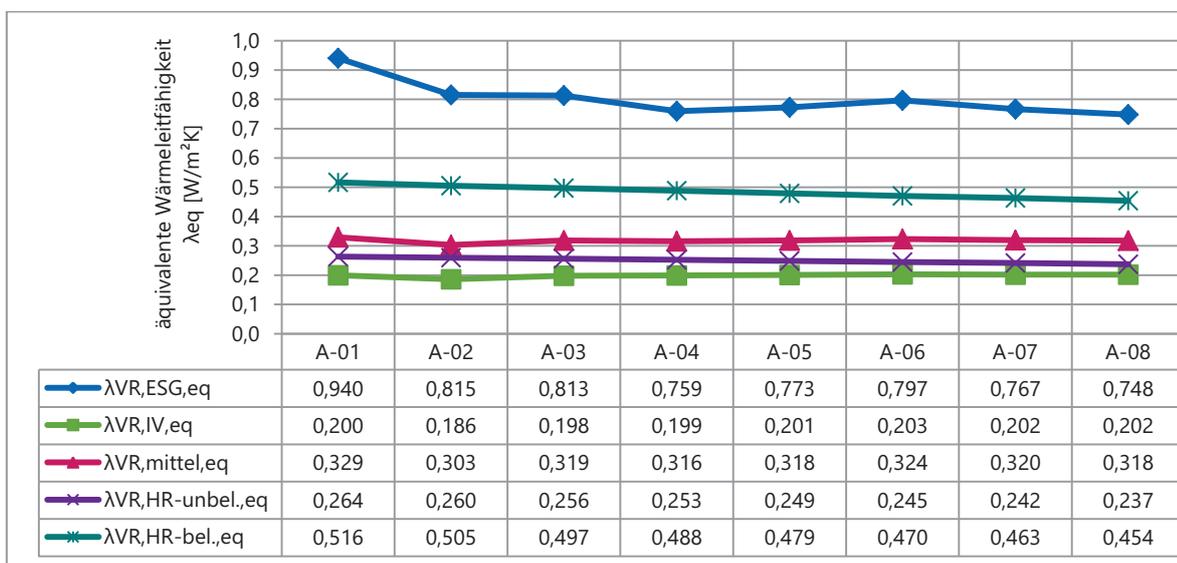


Abb. 57 Messserie A (F002) – äquivalente Wärmeleitfähigkeiten

$\lambda_{VR,ESG,eq}$  ... Äquivalente Wärmeleitfähigkeit errechnet mit den gemessenen Oberflächentemperaturen auf Basis der Einscheibensicherheitsverglasung

$\lambda_{VR,IV,eq}$  ... Äquivalente Wärmeleitfähigkeit errechnet mit den gemessenen Oberflächentemperaturen auf Basis der Isolierverglasung

$\lambda_{VR,mittel,eq}$  ... Äquivalente Wärmeleitfähigkeit errechnet aus dem gemittelten Wärmedurchlasswiderstand auf Basis der Einscheibensicherheitsverglasung und der Isolierverglasung.

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq}$  ... Äquivalente Wärmeleitfähigkeit errechnet nach der ÖNORM EN ISO 10077-2 [12] und definiert als unbelüfteter Hohlraum

$\lambda_{VR,HR-bel,eq}$  ... Äquivalente Wärmeleitfähigkeit errechnet nach der ÖNORM EN ISO 10077-2 [12] und definiert als schwach belüfteter Hohlraum

In Abb. 57 ist erkennbar, dass die höchste Wärmeleitfähigkeit mit den gemessenen Oberflächentemperaturen auf Basis der Einscheibenisolierverglasung erreicht wird. Mit einem großen Abstand zu dieser folgt die Kurve der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit mit der Berechnung nach [12] mit der Definition als schwach belüfteter Hohlraum. Die anderen drei Berechnungsvarianten liegen im unteren Bereich enger beieinander. Der ermittelte mittlere äquivalente Wärmeleitfähigkeit, hergeleitet aus den gemess-

senen Werten, liegt zwar etwas über den Werten nach [12] definiert als unbelüfteter Hohlraum, jedoch ist der Unterschied sehr gering. Demnach ist aus Sicht der der Wärmeverluste der Verbundraum eher als unbelüftet zu definieren.

### 5.2.3 Auswirkungen der Wärmeleitfähigkeiten auf die Oberflächentemperaturen

Die Auswirkungen der unterschiedlichen äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten auf die Berechnung der Oberflächentemperaturen ist für die Messung A-04 bei einer Außenlufttemperatur von ca.  $-10^{\circ}\text{C}$  im Vergleich zu den gemessenen Werten in Abb. 58 dargestellt. Die Ergebnisse der anderen Messungen verhalten sich qualitativ gleich und sind dem Anhang C zu entnehmen.

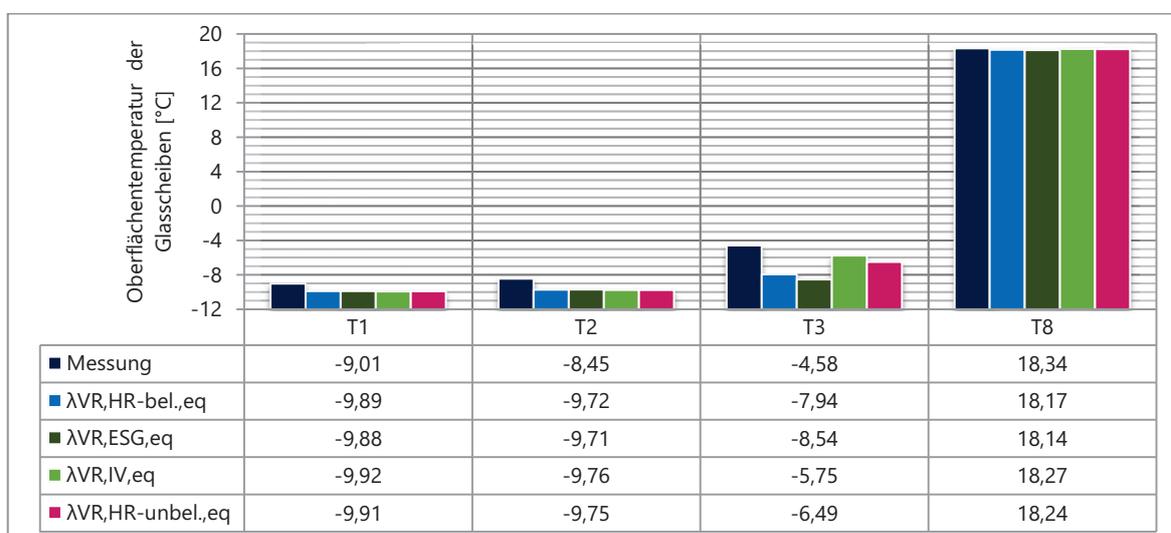


Abb. 58 A-04 (F002) – Vergleich der gemessenen und errechneten Oberflächentemperaturen

An den Glaspositionen 1 und 2 zeigen sich unabhängig von der angesetzten äquivalenten Wärmeleitfähigkeit etwa gleiche Differenzen zu den Messergebnissen. An der Position 1 liegen die errechneten Werte ca.  $0,90^{\circ}\text{C}$  tiefer als die gemessenen, mit ca.  $1,3^{\circ}\text{C}$  unterschreiten die berechneten Werte die Messung an der Glasposition 2. Betrachtet man die ermittelten Werten an diesen Positionen, kann man erkennen, dass mit zunehmender Wärmeleitfähigkeit die Differenz zum Messwert kleiner wird. Jedoch liegen diese Unterschiede im Bereich der zweiten Dezimalstelle. Daraus lässt sich schließen, dass die errechneten Oberflächentemperaturen an Position 1 und 2 in erster Linie von den vorgegebenen Außenbedingungen beeinflusst werden.

Der größte Unterschied zwischen den Berechnungsansätzen kann an der Glasposition 3 festgestellt werden. Dort zeigt sich, dass sich mit geringer werdender Wärmeleitfähigkeit die berechneten Oberflächentemperaturen dem Messergebnis annähern. Demnach ergibt sich die kleinste Differenz von  $1,2^{\circ}\text{C}$  zwischen Messung und Berechnung mit  $\lambda_{VR,IV,eq}$ . Der größte Unterschied ergibt sich mit knapp  $4^{\circ}\text{C}$  mit der höchsten errechneten äquivalenten Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{VR,ESG,eq}$ . Die Oberflächentemperatur an der Glasposition 8 wird mit den geringsten Differenzen zum Messwert am besten angenähert. Dabei zeigen sich zwischen den Ansätzen nur geringe Unterschiede, demnach ist der Einfluss des Verbund-

raumes auf die Oberflächentemperatur auf der Innenseite nicht von großer Bedeutung. Jedoch geht die Tendenz dahin, analog zur Glasposition 3, dass mit geringerer Wärmeleitfähigkeit der Luftschicht im Verbundraum die Oberflächentemperatur dem Messergebnis näher kommt.

Hinsichtlich der Untersuchung des Problems der Kondensatbildung an der Glasposition 2 zeigt sich, dass unabhängig vom Berechnungsansatz des Verbundraumes annähernd gleiche Oberflächentemperaturen erreicht werden. Da diese unter den gemessenen Werten liegen, würde eine rechnerische Untersuchung die Situation kritischer bewerten. Vor allem bei niedrigen Temperaturen spielt der Temperaturunterschiede wie jener der sich zwischen der Berechnung und Messung ergeben im Grenzfall eine wichtige Rolle. Wie sich zeigt, wird bei der Berechnung die Oberflächentemperatur kaum von den Kennwerten des Verbundraums beeinflusst. Demnach ist für die Modellierung zur rechnerischen Untersuchung des Kondensats an der Glasposition 2 vor allem die Wahl der außenseitigen Randbedingungen bestimmend.

#### 5.2.4 Vergleich der errechneten Widerstände mit dem Berechnungsprinzip

Geht man auf den Grundgedanken des unter 5.1 beschriebenen Berechnungsansatzes für mehrschichtige Bauteile wieder ein, dass die Wärmestromdichte in jeder Bauteilschicht gleich ist, ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Widerstand (vgl. Abb. 53). Betrachtet man das in Abb. 59 dargestellte Verhalten der Messung A-04 mit dem mittleren Wärmeübergangswiderstand der Luftschicht im Verbundraum entsprechend der Messergebnisse, zeigt sich ein Knick im Bereich des Verbundraumes. Es ist eine Linearität zwischen dem äußeren Wärmeübergangswiderstand und dem Wärmedurchlasswiderstand der Einscheibensicherheitsverglasung festzustellen sowie ein linearer Verlauf zwischen dem Wärmedurchlasswiderstand der Isolierverglasung und dem inneren Wärmeübergangswiderstand. Die Neigung im Bereich des Verbundraumes liegt jedoch zwischen diesen beiden Geraden. Demnach zeigt es sich, dass das Fenster dieser Gesetzgebung nicht folgt.

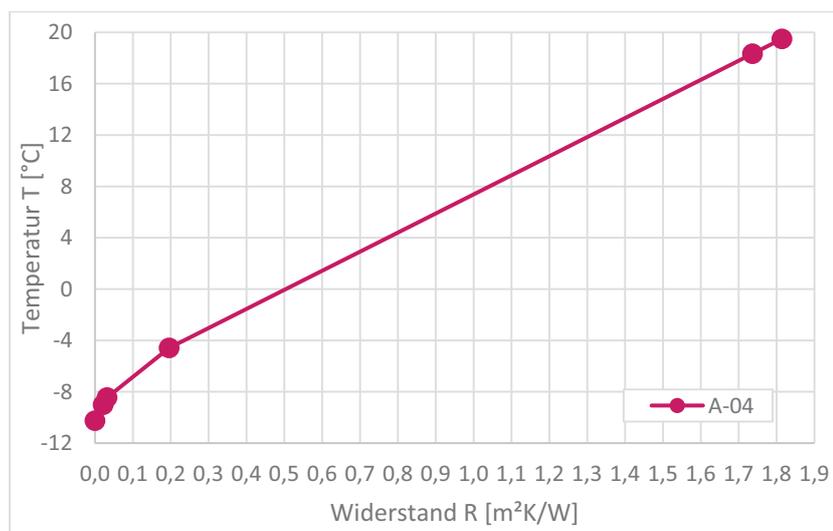


Abb. 59 A-04 (F002): Widerstand R in Abhängigkeit der Temperaturen mit der gemittelten äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechend der Messung

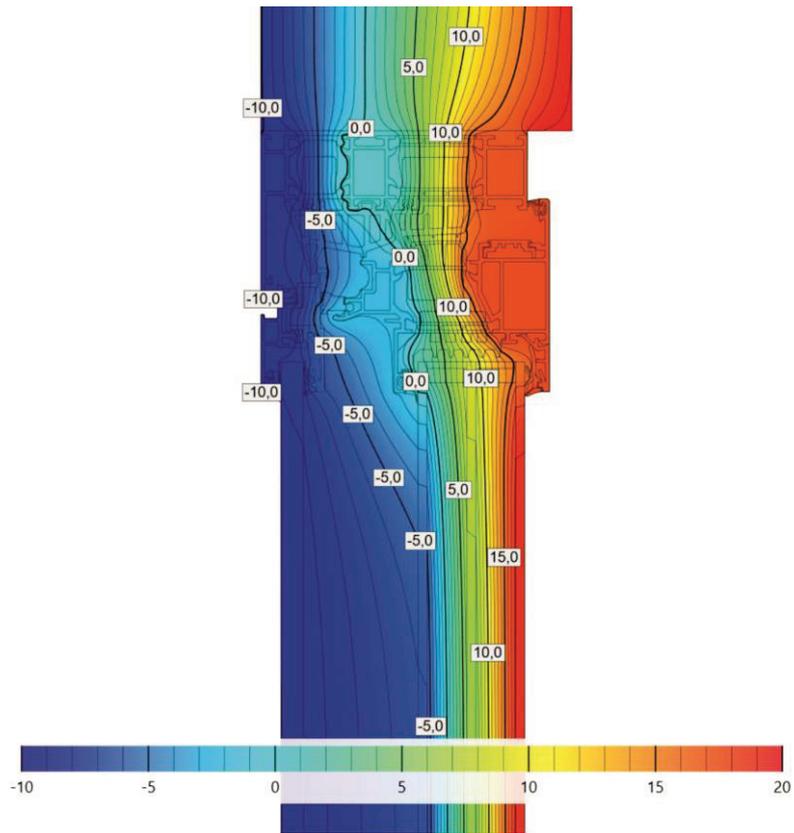
### 5.2.5 Berechnung des Temperaturverlaufes und des Wärmestroms

Nachfolgend sind die Darstellungen des Temperaturverlaufes und des Wärmestroms des Fensters im eingebauten Prüfzustand dargestellt. Zur Berechnung sind die Randbedingungen des Fensters F002 während der Messung A-04 angesetzt. Dabei liegt die Außenlufttemperatur bei  $-10,26^{\circ}\text{C}$  mit einem Wärmeübergangswiderstand von  $0,022\text{ m}^2\text{K/W}$ . Innenseitig ist die Lufttemperatur mit  $19,49^{\circ}\text{C}$  gegeben und der Wärmeübergangswiderstand mit  $0,078\text{ m}^2\text{K/W}$ . Die Luftschicht im Verbundraum ist als unbelüftet nach [12] definiert, wodurch sich eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit von  $0,25\text{ W/mK}$  ergibt. Die Materialeigenschaften und die weiteren Randbedingungen der Modellierung sind unter 2.3 und 5.1.2 zu finden.

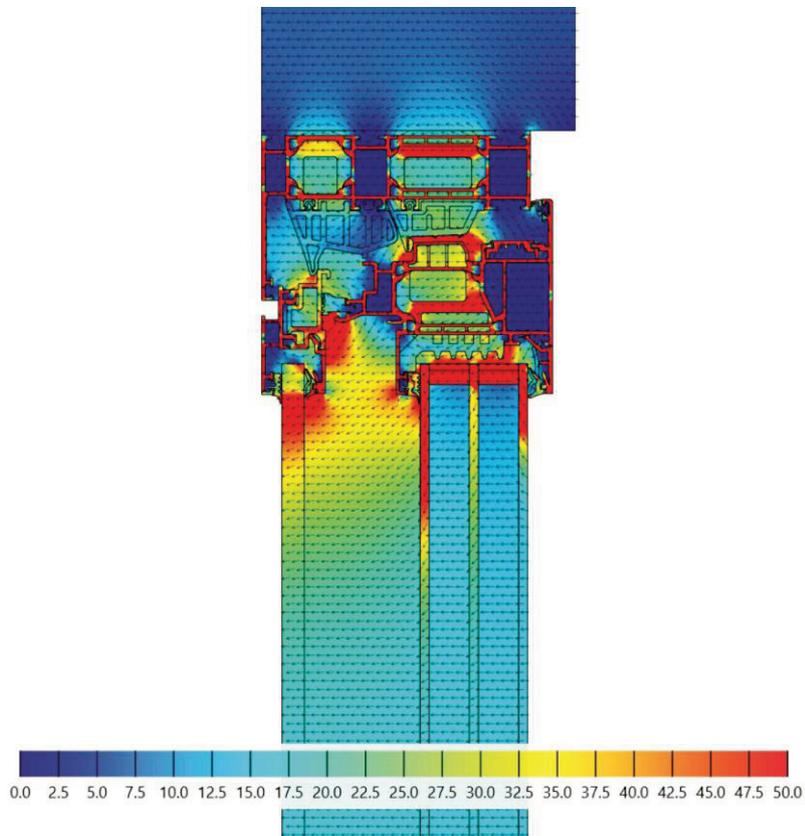
Der Isothermenverlauf zeigt eine hohe Dämmwirkung im Bereich des Stocks. Es zeigt sich, dass die  $0^{\circ}\text{C}$ -Isotherme in diesem Bereich sehr weit außen liegt. Sowohl beim Temperaturverlauf als auch in der Wärmestromansicht ist die dämmende Wirkung der Hohlräume, mit dem reduzierten Emissionsvermögen von  $\epsilon = 0,3$ , deutlich erkennbar. Dies zeigt sich auch durch die ermittelten äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten der drei betreffenden Hohlräume im Stock, die Werte zwischen  $0,030\text{ W/mK}$  und  $0,037\text{ W/mK}$  einnehmen. Ab der Mitteldichtung verschlechtert sich die Dämmwirkung und die  $0^{\circ}\text{C}$ -Isotherme zieht weiter nach innen. Beim Anschlag zwischen dem Haupt- und Verbundflügel zeigt sich erneut die Wirkung des niedrigen Emissionsvermögens des in dieser Höhe liegenden Hohlraumes. Dabei wird die  $-2^{\circ}\text{C}$ -Isotherme deutlich weiter nach Außen gerückt.

Im Bereich des Randverbundes ist der Einfluss des Abstandhalters und der damit verbunden höheren Wärmeverluste in diesem Bereich gut erkennbar. Dabei zieht sich der höhere Wärmestrom ziemlich weit in die Glasscheiben.

Im unteren Bereich der Verglasung zeigt sich eine konstante Wärmestromdichte vergleichbar mit dem unter 5.1.1 beschriebenen Grundsatz, dass die Wärmestromdichte in allen Bereichen eines mehrschichtigen Bauteils gleich ist. Gleichzeitig ist aus dem Verlauf der Isothermen, bedingt durch die eng beieinanderliegenden Isothermen im Bereich der Isolierverglasung, erkennbar, dass der Wärmeschutz in erster Linie von dieser Verglasung getragen wird. Durch die geringe Wirkung des Verbundraumes und der Einscheibensicherheitsverglasung wird die  $-5^{\circ}\text{C}$ -Isotherme sehr weit nach innen gezogen. Dabei ergibt sich in Glasmitte der Isolierverglasung an der Position 3 eine Oberflächentemperatur von  $-6,5^{\circ}\text{C}$ .



A-04 (F002): Temperaturverlauf



A-04 (F002): Wärmestrom

## 6 Fazit

An dieser Stelle soll eine Zusammenfassung der Erkenntnisse gegeben werden, mögliches Optimierungspotenzial dargelegt werden sowie ein Hinweis zum weiteren Forschungsbedarf aufgezeigt werden.

### 6.1 Zusammenfassung

Die Untersuchungen in dieser Arbeit zeigen, dass das Feuchteverhalten im Verbundraum der vorliegenden Verbundfensterkonstruktion sehr stark von den Randbedingungen abhängig ist. Dabei zählen die innen- und außen seitige Luftfeuchtigkeit, die Außenlufttemperatur, die Windverhältnisse und die Druckverhältnisse zu den wichtigsten Faktoren, welche die Erkenntnisse dieser Arbeit definieren. Jedoch sind diese Randbedingungen in der Regel durch die Natur sowie das Nutzerverhalten gegeben und können damit nicht vollständig kontrolliert werden.

Anhand der Untersuchungen mit aktiver und deaktivierter Klimaanlage der Außenseite kann gezeigt werden, dass bei entsprechender außenseitiger Luftströmung ein Luftaustausch zwischen der Luft im Verbundraum und der Außenluft stattfindet. Bei Windstille hingegen dieser Austausch unterbunden wird, wodurch die aus dem Innenraum zu geführte Luftfeuchte nicht abgeführt werden kann und sich in Form einer Kondensatbildung an der Verglasung äußert. Bei den Versuchen mit aktiver Klimakammer und einem innenseitigen Überdruck hat sich gezeigt, dass die Feuchte im Verbundraum zwar ansteigt, aber die Taupunkttemperatur nicht unterschritten wird.

Sowohl bei dieser Prüfkfiguration als auch bei jener der Messserie A ohne den künstlich erzeugten Überdruck und des sich dadurch einstellenden Unterdruckes kann eine höhere absolute Luftfeuchtigkeit im Verbundraum im Vergleich zum Außenklima festgestellt werden. Führt man sich dazu die Mechanismen des Strahlungsaustausches vor Augen, kann in der Natur bei klarem Nachthimmel, die äußere Glasscheibe deutlich niedrigere Werte der Oberflächentemperaturen, als bei den vorliegenden Prüfungen, erreichen. Vor allem bei niedrigen Temperaturen haben schon geringe Temperaturänderungen einen bedeutenden Einfluss auf die Differenz zwischen der Oberflächentemperatur und der Taupunkttemperatur. Somit kann es auch bei funktionierendem Luftaustausch, bei entsprechenden Strahlungsbedingungen, zu einer Kondensatbildung im Bereich des Verbundraumes kommen

Die Messungen mit unterschiedlichen Druckdifferenzen zwischen dem Innenraum und dem Verbundraum bzw. dem Innenraum und dem Außenbereich zeigen die Abhängigkeit dieser Randbedingung auf das Feuchteverhalten. Es kann festgestellt werden, dass mit höher werdendem Überdruck, die Zufuhr der feuchteren Innenluft in den Verbundraum gesteigert wird. Als dessen Folge ergibt sich, dass die Taupunkttemperatur früher erreicht wird. Es wird aber auch dargelegt, dass schon bei einem geringen Überdruck, in diesem Fall 2 Pa, ein deutlicher Feuchteanstieg stattfindet.

Mit den Messungen D-03 und D-04 kann gezeigt werden, dass der Weg von der inneren Glasanlage-  
dichtung und Glasleiste über den Rahmen des Hauptflügels und der Dampfdruckausgleichsöffnungen  
als Austrittspunkt, eine entscheidende Rolle für die Zufuhr der Feuchte in den Verbundraum einnimmt.  
Durch das Abdichten dieser Wege kann gezeigt werden, dass der Feuchteanstieg deutlich reduziert  
wird und bei der vorliegenden Prüfkongfiguration kein Kondensat auftritt.

Mit der Luftdurchlässigkeitsprüfung kann gezeigt werden, dass durch den Einsatz der dünneren inne-  
ren Glasanlagendichtung sowie dem Lösen der stärkeren Dichtung, welches das Verkürzen beim fehler-  
haften Einbau symbolisiert, der Luftdurchlass deutlich erhöht wird. Die Auswirkungen dieser Erhöhung  
des Luftdurchlasses auf den Feuchteanstieg, sind bei der Messung D-05 deutlich erkennbar. Lediglich  
bei dieser Messung steigt die Feuchte so stark an, dass es bereits im Zustand eines hohen Luftaustau-  
sches zwischen dem Verbundraum und dem Außenklima, sprich bei aktiver Außenklimaanlage, zu einer  
Kondensatbildung an der Glasscheibe (Position 2) kommt. Demnach wird das Risiko der Kondensatbil-  
dung im Bereich des Verbundraumes, durch diese zusätzliche Undichtheit signifikant erhöht.

Bedingt durch den geringen Wärmedurchgangskoeffizient der Dreischeibenisolierverglasung zeigt sich,  
dass der Vorsatz des Verbundflügels keine beträchtliche Verringerung des Wärmedurchgangskoeffi-  
zienten im Bereich der Verglasung mit sich bringt. Jedoch zeigt sich, dass durch die stärkere Rahmen-  
konstruktion eine deutliche Verbesserung dieses Bereiches stattfindet.

Bezüglich des thermischen Verhaltens des Verbundraumes kann gezeigt werden, dass dieser hinsicht-  
lich des Wärmestroms der gesamten Einheit als unbelüftet definiert werden kann. Detaillierter betrach-  
tet kann gezeigt werden, dass sich im Bereich der Isolierverglasung bei aktiver Außenklimaanlage, ein  
deutlich höherer Wärmübergangswiderstand einstellt, als an der Verbundverglasung. Daraus folgt,  
dass der Luftaustausch vorwiegend im Bereich der Verbundverglasung stattfindet und sich demnach  
ein geringerer Anteil des konvektiven Wärmeübergangswiderstandes ergibt.

Aus Sicht der Untersuchung der Oberflächentemperaturen an der Verbundverglasung kann gezeigt  
werden, dass die berechneten Oberflächentemperaturen an den Glaspositionen 1 und 2 primär von  
den angesetzten Außenklimabedingungen bestimmt werden. Dabei werden mit der angesetzten  
Modellierung geringere Temperaturen der Oberfläche als gemessen erreicht.

Wie anhand der Ergebnisse, sowohl bei der Luftdurchlässigkeitsprüfung als auch bei der Untersuchung  
in der Klimakammer, gezeigt werden kann, spielt die Verarbeitungsqualität des Rahmenprofils sowie  
der korrekte Einsatz der Dichtungen im Bereich der Verglasung eine wesentliche Rolle. Die Auswirkun-  
gen des fehlerhaften Einbaus der Dichtungen wurden an dieser Stelle bereits erwähnt. Es zeigt sich  
allerdings auch, dass Unterschiede zwischen den beiden Fenstern vorliegen. Bei der Luftdurchlässig-  
keitsprüfung gekennzeichnet durch einen höheren Luftdurchlass und bei der Untersuchung in der  
Klimakammer durch die geringeren Differenzen der Oberflächentemperatur zur Taupunkttemperatur.

---

## 6.2 Optimierungspotenzial

Der wichtigsten Faktoren zur Reduktion des Kondensatrisikos an der Verglasung im Bereich des Verbundraumes, ist die Reduktion der Feuchtezufuhr. Dabei ist einerseits wichtig den Feuchteeintrag in den Rahmen des Hauptflügels zu verringern. Dabei ist eine Dichtung im Bereich der inneren Glasleiste sinnvoll. Der Einsatz der dünneren Glasanlagedichtung, entsprechend der Verarbeitungsrichtlinien des Profilherstellers ist aus Sicht dieser Problematik in keinem Fall zu empfehlen. Andererseits würde eine Konstruktionsänderung des Rahmens, mit einer Verlagerung der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels direkt in den Außenbereich, ohne den Weg über den Verbundraum, einen weiteren großen Vorteil hinsichtlich der Reduktion der Feuchtezufuhr bieten.

Wie gezeigt wurde, verringert sich bei entsprechend geringen Strömungsverhältnissen außenseitig, der Luftaustausch zwischen dem Verbundraum und der Außenseite. Zur Steigerung des Luftaustausches könnten im Verbundraum angebrachte Ventilatoren den nötigen Antrieb bieten.

Eine weitere Möglichkeit ist die eine Steigerung der Oberflächentemperaturen an der Verbundverglasung. Der Einsatz einer beheizbaren Glasscheibe im Verbundflügel bietet eine Möglichkeit die Oberflächentemperatur zu steigern.

Dabei könnte die Stromzufuhr für die Beheizung oder den Antrieb eines Ventilators über Solarzellen erfolgen. Um den Strombedarf auch bei Nacht decken zu können, wäre der Einsatz eines Stromspeichers, beispielsweise eines Akkumulators, möglich.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Oberflächentemperatur kann durch den Einsatz einer Verglasung mit einem höheren Wärmedurchlass erreicht werden. Durch den höheren Wärmestrom ergeben sich folglich höhere Temperaturen im Verbundraum und somit auch an der Verglasung. Im Weiteren ergibt sich durch die höhere Oberflächentemperatur an der innen liegenden Verglasung eine höhere Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche der Isolierverglasung und der Luft im Verbundraum. Dadurch erhöht sich die Konvektion und der Antrieb für den Luftaustausch mit der Außenluft wird gesteigert. Jedoch ist ein höherer Wärmedurchlass nicht im Sinne der steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz.

Durch den Einsatz eines Trockenmittels, könnte die anfallende Feuchte aufgenommen werden und somit die relative Luftfeuchtigkeit im Verbundraum reduziert werden. Dabei ist es wichtig, dass das Mittel bei entsprechenden geringen Feuchteverhältnissen auch Feuchte wieder abgibt, um somit seine Speicherkapazität für Zeiten hoher Luftfeuchtigkeit wieder zur Verfügung zu stellen.

## 6.3 Forschungsbedarf

Diese Arbeit bietet grundlegende Erkenntnisse über das hygrothermische Verhalten dieser Verbundfensterkonstruktion und kann als Anhaltspunkt für eine Optimierung und eine weitere Analyse des vorliegenden Fensters dienen sowie für vergleichbare Fensterkonstruktionen.

Jedoch zeigt sich, dass ein wichtiger Faktor zur Analyse der Fragestellung die strahlungs- und strömungsbedingten Klimaeinflüsse sind. Eine gezielte Analyse diesbezüglich kann, bedingt durch die technischen Möglichkeiten zur künstlichen Simulation des Klimas in der Klimakammer, ist nur mit sehr hohem Aufwand möglich. Im Weiteren ergeben sich in der Natur durch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Klimafaktoren, spezifische Verhältnisse. Mit diesem Hintergrund würde eine Untersuchung dieser oder vergleichbarer Fensterkonstruktion, unter natürlichen Bedingungen, aufschlussreiche Informationen liefern.

Ein besonders interessanter Ansatzpunkt für eine detailliertere Betrachtung, insbesondere der konvektiven und strahlungsphysikalischen Vorgänge wäre eine CFD basierte Betrachtung der Vorgänge in solchen Konstruktionen. Die komplexe Geometrie zusammen mit den Randbedingungen führt hier jedoch rasch zu sehr aufwendigen Simulationsszenarien. Dennoch wird es zukünftig sinnvoll sein, diesen Weg im Sinne weitergehender Optimierungen solcher Systeme, zu beschreiten.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] ARBEITSKREIS DER DOZENTEN FÜR KLIMATECHNIK: *Lehrbuch der Klimatechnik*, 3. Aufl., Karlsruhe: Müller, 1980, ISBN 3-7880-7137-0.
- [2] BÖCKH, P., WETZEL, T.: *Wärmeübertragung, Grundlagen und Praxis*, 5., überarb. und erw. Aufl., Berlin: Springer Vieweg, 2014, ISBN 978-3-642-37731-0.
- [3] FOUAD, N.A., Hg.: *Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen*, 4., vollst. überarb. und aktual. Aufl. 2013, Wiesbaden, s.l.: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013, ISBN 978-3-8348-8215-8.
- [4] GAMERTIH, H., FERK, H.: *Skriptum: Fenster und Fenstertüren*, Graz: Technische Universität Graz, Institut für Hoch- und Industriebau, 2005.
- [5] HÄUPL, P., et al.: *Lehrbuch der Bauphysik, Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima*, 7., vollst. überarb. und aktual. Aufl. 2013, Wiesbaden: Springer, 2013, ISBN 978-3-8348-2101-0.
- [6] KAUTSCH, P.: *Vorlesungsunterlage Bauphysik 1, Wärmeschutz & Feuchteschutz*, Graz: Technische Universität Graz, Institut für Hochbau, 2012.
- [7] MALBERG, H.: *Meteorologie und Klimatologie, Eine Einführung*, Fünfte, erweiterte und aktualisierte Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, ISBN 3-540-37219-9.
- [8] ÖNORM EN 1026:2000-10-01, *Fenster und Türen, Luftdurchlässigkeit, Prüfverfahren*, Österreichisches Normungsinstitut.
- [9] ÖNORM EN ISO 6946:2008-04-01, *Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren*, Österreichisches Normungsinstitut.
- [10] ÖNORM EN ISO 10077-1:2010-05-15, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Anschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Allgemeines*, Österreichisches Normungsinstitut.
- [11] ÖNORM EN 673:2011-03-15, *Glas im Bauwesen - Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) - Berechnungsverfahren*, Österreichisches Normungsinstitut.
- [12] ÖNORM EN ISO 10077-2:2012-11-15, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Anschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen*, Österreichisches Normungsinstitut.
- [13] ÖNORM EN ISO 13788:2013-04-01, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren*, Österreichisches Normungsinstitut.
- [14] SCHILD, K., WILLEMS, W.M.: *Wärmeschutz, Grundlagen - Berechnung - Bewertung*, 2. Aufl. 2013, Wiesbaden, s.l.: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013, ISBN 978-3-658-02571-7.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Vertikalschnitt Fensterrahmen M 1:2 [mm]	6
Abb. 2	Hauptflügel Dampfdruckausgleichsöffnungen – Ansicht vom Verbundraum M1:10 [mm]; Detailauszüge und Detailschnitt M 1:2 [mm]	7
Abb. 3	Verbundflügel Ansicht von innen, oben, unten und seitlich M 1:10 [mm]; Detailauszüge und Detailschnitte M 1:2 [mm]	8
Abb. 4	Uf-Berechnung – Materialansicht (links) und Temperaturverlauf (rechts)	10
Abb. 5	Aufbau der 3-Scheiben-Isolierverglasung	12
Abb. 6	$\Psi$ -Berechnung: Wärmestrom	15
Abb. 7	Luftdurchlässigkeit – Messebenen der Luftgeschwindigkeit	17
Abb. 8	Luftdurchlässigkeitsprüfung, Vergleich der Messungen	18
Abb. 9	Darstellung der Luftgeschwindigkeit, Ansicht von innen: LDP-002-A (links), LDP-003-A (rechts) und LDP-003-F (rechts); Außen Bereich Flügelanschlag, Innen Bereich Glasleiste	19
Abb. 10	Darstellung der Luftgeschwindigkeit, Ansicht von innen: Die LDP-003-F; Außen Bereich Flügelanschlag, Innen Bereich Glasleiste	19
Abb. 11	Ventilator zur Erzeugung eines Überdruckes: Ansicht von Innen (links), Ansicht vom Gang (rechts)	21
Abb. 12	Doppelklimakammer, Einbau der Maske und der Prüffenster, Ansicht von Innen	22
Abb. 13	Klimaeinflüsse auf ein Bauwerk [5]	23
Abb. 14	Abschirmung des Ventilators innenseitig	24
Abb. 15	B-04 - Kondensatbildung am Hauptflügel (F003): Schließseitig oben (links), untere Kante schließseitig (rechts)	32
Abb. 16	B-04 - Kondensat am Verbundflügel außerhalb der Dichtebene: unterer Eckbereich schließseitig bei F002 (links) und unterer Eckbereich bandseitig beim F003 (Mitte); Kondensat bei unterer Dampfdruckausgleichsöffnung des Hauptflügels des Fensters F003 (rechts)	32
Abb. 17	B-04 - Kondensat im Bereich der Mitteldichtung: unterer Eckbereich schließseitig (F003) (links) und oberer Bereich schließseitig (F002) (rechts)	32
Abb. 18	C-01 (F002): Kondensatbildung an der Verglasungsinneseite (Position 8) im unteren Bereich	34
Abb. 19	C-03 F003 (links); C-02 F002 (rechts): Kondensat am Verbundflügel gegenüber der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels	35
Abb. 20	C-03 (F003): Kondenswasser im Bereich unterhalb der Dampfdruckausgleichsöffnungen des Hauptflügels	35
Abb. 21	D-01: Abdichtung der Dampfdruckausgleichsöffnungen (von links nach rechts): Öffnungen im unter Bereich des Flügels; Detailansicht; bandseitige Öffnung	36

---

Abb. 22	D-02 (F003): Kondensat Glasposition 2 ca. 20 Min nach Deaktivierung der Außenklimaanlage	37
Abb. 23	D-02 (F003): Kondensat Glasposition 2 – Ende der Messung von links nach rechts: Ansicht von vorne, von der Seite und von unten	38
Abb. 24	D-03 (F002): Ausgetretenes Kondenswasser aus der Dampfdruckausgleichsöffnung nach dem Lösen der Abdichtung	38
Abb. 25	D-04 (F003): Abklebung der innenseitigen Glasanlagedichtung und Glasleiste	39
Abb. 26	D-05 (F003): Innenseitigen Glasanlagedichtung um ca. 3 cm gelöst	40
Abb. 27	D-05: Vergleich der Kondensatbildung (Glasposition 2) der beiden Fenster F003 (links) und F002 (rechts)	40
Abb. 28	D-05 (F003): Kondensatbildung Glasposition 2	40
Abb. 29	D-06: F003 (links) Abklebung des Flügelanschlages und F002 (rechts) Originalzustand	41
Abb. 30	A-04 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	43
Abb. 31	A-04 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur	44
Abb. 32	A-04 (F002, F003): Detailauszüge der Messdaten im Verbundraum und im Außenbereich zu Beginn der Messung: abs. Luftfeuchte (oben), rel. Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	45
Abb. 33	A-04 (F002, F003): Detailauszug der Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der abs. Luftfeuchte und Druckdifferenz zum Zeitpunkt der Störung	45
Abb. 34	Messserie C (F002): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	46
Abb. 35	Messserie C (F002): Druckdifferenz, Oberflächentemperatur (Glasposition 2) und Taupunkttemperatur	48
Abb. 36	C-04 (F002, F003): Detailauszüge der Messdaten im Verbundraum und im Außenbereich zu Beginn der Messung: abs. Luftfeuchte und Druckdifferenz (links), rel. Luftfeuchte und Lufttemperatur (rechts)	49
Abb. 37	D-02 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	50
Abb. 38	D-02 (F002, F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur über die gesamte Messzeit (links) und zu Beginn des 2. Messzyklus (rechts)	51
Abb. 39	D-02 (F002, F003): abs. Feuchte der Außenluft und im Verbundraum sowie die Druckdifferenz (links) und die Lufttemperatur und die rel. Luftfeuchte der Außenluft und im Verbundraum (rechts), Detailauszug beim Start des ersten Messschrittes	51
Abb. 40	D-02 (links) und D-03 (rechts) – F002, F003: Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	53
Abb. 41	D-03 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur	54

---

---

Abb. 42	D-04 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	54
Abb. 43	D-04 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur	55
Abb. 44	D-05 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	56
Abb. 45	D-05 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur	56
Abb. 46	D-05 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	57
Abb. 47	D-06 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur	57
Abb. 48	D-07 – Konditionierungsphase (F002;F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und der Druckdifferenz zum Innenklima	58
Abb. 49	D-07 – Konditionierungsphase (F002;F003): Messdaten im Verbundraum (F002 und F003) und Außenbereich der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte	59
Abb. 50	D-05 (F002, F003): Messdaten im Verbundraum und Außenbereich der absolute Luftfeuchte und Druckdifferenz (oben), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (unter)	60
Abb. 51	D-07 (F002;F003): Verlauf der gemessenen Oberflächentemperatur an der Glasposition 2 und Taupunkttemperatur	61
Abb. 52	D-07 und D-06: Verlauf der Druckdifferenzen zwischen den Verbundräumen der beiden Fenster zum Innenraum und jener zwischen dem Außenraum zum Innenraum sowie die Lufttemperaturen in den Verbundräumen und dem Außenklima; Darstellung ist über 20 Minuten geglättet.	62
Abb. 53	Grafisches Verfahren zur Bestimmung der Temperaturverteilung in einem Bauteil [14]	66
Abb. 54	Thermische Untersuchung – Modell – Materialansicht	68
Abb. 55	Messserie A (F002) – Wärmeübergangswiderstände	69
Abb. 56	A-01 und A-01-VM (F002) – Wärmeübergangswiderstände im Vergleich	70
Abb. 57	Messserie A (F002) – äquivalente Wärmeleitfähigkeiten	72
Abb. 58	A-04 (F002) – Vergleich der gemessenen und errechneten Oberflächentemperaturen	73
Abb. 59	A-04 (F002): Widerstand R in Abhängigkeit der Temperaturen mit der gemittelten äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechend der Messung	74

## 9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Uf-Berechnung: Materialeigenschaften	11
Tab. 2	Uf-Berechnung: Randbedingungen	11
Tab. 3	U <sub>g</sub> -Berechnung: Materialeigenschaften der Dreischiebenisolierverglasung	13
Tab. 4	Abstandhalter – Kennwerte 2-Boxen-Modell	14
Tab. 5	Beschreibung der Messungen der Luftdurchlässigkeitsprüfung nach der ÖNORM EN 1026	16
Tab. 6	Beschreibung der Messdaten und der Sensorik	27
Tab. 7	Hergeleitete Größen aus den Messdaten	28
Tab. 8	Anmerkung zur Erfassung der Daten bei den einzelnen Messungen	28
Tab. 9	Eckdaten der Messserie A	29
Tab. 10	Eckdaten der Messserie B	31
Tab. 11	Eckdaten der Messserie C	33
Tab. 12	Übersicht Messserie D	36
Tab. 13	Beschreibung der Messphasen der Diagramme dargestellt in Abb. 52	63
Tab. 14	Thermische Untersuchung – Materialkennwerte	68



## Anhang A

### Ergebnisse der Luftdurchlässigkeitsuntersuchung

- A1: Prüfprotokolle der Luftdurchlässigkeitsprüfung
- A2: Numerische und graphische Darstellung der Luftgeschwindigkeit

### Beschreibung der einzelnen Messungen:

LDP-002-A Fenster F002 im Originalzustand

LDP-003-A Fenster F003 im Originalzustand

LDP-003-B Fenster F003 mit um ca. 3 cm gelöster innenseitiger unterer Glasanlagedichtung

LDP-003-C Fenster F003 im Originalzustand, 1. Justage

LDP-003-D Fenster F003 im Originalzustand, 2. Justage

LDP-003-E Fenster F003 mit um ca. 3 cm gelöster innenseitiger unterer Glasanlagedichtung

LDP-003-F Fenster F003 mit der dünneren innenseitigen Glasanlagedichtung gemäß der Verarbeitungsrichtlinie des Profilverstellers



## **Anhang A1**

Prüfprotokolle der Luftdurchlässigkeitsprüfung A1: Prüfprotokolle der Luftdurchlässigkeitsprüfung





Auswertung vor Windlast Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107a							
Prüfdatum: 16.04.2015							
Messung: LDP-003-A							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	1; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koeffizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	0,2	0,03	0,03	0,01	0,02	0,002
10	0,2	0,8	0,60	0,60	0,11	0,33	0,025
15	0,9	1,2	0,36	0,36	0,07	0,20	0,011
20	1,2	1,7	0,45	0,45	0,09	0,25	0,012
25	1,5	2,1	0,58	0,58	0,11	0,32	0,013
30	1,8	2,4	0,63	0,63	0,12	0,34	0,012
35	2,1	2,8	0,70	0,70	0,14	0,38	0,013
40	2,4	3,1	0,73	0,73	0,14	0,40	0,012
45	2,6	3,4	0,85	0,85	0,16	0,47	0,013
50	2,9	3,8	0,95	0,95	0,18	0,52	0,014
60	3,4	4,4	1,00	1,00	0,19	0,55	0,013
70	3,8	4,9	1,15	1,15	0,22	0,63	0,013
80	4,2	5,5	1,30	1,30	0,25	0,71	0,014
90	4,6	6,0	1,35	1,35	0,26	0,74	0,013
100	5,0	6,5	1,50	1,50	0,29	0,82	0,013
150	6,8	8,7	1,93	1,93	0,37	1,06	0,013
200	8,3	10,6	2,23	2,23	0,43	1,22	0,013
250	9,7	12,3	2,58	2,58	0,50	1,42	0,013
300	11,0	13,8	2,83	2,83	0,55	1,55	0,012
450	14,3	18,9	4,60	4,60	0,89	2,53	0,015
600	17,2	25,9	8,70	8,70	1,68	4,78	0,024
750	19,8	32,1	12,38	12,38	2,39	6,80	0,029
900	22,3	38,0	15,75	15,75	3,04	8,66	0,033
V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit					Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit					Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)		20,0			<b>a- Wert = 0,033</b>		
Luftdruck in Pascal		101.325			informativ		

**Tabelle 3.1 Luftdurchlässigkeit**

Prüfdruck-differenz	$V_{L,ref}$	$V_{F1}$
Pa	$m^3/(h.m)$	$m^3/(h.m^2)$
5	0,01	0,02
10	0,11	0,33
15	0,07	0,20
20	0,09	0,25
25	0,11	0,32
30	0,12	0,34
35	0,14	0,38
40	0,14	0,40
45	0,16	0,47
50	<b>0,18</b>	<b>0,52</b>
60	<b>0,19</b>	<b>0,55</b>
70	<b>0,22</b>	<b>0,63</b>
80	<b>0,25</b>	<b>0,71</b>
90	<b>0,26</b>	<b>0,74</b>
100	<b>0,29</b>	<b>0,82</b>
150	<b>0,37</b>	<b>1,06</b>
200	<b>0,43</b>	<b>1,22</b>
250	<b>0,50</b>	<b>1,42</b>
300	<b>0,55</b>	<b>1,55</b>
450	<b>0,89</b>	<b>2,53</b>
600	<b>1,68</b>	<b>4,78</b>
750	2,39	6,80
900	3,04	8,66

$V_{L,ref}$  = längenbezogene Luftdurchlässigkeit  
 $V_{F1}$  = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit

Lufttemperatur im Prüfraum 24°C

**WINDWIDERSTANDSFÄHIGKEIT**

**Positiver/Negativer Druck**

Schäden:

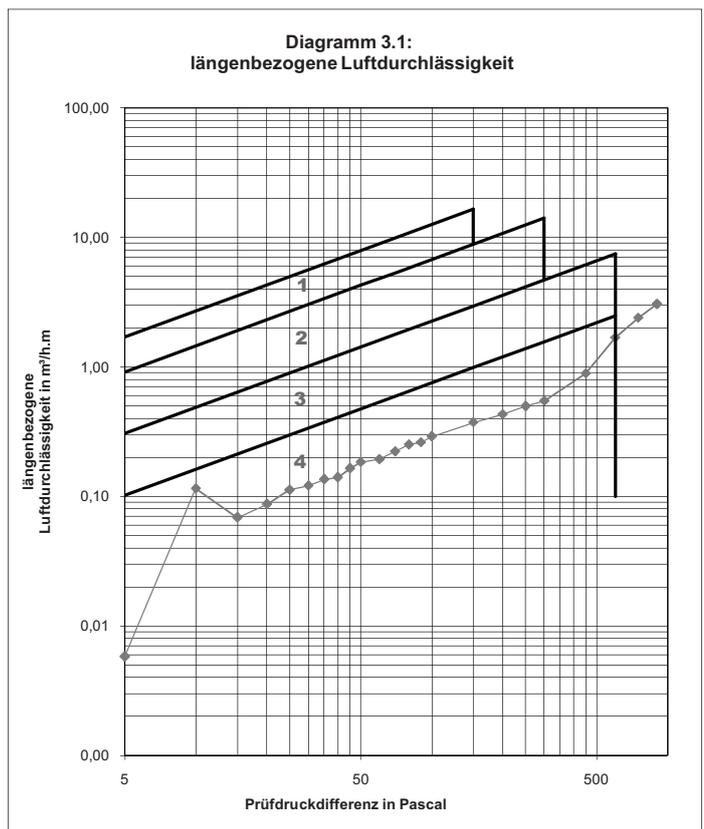
**Wiederholtem Druck**

Prüfdruck: Pa

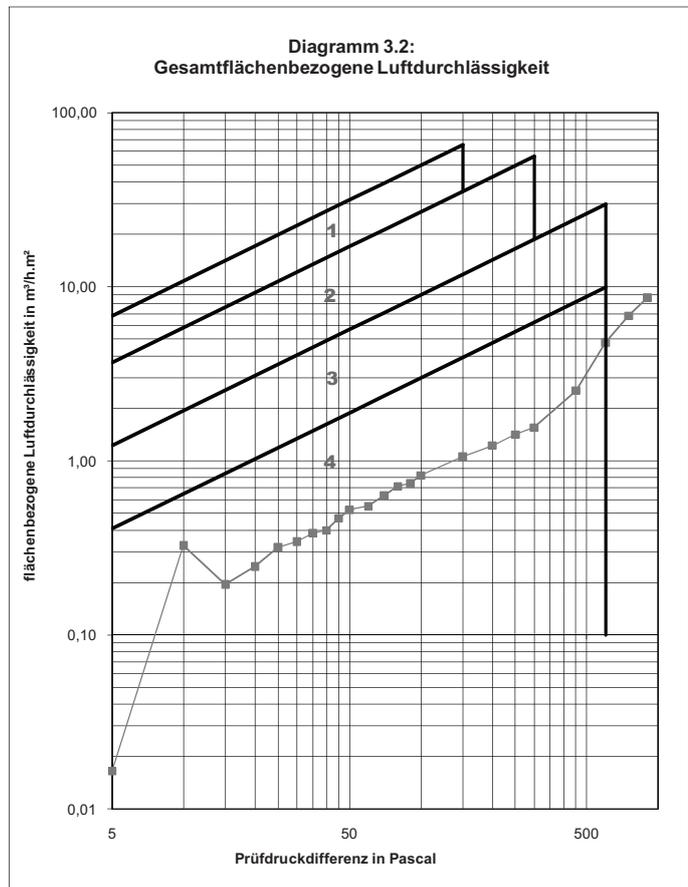
Schäden:

**Sicherheitsprüfung**

Schäden:



**Klasse = 4**





Auswertung vor Windlast							
Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107a							
Prüfdatum: 16.04.2015							
Messung: LDP-003-A							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	1; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koeffizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	0,2	0,03	0,03	0,01	0,02	0,002
10	0,2	0,8	0,60	0,60	0,11	0,33	0,025
15	0,9	1,2	0,36	0,36	0,07	0,20	0,011
20	1,2	1,7	0,45	0,45	0,09	0,25	0,012
25	1,5	2,1	0,58	0,58	0,11	0,32	0,013
30	1,8	2,4	0,63	0,63	0,12	0,34	0,012
35	2,1	2,8	0,70	0,70	0,14	0,38	0,013
40	2,4	3,1	0,73	0,73	0,14	0,40	0,012
45	2,6	3,4	0,85	0,85	0,16	0,47	0,013
50	2,9	3,8	0,95	0,95	0,18	0,52	0,014
60	3,4	4,4	1,00	1,00	0,19	0,55	0,013
70	3,8	4,9	1,15	1,15	0,22	0,63	0,013
80	4,2	5,5	1,30	1,30	0,25	0,71	0,014
90	4,6	6,0	1,35	1,35	0,26	0,74	0,013
100	5,0	6,5	1,50	1,50	0,29	0,82	0,013
150	6,8	8,7	1,93	1,93	0,37	1,06	0,013
200	8,3	10,6	2,23	2,23	0,43	1,22	0,013
250	9,7	12,3	2,58	2,58	0,50	1,42	0,013
300	11,0	13,8	2,83	2,83	0,55	1,55	0,012
450	14,3	18,9	4,60	4,60	0,89	2,53	0,015
600	17,2	25,9	8,70	8,70	1,68	4,78	0,024
750	19,8	32,1	12,38	12,38	2,39	6,80	0,029
900	22,3	38,0	15,75	15,75	3,04	8,66	0,033
V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit					Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit					Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)		20,0			<b>a- Wert = 0,033</b>		
Luftdruck in Pascal		101.325			informativ		

**Tabelle 3.1 Luftdurchlässigkeit**

Prüfdruck- differenz	$V_{L,ref}$	$V_{F1}$
Pa	$m^3/(h.m)$	$m^3/(h.m^2)$
5	0,01	0,02
10	0,11	0,33
15	0,07	0,20
20	0,09	0,25
25	0,11	0,32
30	0,12	0,34
35	0,14	0,38
40	0,14	0,40
45	0,16	0,47
50	<b>0,18</b>	<b>0,52</b>
60	<b>0,19</b>	<b>0,55</b>
70	<b>0,22</b>	<b>0,63</b>
80	<b>0,25</b>	<b>0,71</b>
90	<b>0,26</b>	<b>0,74</b>
100	<b>0,29</b>	<b>0,82</b>
150	<b>0,37</b>	<b>1,06</b>
200	<b>0,43</b>	<b>1,22</b>
250	<b>0,50</b>	<b>1,42</b>
300	<b>0,55</b>	<b>1,55</b>
450	<b>0,89</b>	<b>2,53</b>
600	<b>1,68</b>	<b>4,78</b>
750	2,39	6,80
900	3,04	8,66

$V_{L,ref}$  = längenbezogene Luftdurchlässigkeit  
 $V_{F1}$  = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit

--

Lufttemperatur im Prüfraum	24°C
----------------------------	------

<b>WINDWIDERSTANDSFÄHIGKEIT</b>	
---------------------------------	--

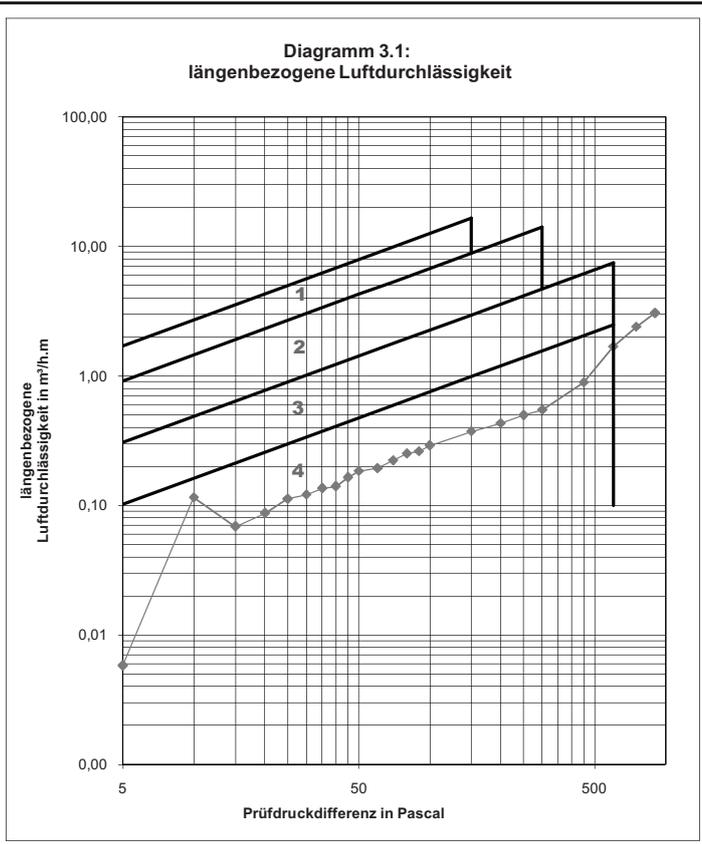
<b>Positiver/Negativer Druck</b>	
----------------------------------	--

Schäden:	
----------	--

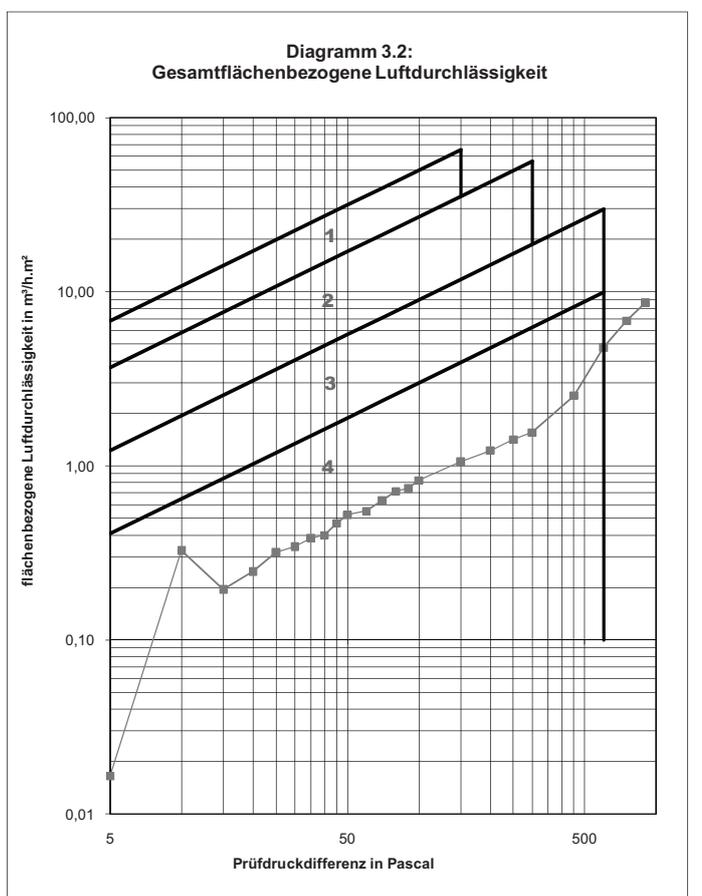
<b>Wiederholtem Druck</b>	
Prüfdruck:	Pa

Schäden:	
----------	--

<b>Sicherheitsprüfung</b>	
Schäden:	



**Klasse = 4**





Auswertung vor Windlast							
Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107b							
Prüfdatum: 16.04.2015							
Messung: LDP-003-B							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	I; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koeffizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	1,3	1,10	1,10	0,21	0,60	0,072
10	0,6	2,5	1,90	1,90	0,37	1,04	0,079
15	1,0	3,6	2,68	2,68	0,52	1,47	0,085
20	1,2	4,5	3,28	3,28	0,63	1,80	0,086
25	1,5	5,3	3,80	3,80	0,73	2,09	0,086
30	1,7	6,0	4,33	4,33	0,83	2,38	0,086
35	1,9	6,6	4,75	4,75	0,92	2,61	0,086
40	2,1	7,2	5,13	5,13	0,99	2,82	0,085
45	2,3	7,8	5,58	5,58	1,08	3,07	0,085
50	2,4	8,4	5,95	5,95	1,15	3,27	0,085
60	2,7	9,4	6,70	6,70	1,29	3,68	0,084
70	3,0	10,4	7,48	7,48	1,44	4,11	0,085
80	3,2	11,6	8,40	8,40	1,62	4,62	0,087
90	3,4	12,3	8,88	8,88	1,71	4,88	0,085
100	3,6	13,1	9,53	9,53	1,84	5,24	0,085
150	4,5	16,9	12,38	12,38	2,39	6,80	0,085
200	5,3	20,4	15,10	15,10	2,92	8,30	0,085
250	6,0	23,5	17,55	17,55	3,39	9,65	0,085
300	6,6	26,4	19,83	19,83	3,83	10,90	0,085
450	8,2	34,3	26,13	26,13	5,04	14,36	0,086
600	9,5	41,3	31,83	31,83	6,14	17,50	0,086
750	10,6	47,5	36,98	36,98	7,14	20,33	0,086
900	11,6	53,5	41,90	41,90	8,09	23,04	0,087
V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit					Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit					Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)		20,0			<b>a- Wert = 0,087</b>		
Luftdruck in Pascal		101.325			informativ		

**Tabelle 3.1 Luftdurchlässigkeit**

Prüfdruck- differenz	$V_{L,ref}$	$V_{F1}$
Pa	$m^3/(h.m)$	$m^3/(h.m^2)$
5	0,21	0,60
10	0,37	1,04
15	0,52	1,47
20	0,63	1,80
25	0,73	2,09
30	0,83	2,38
35	0,92	2,61
40	0,99	2,82
45	1,08	3,07
50	<b>1,15</b>	<b>3,27</b>
60	<b>1,29</b>	<b>3,68</b>
70	<b>1,44</b>	<b>4,11</b>
80	<b>1,62</b>	<b>4,62</b>
90	<b>1,71</b>	<b>4,88</b>
100	<b>1,84</b>	<b>5,24</b>
150	<b>2,39</b>	<b>6,80</b>
200	<b>2,92</b>	<b>8,30</b>
250	<b>3,39</b>	<b>9,65</b>
300	<b>3,83</b>	<b>10,90</b>
450	<b>5,04</b>	<b>14,36</b>
600	<b>6,14</b>	<b>17,50</b>
750	7,14	20,33
900	8,09	23,04

$V_{L,ref}$  = längenbezogene Luftdurchlässigkeit  
 $V_{F1}$  = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit

Lufttemperatur im Prüfraum 24°C

**WINDWIDERSTANDSFÄHIGKEIT**

**Positiver/Negativer Druck**

Schäden:

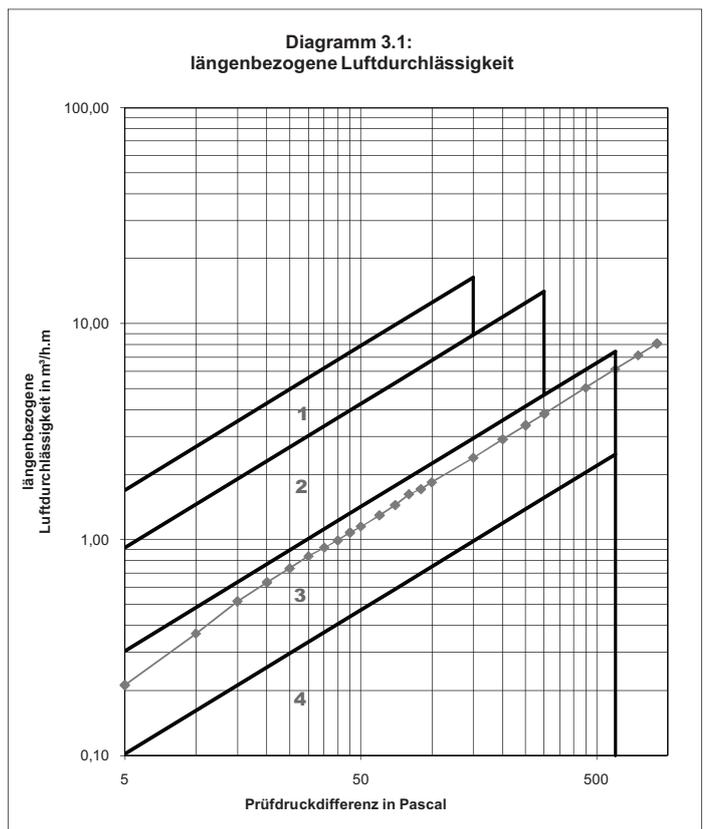
**Wiederholtem Druck**

Prüfdruck: Pa

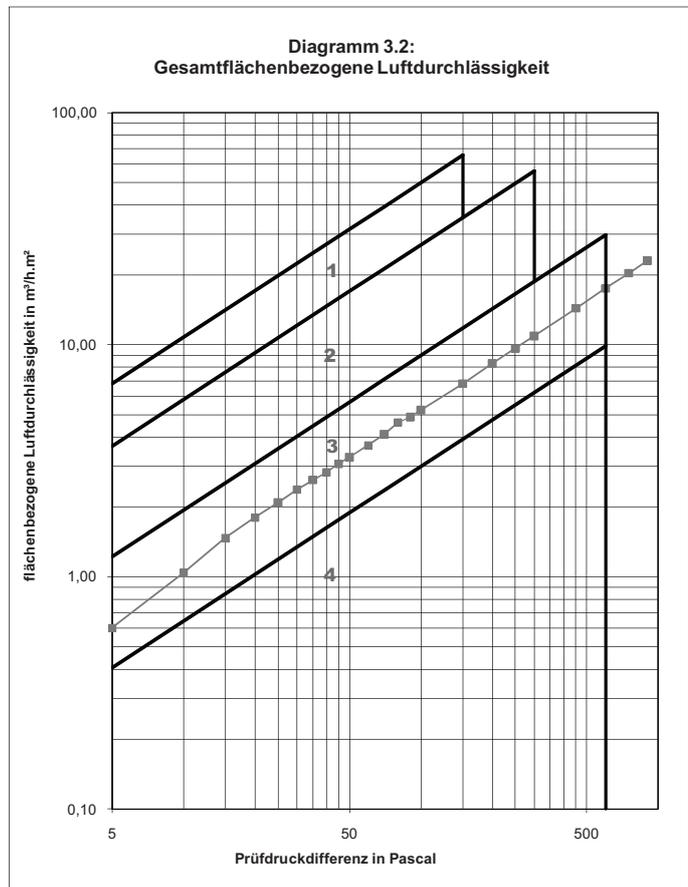
Schäden:

**Sicherheitsprüfung**

Schäden:



**Klasse = 3**





Auswertung vor Windlast							
Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107c							
Prüfdatum: 17.04.2015							
Messung: LDP-003-C							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	I; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koeffizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	0,8	0,66	0,66	0,13	0,36	0,044
10	0,6	1,6	1,00	1,00	0,19	0,55	0,041
15	1,0	2,3	1,35	1,35	0,26	0,74	0,043
20	1,2	2,9	1,70	1,70	0,33	0,93	0,045
25	1,5	3,5	2,00	2,00	0,39	1,10	0,045
30	1,7	4,0	2,33	2,33	0,45	1,28	0,046
35	1,9	4,4	2,55	2,55	0,49	1,40	0,046
40	2,1	4,9	2,85	2,85	0,55	1,57	0,047
45	2,3	5,3	3,05	3,05	0,59	1,68	0,047
50	2,4	5,7	3,30	3,30	0,64	1,81	0,047
60	2,7	6,4	3,73	3,73	0,72	2,05	0,047
70	3,0	7,2	4,28	4,28	0,83	2,35	0,049
80	3,2	7,9	4,70	4,70	0,91	2,58	0,049
90	3,4	8,6	5,20	5,20	1,00	2,86	0,050
100	3,6	9,2	5,60	5,60	1,08	3,08	0,050
150	4,5	12,2	7,68	7,68	1,48	4,22	0,052
200	5,3	14,9	9,60	9,60	1,85	5,28	0,054
250	6,0	17,2	11,25	11,25	2,17	6,18	0,055
300	6,6	19,4	12,88	12,88	2,49	7,08	0,055
450	8,2	26,4	18,28	18,28	3,53	10,05	0,060
600	9,5	32,2	22,70	22,70	4,38	12,48	0,062
750	10,6	37,2	26,63	26,63	5,14	14,64	0,062
900	11,6	42,2	30,60	30,60	5,91	16,82	0,063
0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	

V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit	Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit	Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)	20,0	<b>a- Wert = 0,063</b>	
Luftdruck in Pascal	101.325		
informativ			

**Tabelle 3.1 Luftdurchlässigkeit**

Prüfdruck- differenz	$V_{L,ref}$	$V_{F1}$
Pa	$m^3/(h.m)$	$m^3/(h.m^2)$
5	0,13	0,36
10	0,19	0,55
15	0,26	0,74
20	0,33	0,93
25	0,39	1,10
30	0,45	1,28
35	0,49	1,40
40	0,55	1,57
45	0,59	1,68
50	<b>0,64</b>	<b>1,81</b>
60	<b>0,72</b>	<b>2,05</b>
70	<b>0,83</b>	<b>2,35</b>
80	<b>0,91</b>	<b>2,58</b>
90	<b>1,00</b>	<b>2,86</b>
100	<b>1,08</b>	<b>3,08</b>
150	<b>1,48</b>	<b>4,22</b>
200	<b>1,85</b>	<b>5,28</b>
250	<b>2,17</b>	<b>6,18</b>
300	<b>2,49</b>	<b>7,08</b>
450	<b>3,53</b>	<b>10,05</b>
600	<b>4,38</b>	<b>12,48</b>
750	5,14	14,64
900	5,91	16,82
0		
0		

$V_{L,ref}$  = längenbezogene Luftdurchlässigkeit  
 $V_{F1}$  = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit

Lufttemperatur im Prüfraum 24°C

**WINDWIDERSTANDSFÄHIGKEIT**

**Positiver/Negativer Druck**

Schäden:

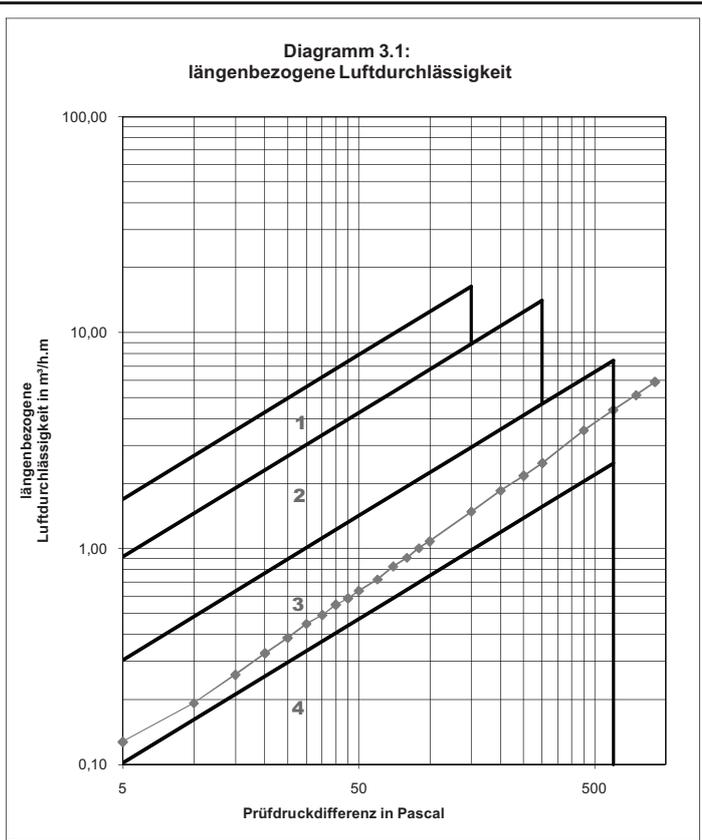
**Wiederholtem Druck**

Prüfdruck: Pa

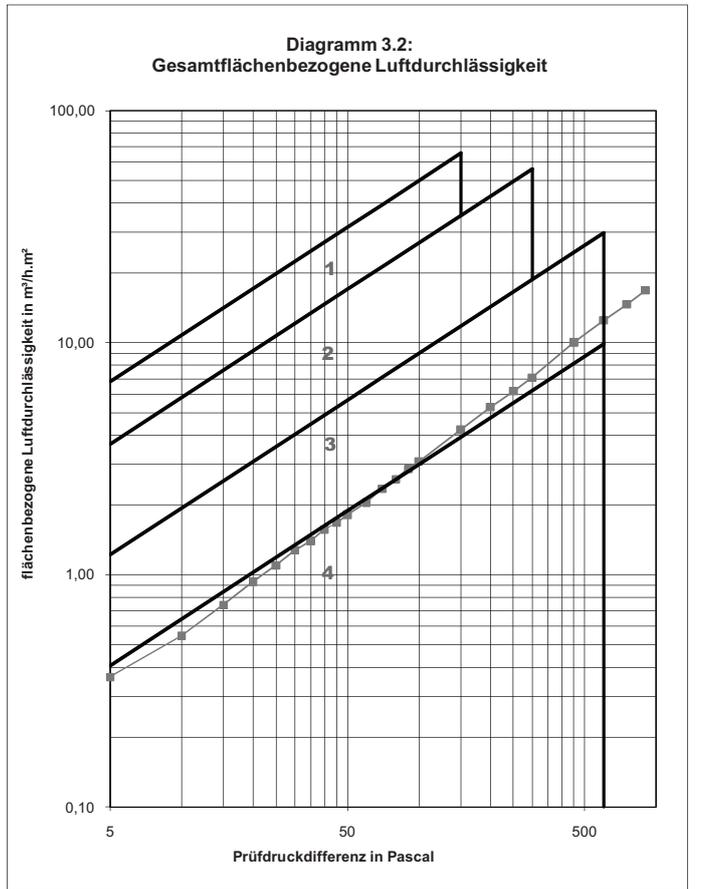
Schäden:

**Sicherheitsprüfung**

Schäden:



**Klasse = 3**





Auswertung vor Windlast							
Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107d							
Prüfdatum: 21.04.2015							
Messung: LDP-F003-D							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	1; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koeffizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
10	0,7	1,2	0,47	0,47	0,09	0,26	0,020
15	1,1	1,8	0,68	0,68	0,13	0,37	0,021
20	1,4	2,3	0,88	0,88	0,17	0,48	0,023
25	1,7	2,7	1,05	1,05	0,20	0,58	0,024
30	1,9	3,1	1,20	1,20	0,23	0,66	0,024
35	2,2	3,5	1,33	1,33	0,26	0,73	0,024
40	2,5	3,9	1,40	1,40	0,27	0,77	0,023
45	2,7	4,1	1,45	1,45	0,28	0,80	0,022
50	2,8	4,5	1,68	1,68	0,32	0,92	0,024
60	3,2	5,0	1,88	1,88	0,36	1,03	0,024
70	3,5	5,6	2,05	2,05	0,40	1,13	0,023
80	3,8	6,0	2,20	2,20	0,42	1,21	0,023
90	4,0	6,4	2,43	2,43	0,47	1,33	0,023
100	4,2	6,8	2,55	2,55	0,49	1,40	0,023
150	5,1	8,5	3,35	3,35	0,65	1,84	0,023
200	5,7	9,8	4,10	4,10	0,79	2,25	0,023
250	6,3	11,0	4,75	4,75	0,92	2,61	0,023
300	6,9	12,2	5,35	5,35	1,03	2,94	0,023
450	8,6	15,3	6,75	6,75	1,30	3,71	0,022
600	10,0	18,1	8,05	8,05	1,55	4,43	0,022
750	11,3	20,5	9,23	9,23	1,78	5,07	0,022
900	12,6	22,8	10,20	10,20	1,97	5,61	0,021
V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit					Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit					Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)		20,0			<b>a- Wert = 0,024</b>		
Luftdruck in Pascal		101.325			informativ		





Auswertung vor Windlast							
Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107e							
Prüfdatum: 22.04.2015							
Messung: LDP-F003-E							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	I; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koefizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	0,9	0,72	0,72	0,14	0,40	0,048
10	0,7	1,7	1,00	1,00	0,19	0,55	0,041
15	1,1	2,5	1,40	1,40	0,27	0,77	0,044
20	1,4	3,1	1,70	1,70	0,33	0,93	0,045
25	1,7	3,6	1,95	1,95	0,38	1,07	0,044
30	1,9	4,2	2,23	2,23	0,43	1,22	0,044
35	2,2	4,6	2,43	2,43	0,47	1,33	0,044
40	2,5	5,1	2,63	2,63	0,51	1,44	0,043
45	2,7	5,5	2,85	2,85	0,55	1,57	0,043
50	2,8	5,9	3,08	3,08	0,59	1,69	0,044
60	3,2	6,5	3,35	3,35	0,65	1,84	0,042
70	3,5	7,2	3,73	3,73	0,72	2,05	0,042
80	3,8	7,7	3,93	3,93	0,76	2,16	0,041
90	4,0	8,3	4,33	4,33	0,83	2,38	0,042
100	4,2	8,8	4,58	4,58	0,88	2,52	0,041
150	5,1	10,9	5,75	5,75	1,11	3,16	0,039
200	5,7	12,5	6,80	6,80	1,31	3,74	0,038
250	6,3	14,0	7,75	7,75	1,50	4,26	0,038
300	6,9	15,6	8,75	8,75	1,69	4,81	0,038
450	8,6	19,2	10,65	10,65	2,06	5,86	0,035
600	10,0	22,5	12,53	12,53	2,42	6,89	0,034
750	11,3	25,4	14,18	14,18	2,74	7,79	0,033
900	12,6	28,2	15,60	15,60	3,01	8,58	0,032
V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit					Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit					Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)		20,0			<b>a- Wert = 0,048</b>		
Luftdruck in Pascal		101.325			informativ		

**Tabelle 3.1 Luftdurchlässigkeit**

Prüfdruck- differenz	$V_{L,ref}$	$V_{F1}$
Pa	$m^3/(h.m)$	$m^3/(h.m^2)$
5	0,14	0,40
10	0,19	0,55
15	0,27	0,77
20	0,33	0,93
25	0,38	1,07
30	0,43	1,22
35	0,47	1,33
40	0,51	1,44
45	0,55	1,57
50	<b>0,59</b>	<b>1,69</b>
60	<b>0,65</b>	<b>1,84</b>
70	<b>0,72</b>	<b>2,05</b>
80	<b>0,76</b>	<b>2,16</b>
90	<b>0,83</b>	<b>2,38</b>
100	<b>0,88</b>	<b>2,52</b>
150	<b>1,11</b>	<b>3,16</b>
200	<b>1,31</b>	<b>3,74</b>
250	<b>1,50</b>	<b>4,26</b>
300	<b>1,69</b>	<b>4,81</b>
450	<b>2,06</b>	<b>5,86</b>
600	<b>2,42</b>	<b>6,89</b>
750	2,74	7,79
900	3,01	8,58

$V_{L,ref}$  = längenbezogene Luftdurchlässigkeit  
 $V_{F1}$  = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit

Lufttemperatur im Prüfraum 24°C

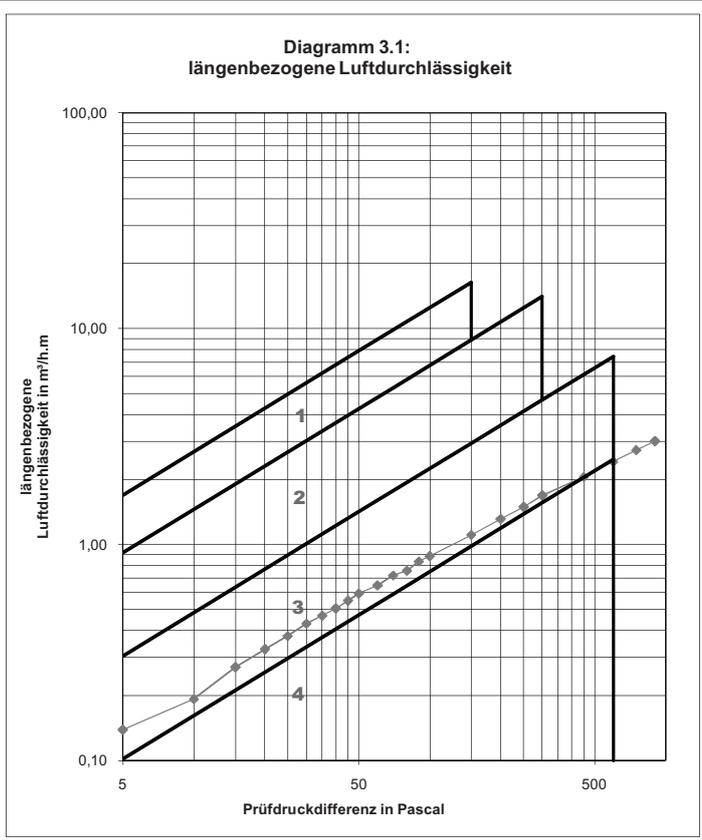
**WINDWIDERSTANDSFÄHIGKEIT**

**Positiver/Negativer Druck**

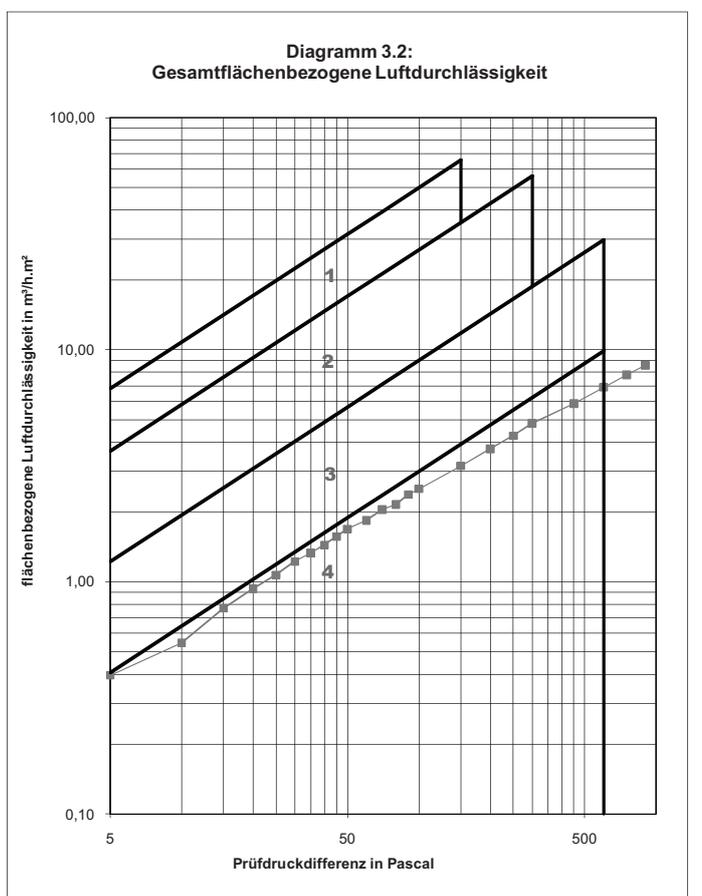
Schäden:  
**Wiederholtem Druck**  
 Prüfdruck: Pa

Schäden:

**Sicherheitsprüfung**  
 Schäden:



**Klasse = 3**





Auswertung vor Windlast							
Luftdurchlässigkeit gem. ÖNORM EN 1026 und 12207							
Projektnummer: B14.569.003.107f							
Prüfdatum: 23.04.2015							
Messung: LDP-F003-F							
Prüfdruck-	O; V <sub>m</sub>	I; V <sub>o</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>0ref</sub>	V <sub>L,ref</sub>	V <sub>F1</sub>	Luftdurchlass-
differenz	Folie	o. Folie	Differenz	Differenz			koefizient a in
Pa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h.m	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /(h.m.Pa <sup>(2/3)</sup> )
5	0,2	0,4	0,22	0,22	0,04	0,12	0,015
10	0,7	1,5	0,80	0,80	0,15	0,44	0,033
15	1,1	2,2	1,15	1,15	0,22	0,63	0,036
20	1,4	2,8	1,40	1,40	0,27	0,77	0,037
25	1,7	3,3	1,65	1,65	0,32	0,91	0,037
30	1,9	3,9	1,95	1,95	0,38	1,07	0,039
35	2,2	4,3	2,10	2,10	0,41	1,15	0,038
40	2,5	4,7	2,28	2,28	0,44	1,25	0,038
45	2,7	5,1	2,48	2,48	0,48	1,36	0,038
50	2,8	5,5	2,68	2,68	0,52	1,47	0,038
60	3,2	6,2	3,03	3,03	0,58	1,66	0,038
70	3,5	6,8	3,33	3,33	0,64	1,83	0,038
80	3,8	7,4	3,60	3,60	0,69	1,98	0,037
90	4,0	7,9	3,93	3,93	0,76	2,16	0,038
100	4,2	8,4	4,20	4,20	0,81	2,31	0,038
150	5,1	10,7	5,58	5,58	1,08	3,07	0,038
200	5,7	12,6	6,93	6,93	1,34	3,81	0,039
250	6,3	14,5	8,20	8,20	1,58	4,51	0,040
300	6,9	16,3	9,40	9,40	1,81	5,17	0,040
450	8,6	21,6	13,03	13,03	2,51	7,16	0,043
600	10,0	26,5	16,45	16,45	3,18	9,04	0,045
750	11,3	29,5	18,20	18,20	3,51	10,01	0,043
900	12,6	33,6	21,00	21,00	4,05	11,55	0,043
V <sub>L,ref</sub> = längenbezogene Luftdurchlässigkeit					Fugenlänge	5,18	m
V <sub>F2</sub> = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit					Fensterfläche	1,82	m <sup>2</sup>
Lufttemperatur (°C)		20,0			<b>a- Wert = 0,045</b>		
Luftdruck in Pascal		101.325			informativ		

**Tabelle 3.1 Luftdurchlässigkeit**

Prüfdruckdifferenz	$V_{L,ref}$	$V_{F1}$
Pa	$m^3/(h.m)$	$m^3/(h.m^2)$
5	0,04	0,12
10	0,15	0,44
15	0,22	0,63
20	0,27	0,77
25	0,32	0,91
30	0,38	1,07
35	0,41	1,15
40	0,44	1,25
45	0,48	1,36
50	<b>0,52</b>	<b>1,47</b>
60	<b>0,58</b>	<b>1,66</b>
70	<b>0,64</b>	<b>1,83</b>
80	<b>0,69</b>	<b>1,98</b>
90	<b>0,76</b>	<b>2,16</b>
100	<b>0,81</b>	<b>2,31</b>
150	<b>1,08</b>	<b>3,07</b>
200	<b>1,34</b>	<b>3,81</b>
250	<b>1,58</b>	<b>4,51</b>
300	<b>1,81</b>	<b>5,17</b>
450	<b>2,51</b>	<b>7,16</b>
600	<b>3,18</b>	<b>9,04</b>
750	3,51	10,01
900	4,05	11,55

$V_{L,ref}$  = längenbezogene Luftdurchlässigkeit  
 $V_{F1}$  = Gesamtflächenbez. Luftdurchlässigkeit

Lufttemperatur im Prüfraum 24°C

**WINDWIDERSTANDSFÄHIGKEIT**

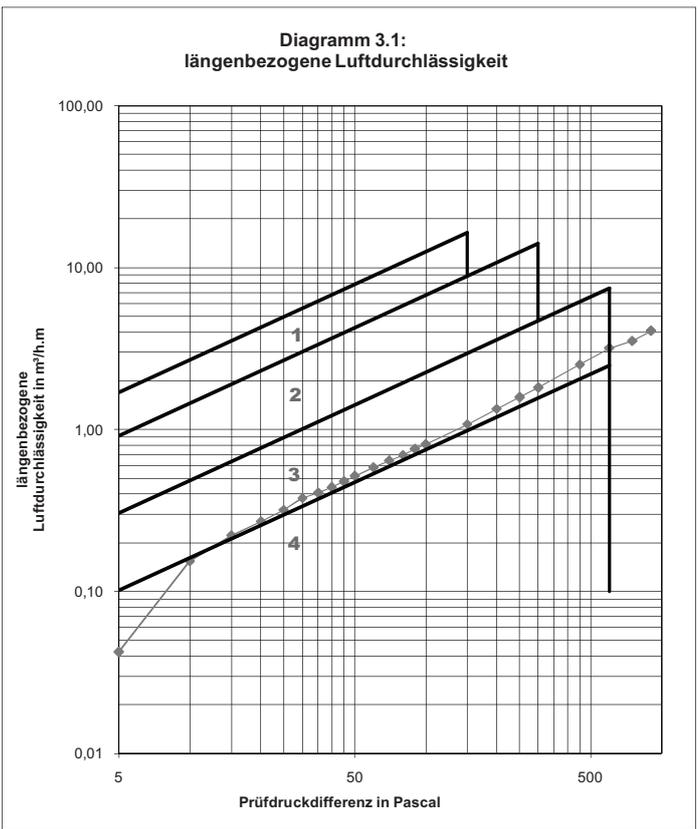
**Positiver/Negativer Druck**

Schäden:

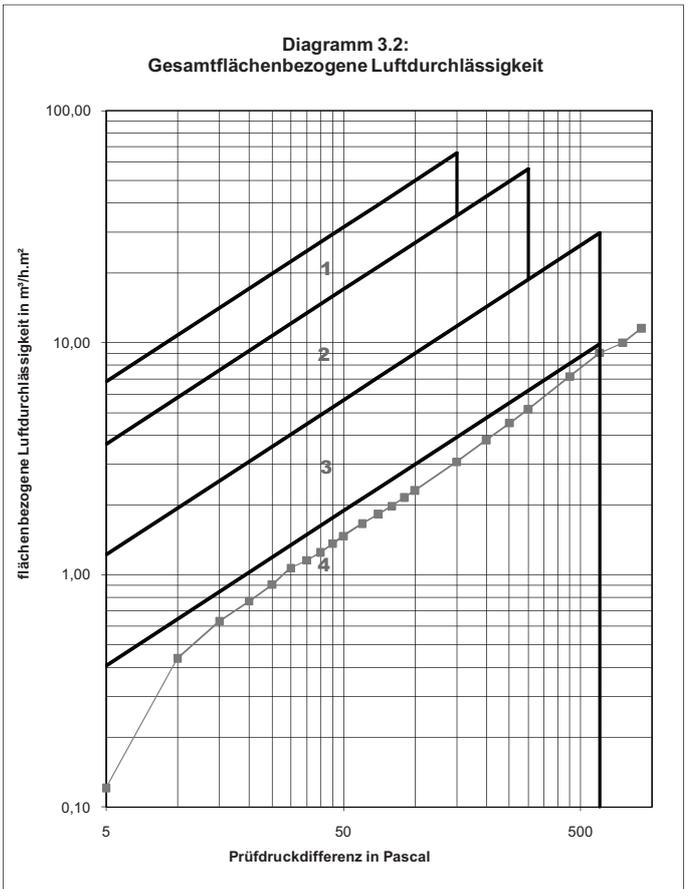
**Wiederholtem Druck**  
 Prüfdruck: Pa

Schäden:

**Sicherheitsprüfung**  
 Schäden:



**Klasse = 3**





## Anhang A2

Nummerische und graphische Darstellung der Luftgeschwindigkeit





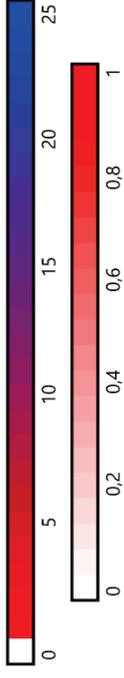




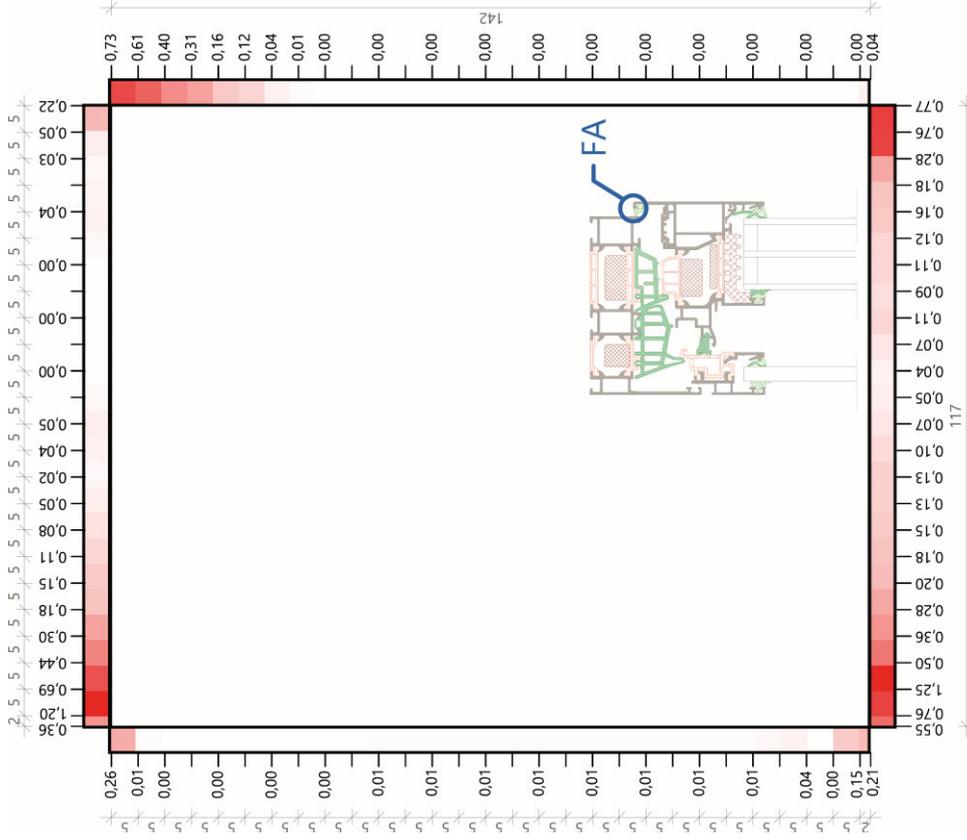
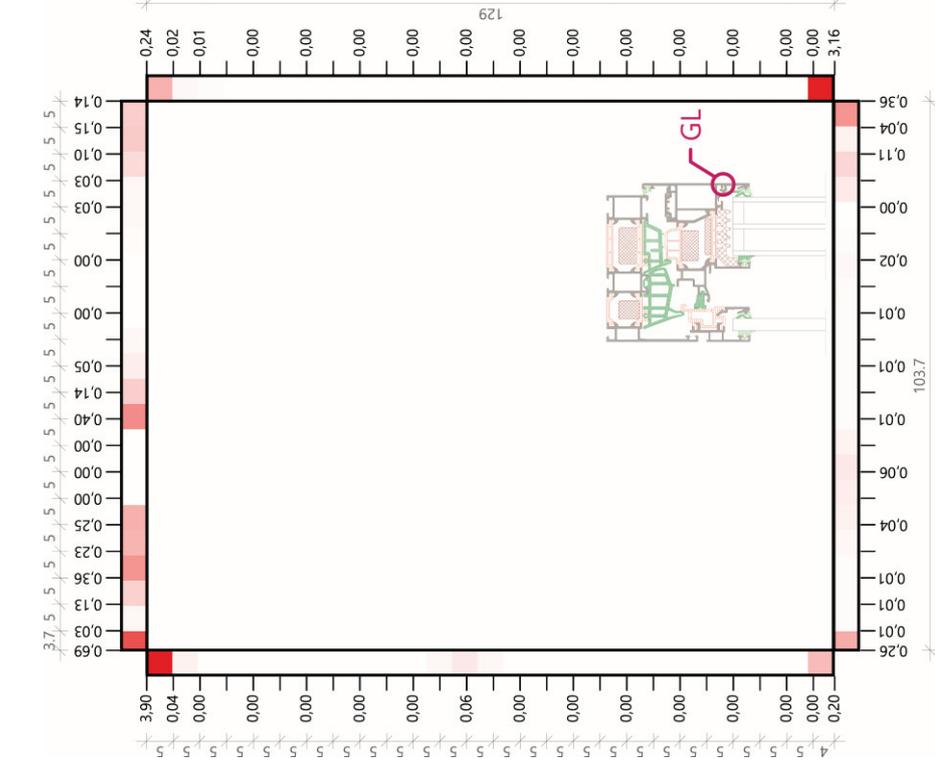
# Luftdurchlässigkeit

LDP-F003-D

(HF 14-168/ B14.569.003.107d)



Länge [cm] - Luftgeschwindigkeit [m/s]



Druckdifferenz: 900 Pa

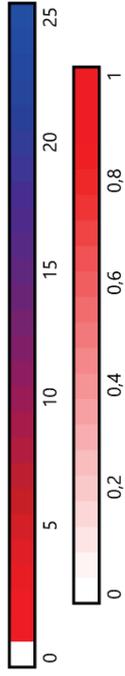
Gesamtvolumenstrom: 15,75 m<sup>3</sup> /h

Messgerät: VELOCICALC Plus 8386-M-D

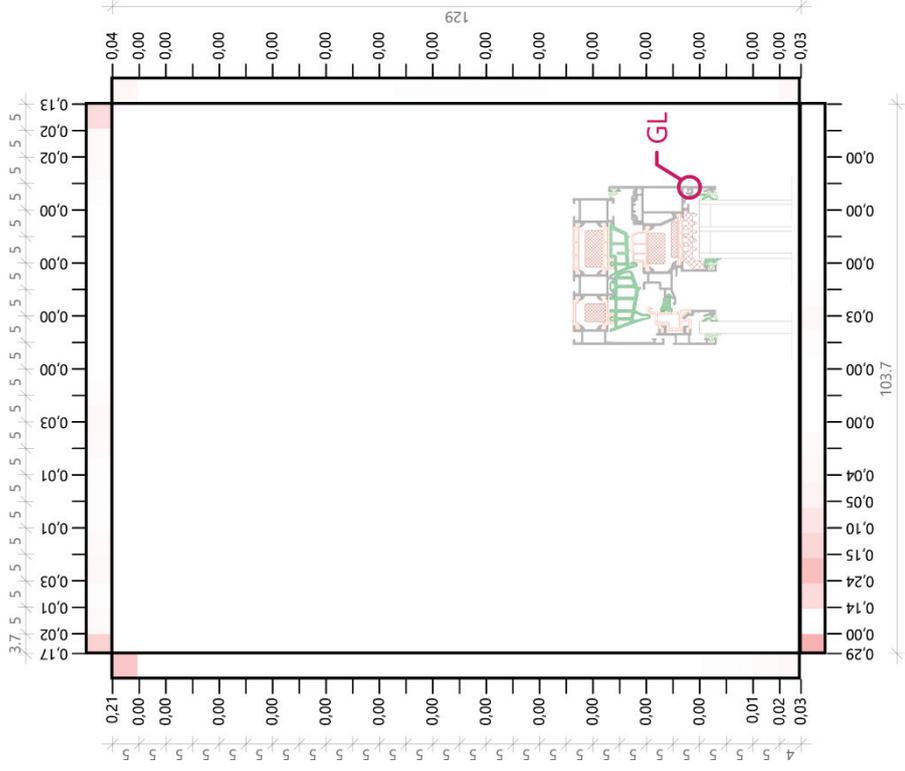
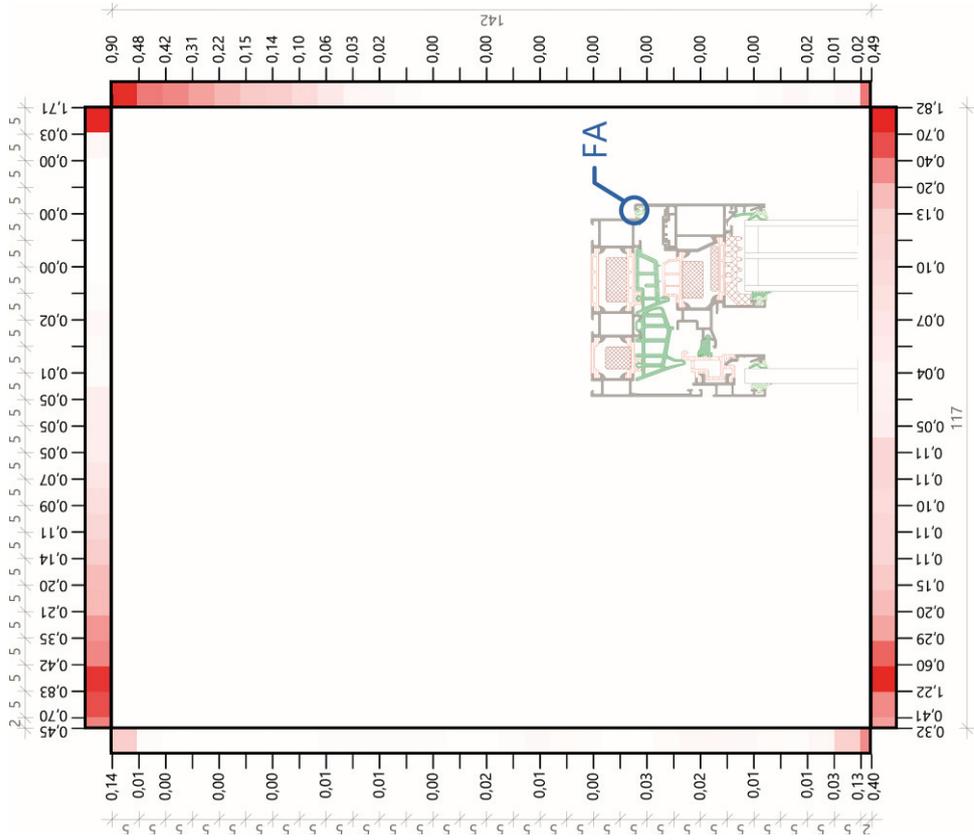
# Luftdurchlässigkeit

LDP-F003-E

(HF 14-168/ B14.569.003.107e)



Länge [cm] - Luftgeschwindigkeit [m/s]



Druckdifferenz: 900 Pa

Gesamtvolumenstrom: 15,6 m<sup>3</sup>/h

Messgerät: VELOCICALC Plus 8386-M-D







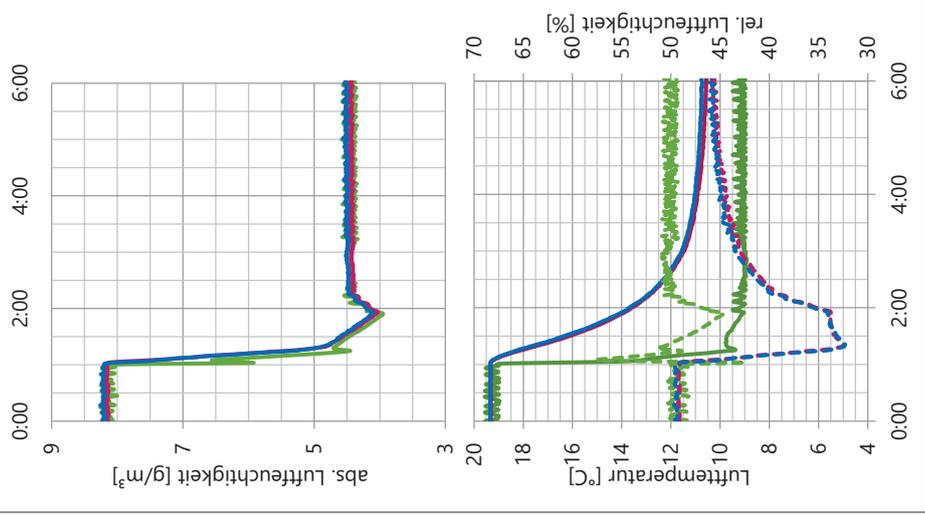
## Anhang B

Messergebnisse der hygothetischen Untersuchung in der Doppelklimmakammer

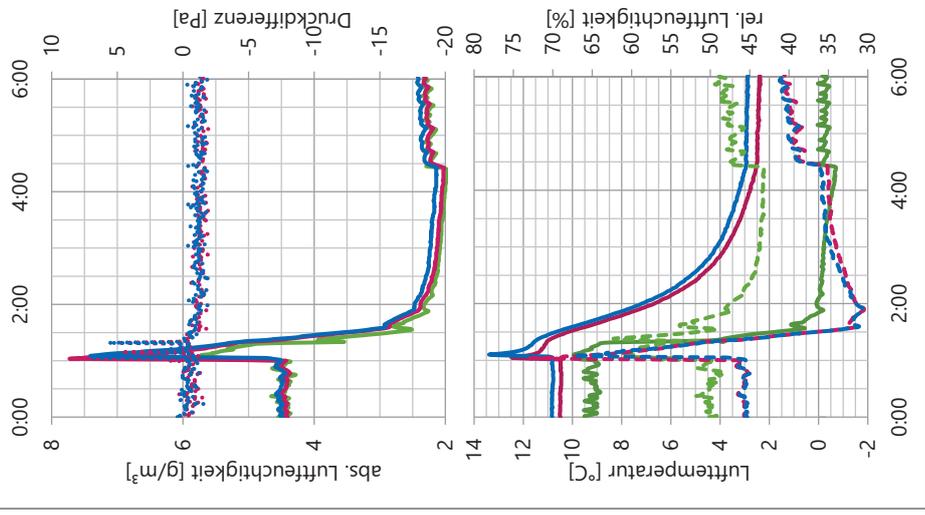
- Messserie A
- Messserie B
- Messserie C
- Messserie D



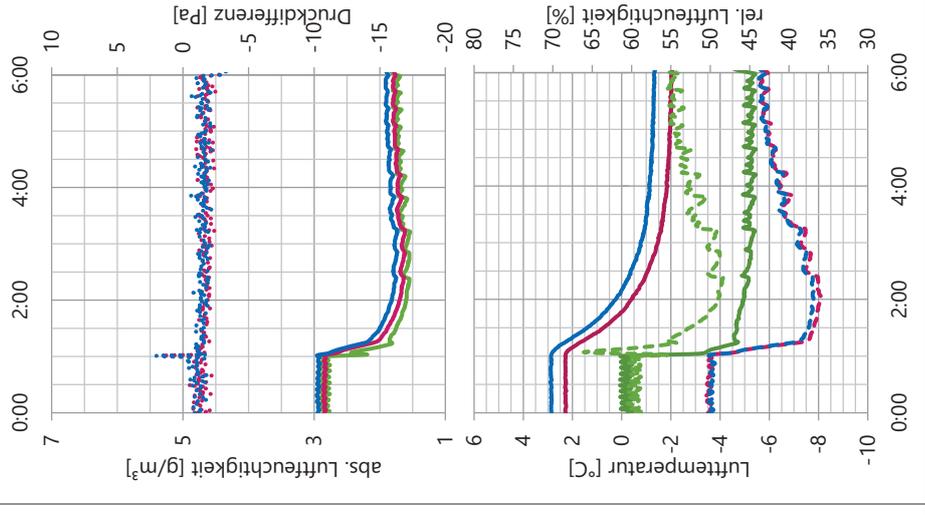
A-01



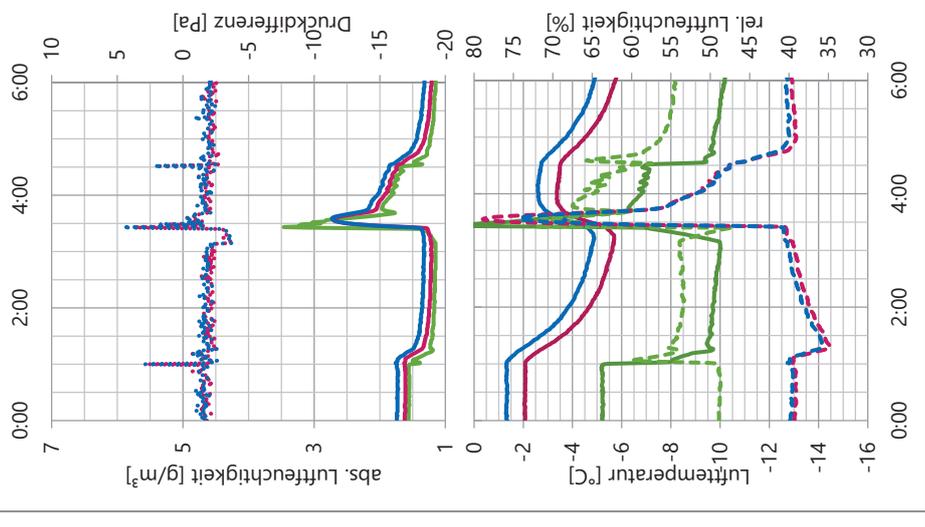
A-02



A-03



A-04



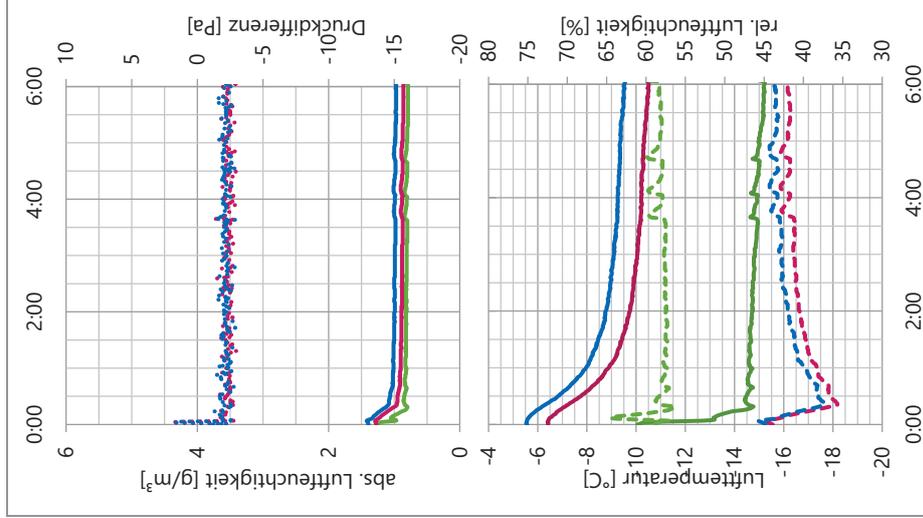
oben: absolute Luftfeuchtigkeit und Druckdifferenz



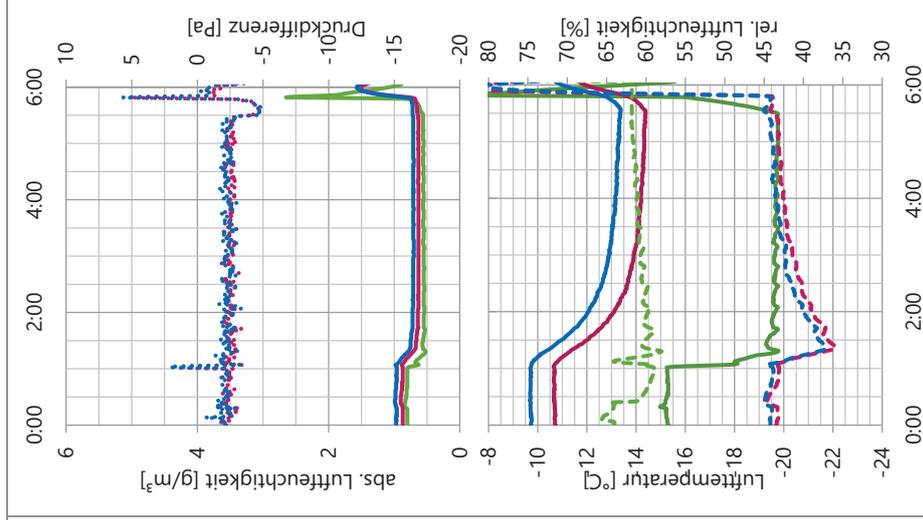
unten: relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur



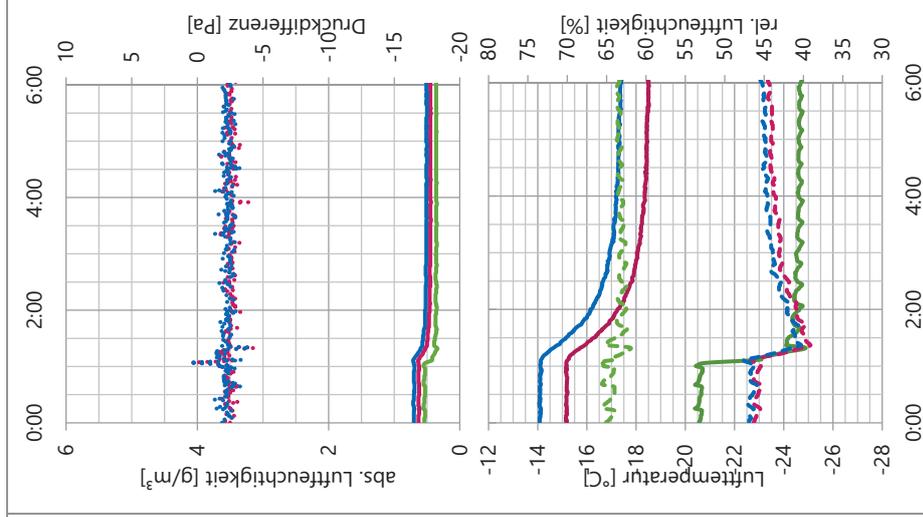
A-05



A-06



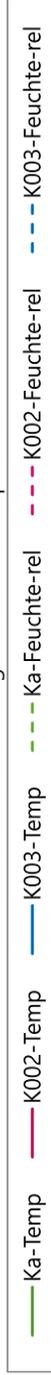
A-07



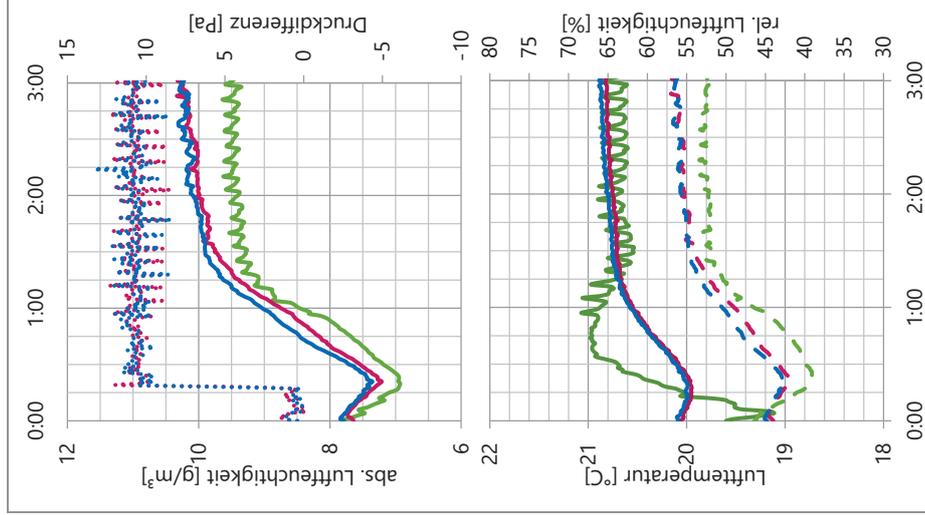
oben: absolute Luftfeuchtigkeit und Druckdifferenz



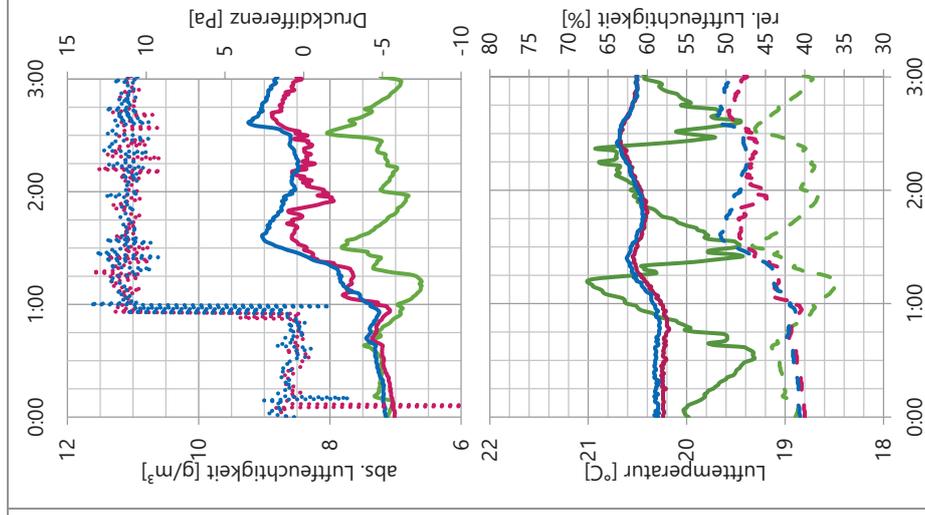
unten: relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur



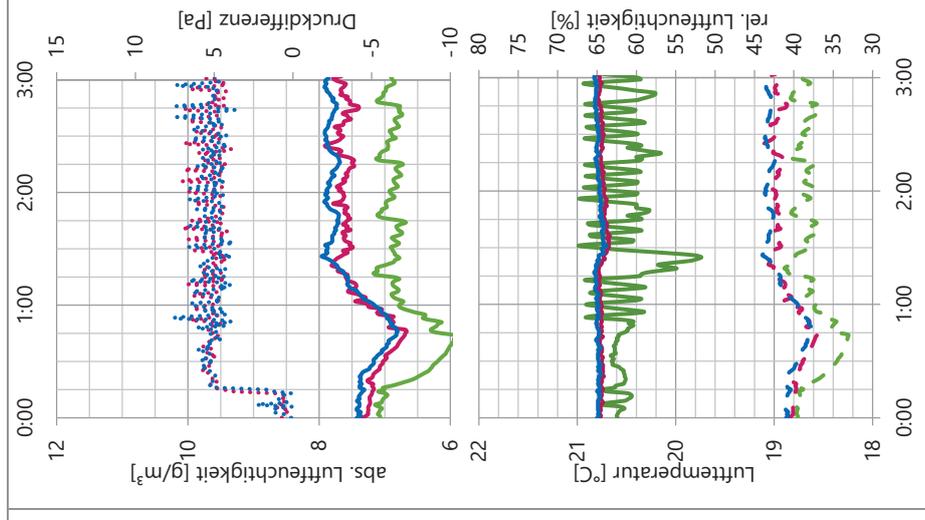
B-01



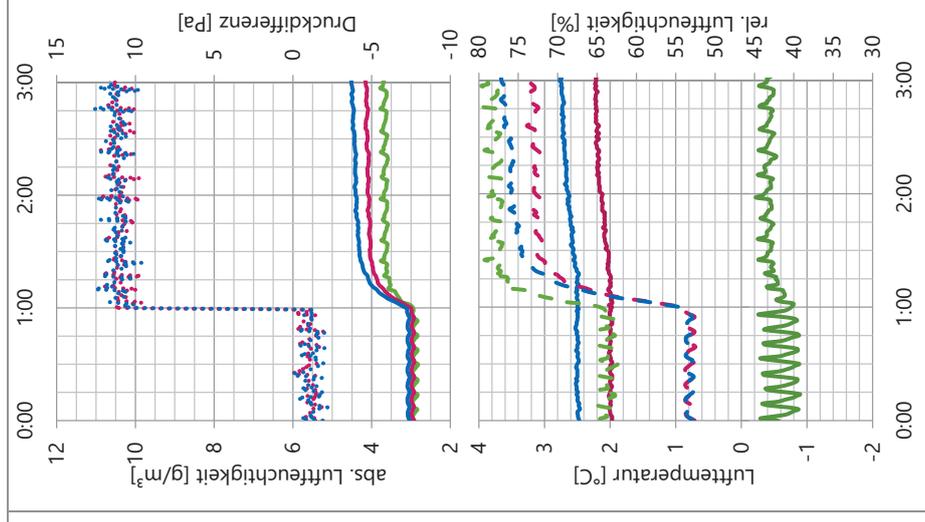
B-02



B-03



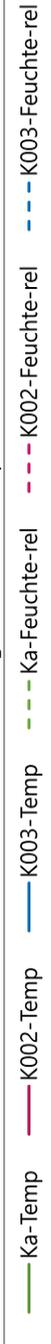
B-04



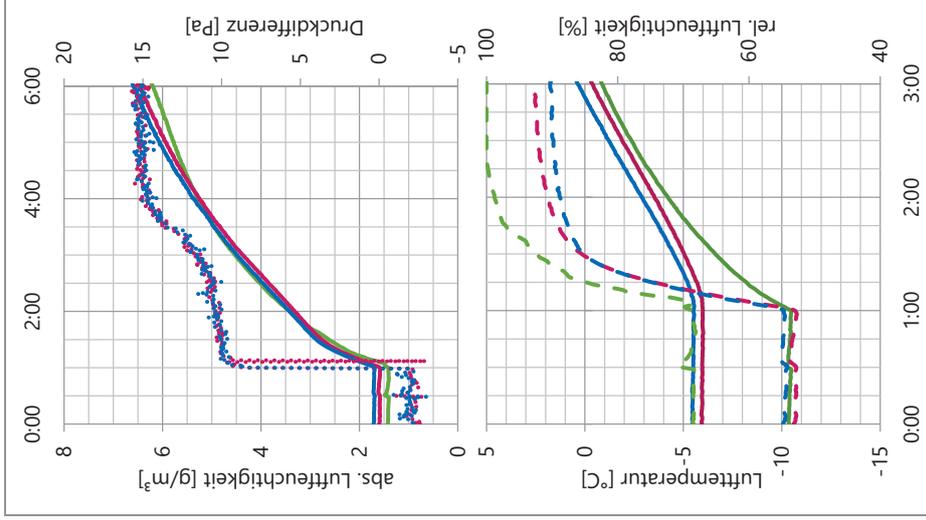
oben: absolute Luftfeuchtigkeit und Druckdifferenz



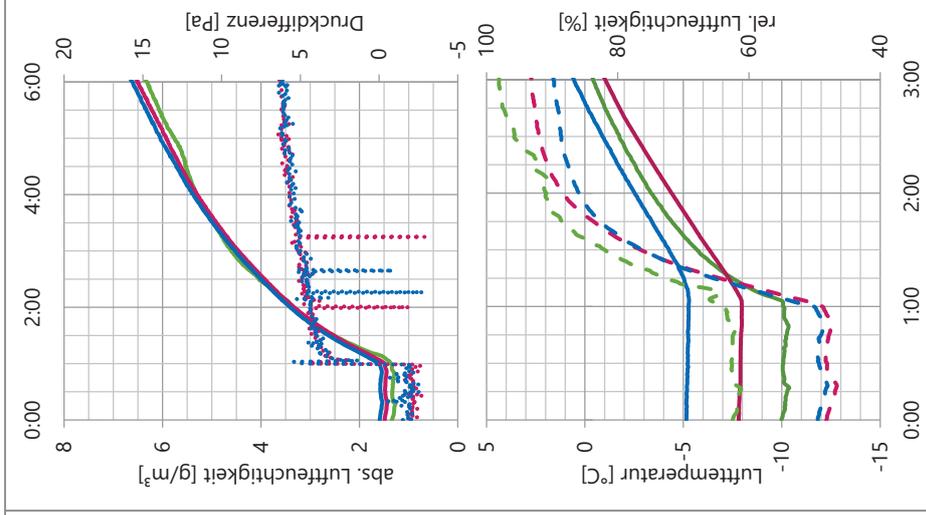
unten: relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur



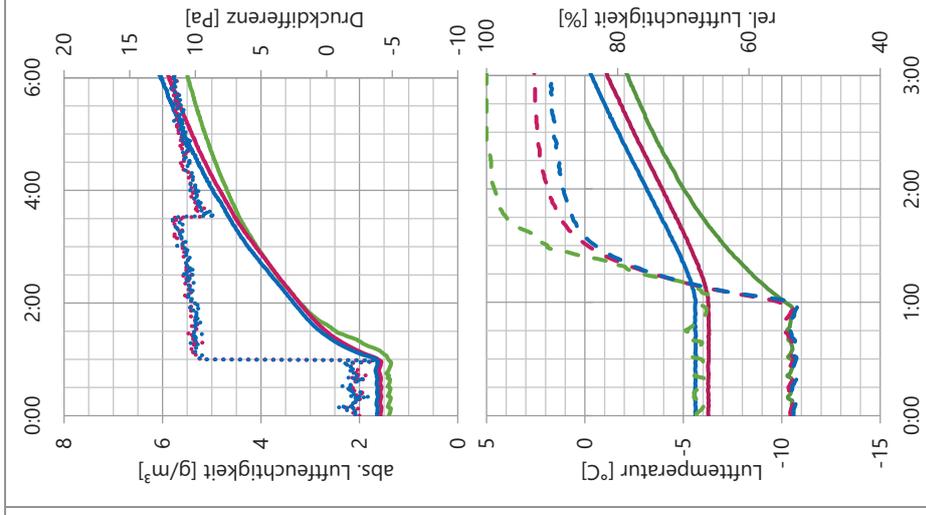
C-01



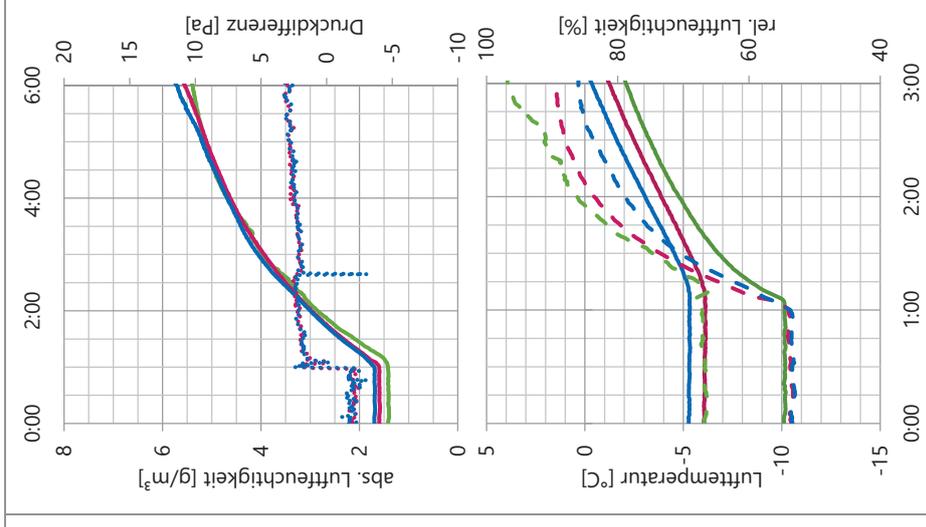
C-02



C-03



C-04



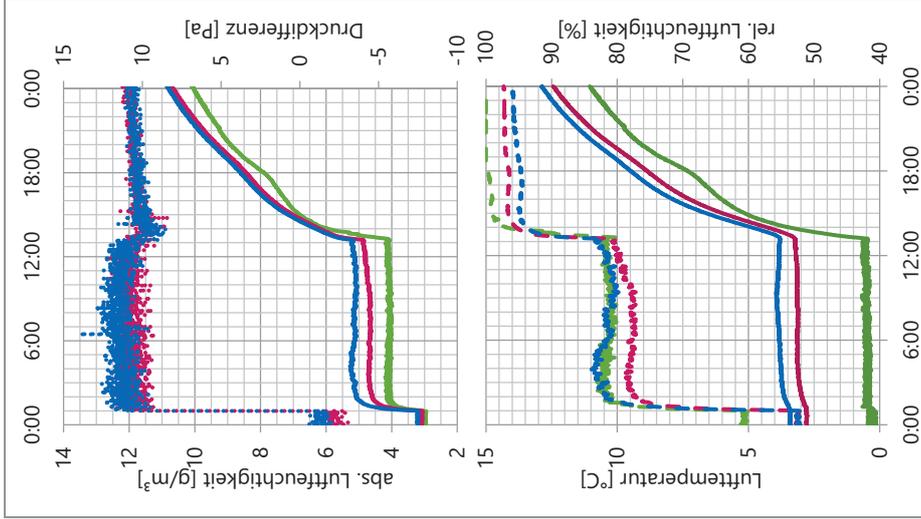
oben: absolute Luftfeuchtigkeit und Druckdifferenz

— Ka-Feuchte-abs    — K002-Feuchte-abs    — K003-Feuchte-abs    ..... P-i-002    ..... P-i-003

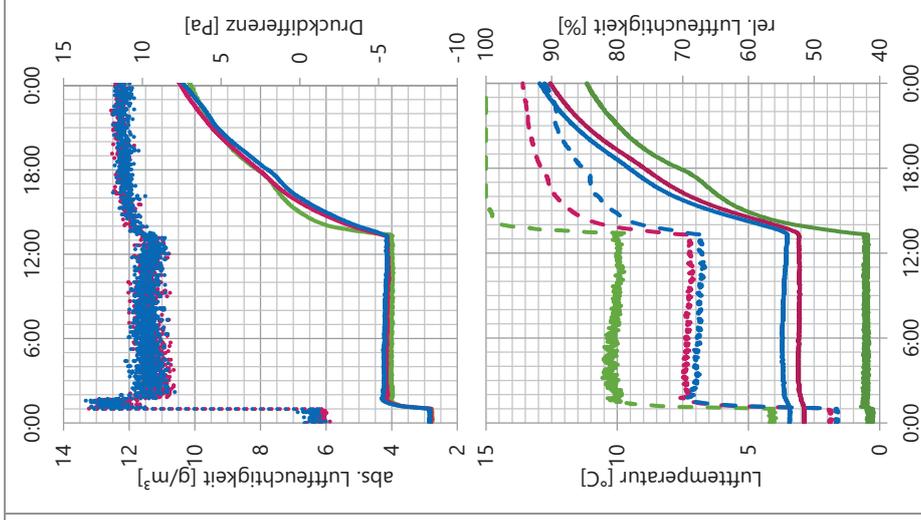
unten: relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur

— Ka-Temp    — K002-Temp    — K003-Temp    - - - Ka-Feuchte-rel    - - - K002-Feuchte-rel    - - - K003-Feuchte-rel

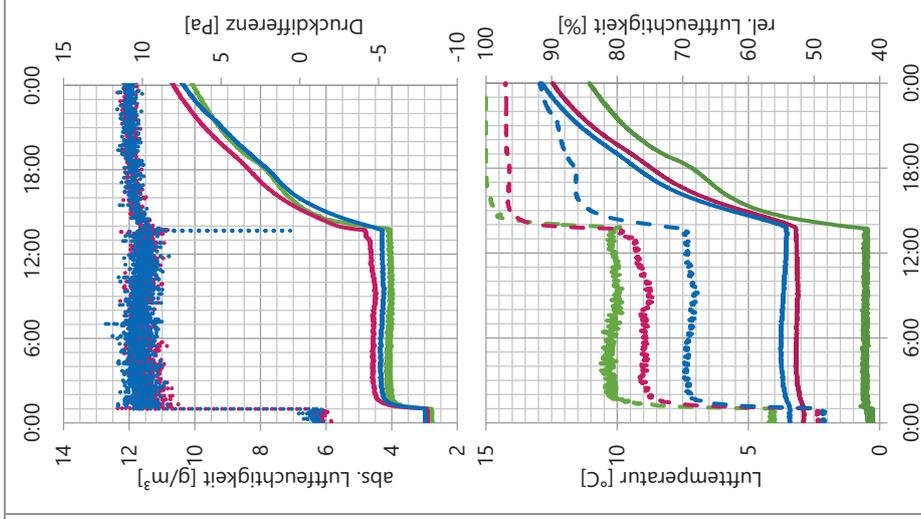
D-02



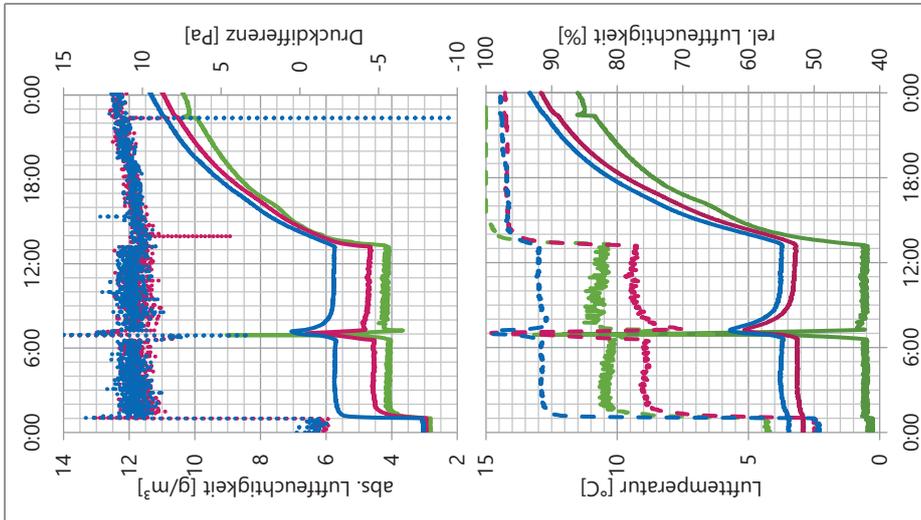
D-03



D-04



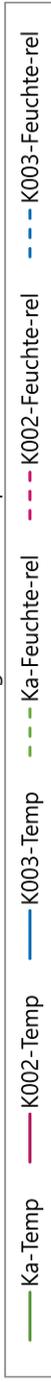
D-05



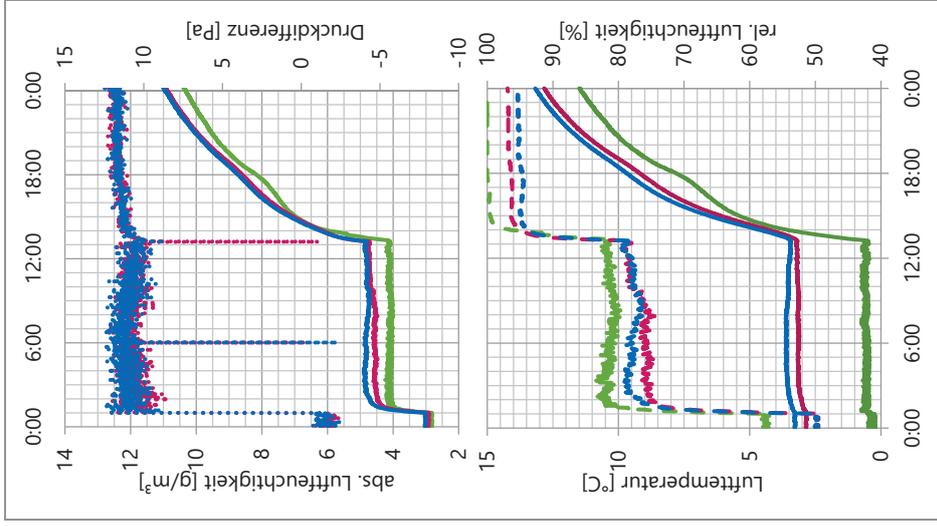
oben: absolute Luftfeuchtigkeit und Druckdifferenz



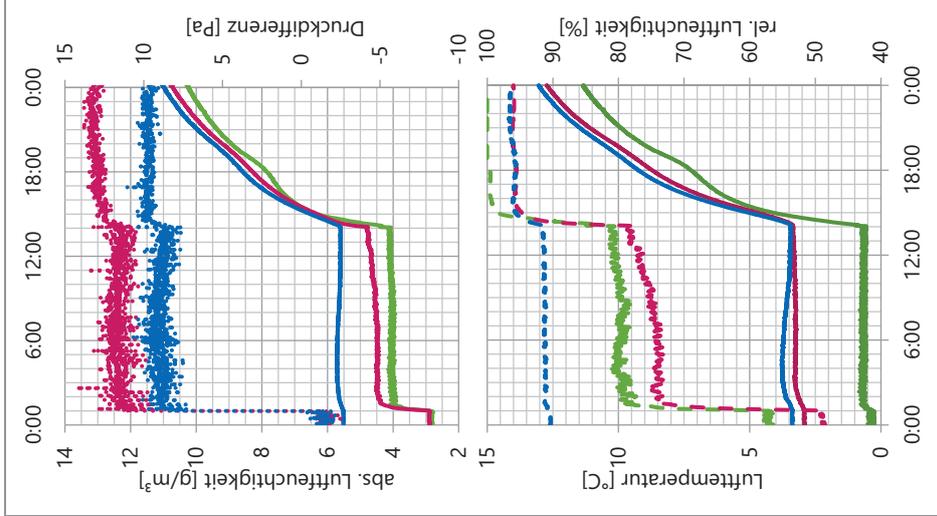
unten: relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur



D-06



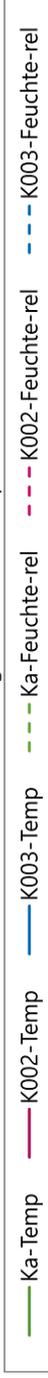
D-07



oben: absolute Luftfeuchtigkeit und Druckdifferenz



unten: relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur



## Anhang C

Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fenster – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen



## Anhang C

### Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fensters – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen

#### Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-01; Fenster F002

##### Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 31.05.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von 9,15 °C bis 9,25 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = 9,54 °C  
 Ka-Temp-Min = 8,93 °C  
 Ka-Temp-Mittel = 9,23 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

##### Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,013			9,20
Glasposition 1				9,49
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				9,73
Verbundraum	0,035			10,55
Verbundraum	0,093			10,55
Glasposition 3				11,01
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,845	0,018	0,0213	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,829	0,018	0,0217	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				19,35
Innen	0,068			19,69

##### Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,EG} = 0,055 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,EG,003} = 0,940 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,260 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,200 \text{ W/mK}$

##### Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,157 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,329 \text{ W/mK}$

##### Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

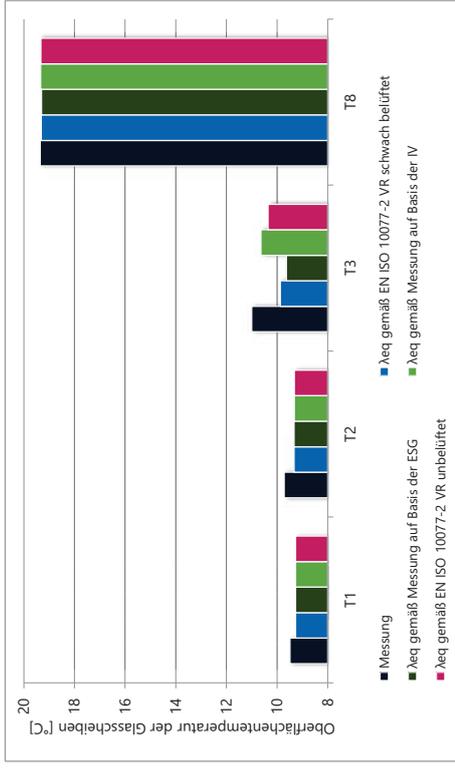
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR,unbel,eq} = 0,264 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR,sw,eq} = 0,516 \text{ W/mK}$

##### Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	9,20	9,49	9,73	11,01	19,35	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	9,20	9,27	9,33	9,88	19,31	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	9,20	9,27	9,32	10,36	19,33	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	9,20	9,27	9,33	9,64	19,3	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	9,20	9,27	9,32	10,64	19,34	19,69



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-01; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 31.05.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von 9,15 °C bis 9,25 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = 9,54 °C  
 Ka-Temp-Min = 8,93 °C  
 Ka-Temp-Mittel = 9,23 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

**Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen**

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,007			9,20
Glasposition 1				9,45
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				9,81
Verbundraum	0,029			10,84
Verbundraum	0,096			10,84
Glasposition 3				11,30
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,841	0,018	0,0214	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,829	0,018	0,0217	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				19,31
Innen	0,081			19,69

**Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes**

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,042 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,245 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,312 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,166 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,177 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,293 \text{ W/mK}$

**Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,263 \text{ W/mK}$

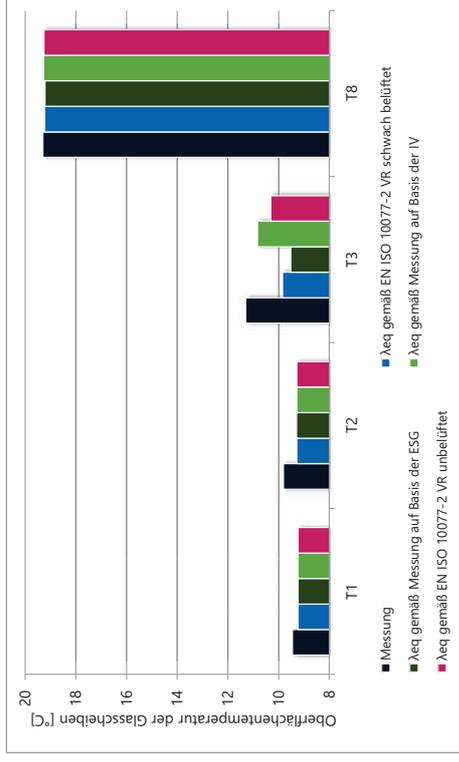
Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,515 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	9,20	9,45	9,81	11,30	19,31	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	9,20	9,24	9,29	9,85	19,24	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	9,20	9,24	9,29	10,32	19,26	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	9,20	9,24	9,3	9,53	19,22	19,69
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	9,20	9,24	9,29	10,83	19,28	19,69



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-U1 - Vergleichsmessung; Fenster F002**

**Eckdaten zur den gewählten Messdaten**

gewählte Zeitspanne der Messung: von 30.06.2015 03:00:00 bis 09:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von 9,15 °C bis 9,25 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = 9,55 °C  
 Ka-Temp-Min = 8,96 °C  
 Ka-Temp-Mittel = 9,20 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

**Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen**

	R [m <sup>2</sup> K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,010			9,20
Glasposition 1				9,43
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				9,66
Verbundraum	0,034	10,46		10,46
Verbundraum	0,090	10,46		10,46
Glasposition 3				10,88
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,845	0,018	0,0213	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,829	0,018	0,0217	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,73
Innen	0,115			19,27

**Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes.**

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung:  
 $R_{VF,ESG} = 0,052 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,987 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung:  
 $R_{VR,IV} = 0,261 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,198 \text{ W/mK}$

Mittelwert:  
 $R_{VR,003} = 0,157 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,330 \text{ W/mK}$

**Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

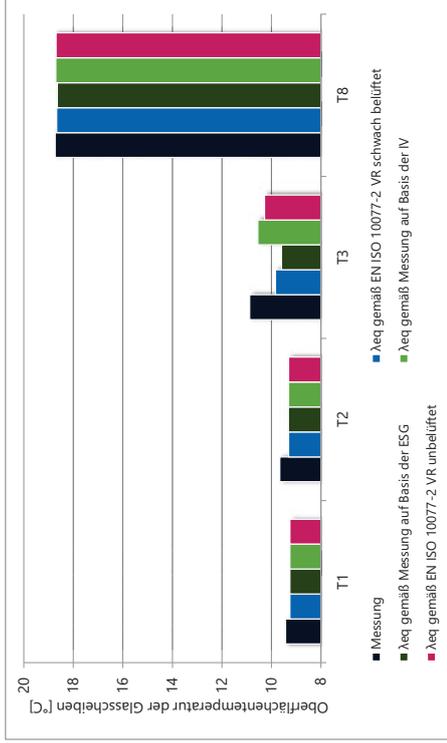
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,262 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,513 \text{ W/mK}$

**Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	9,20	9,43	9,66	10,88	18,73	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	9,20	9,25	9,3	9,83	18,67	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	9,20	9,25	9,30	10,28	18,70	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	9,20	9,25	9,31	9,59	18,65	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	9,20	9,25	9,3	10,55	18,71	19,27



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-U1 - Vergleichsmessung: Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 03:00:00 bis 09:00:00  
 Datum: 30.06.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von 9,15 °C bis -15,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = 9,55 °C  
 Ka-Temp-Min = 8,96 °C  
 Ka-Temp-Mittel = 9,20 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,004			9,20
Glasposition 1				9,34
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	9,69
Glasposition 2				10,69
Verbundraum	0,028			10,69
Verbundraum	0,094			11,11
Glasposition 3				
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,845	0,018	0,0213	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,829	0,018	0,0217	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,58
Innen	0,156			19,27

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{V,ESG} = 0,040 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{V,ESG,0.03} = 1,292 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{V,IV} = 0,319 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{V,IV,0.03} = 0,162 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{V,0.03} = 0,180 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{V,0.03} = 0,288 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

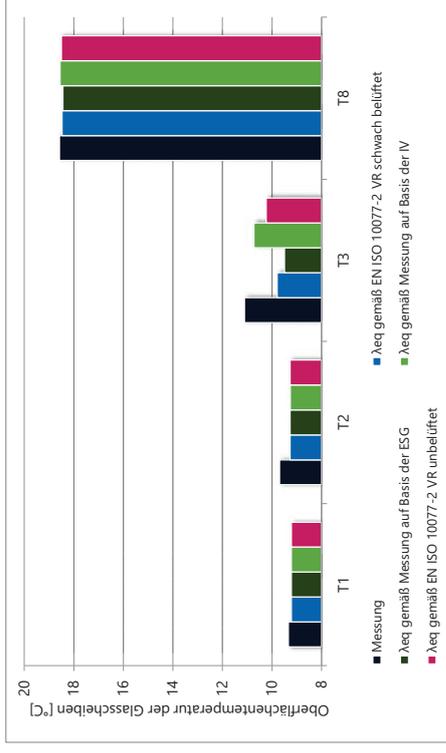
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{V,H,unbel,eq} = 0,261 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{V,H,beI,eq} = 0,511 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Gläsmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	9,20	9,34	9,69	11,11	18,58	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	9,20	9,22	9,27	9,79	18,47	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	9,20	9,22	9,27	10,23	18,50	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	9,20	9,22	9,27	9,49	18,44	19,27
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	9,20	9,22	9,26	10,73	18,55	19,27



## Anhang C

## Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fensters – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen

### Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-02; Fenster F002

#### Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: gewählter Bereich der Außenlufttemperatur:  
 Datum von bis  
 04.06.2015 05:00:00 15:00:00 -0,25 °C bis -0,15 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = 2,36 °C  
 Ka-Temp-Min = 2,26 °C  
 Ka-Temp-Mittel = 2,31 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

#### Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,017			-0,20
Glasposition 1				0,48
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				0,88
Verbundraum	0,035			2,28
Verbundraum	0,124			2,28
Glasposition 3				3,41
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,861	0,018	0,0209	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,837	0,018	0,0215	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,96
Innen	0,090			19,78

#### Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,064 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,815 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,278 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,186 \text{ W/mK}$

#### Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,171 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,303 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

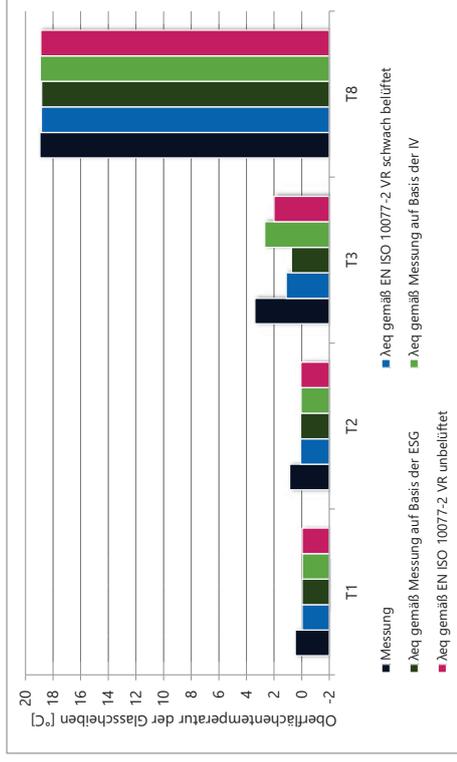
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,260 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,505 \text{ W/mK}$

#### Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-0,20	0,48	0,88	3,41	18,96	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-0,20	-0,02	0,08	1,13	18,85	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-0,20	-0,03	0,07	2,02	18,89	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-0,20	-0,02	0,09	0,75	18,83	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-0,20	-0,04	0,06	2,68	18,92	19,78



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-02; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: gewählter Bereich der Außenlufttemperatur:  
 Datum von bis  
 04.06.2015 05:00:00 15:00:00 -0,25 °C bis -0,15 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = 2,36 °C  
 Ka-Temp-Min = 2,26 °C  
 Ka-Temp-Mittel = 2,31 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

**Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen**

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,012			-0,20
Glasposition 1				0,50
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				1,10
Verbundraum	0,029			2,86
Verbundraum	0,134			2,86
Glasposition 3				4,02
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,861	0,018	0,0209	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,837	0,018	0,0215	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,87
Innen	0,104			19,78

**Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes**

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,049 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,067 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,336 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,154 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,192 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,270 \text{ W/mK}$

**Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,262 \text{ W/mK}$

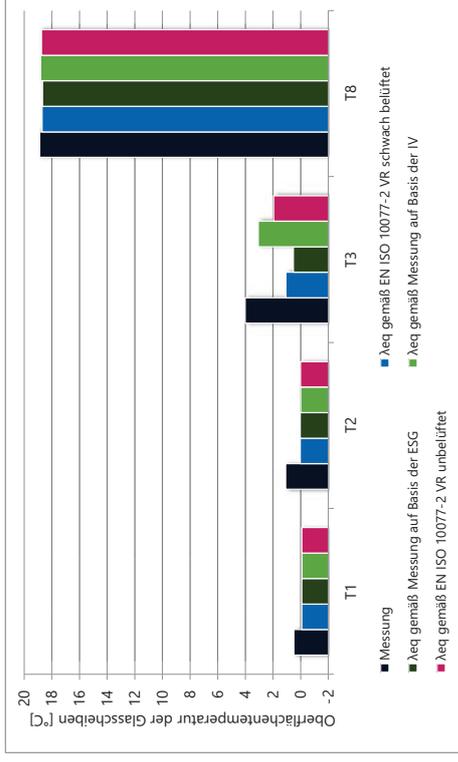
Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,509 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-0,20	0,50	1,10	4,02	18,87	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-0,20	-0,08	0,03	1,08	18,71	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-0,20	-0,08	0,02	1,96	18,76	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-0,20	-0,07	0,03	0,54	18,68	19,78
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-0,20	-0,09	0	3,07	18,82	19,78



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-03; Fenster F002**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05.06.2015 05:00:00 bis 15:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -5,25 °C bis -5,15 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -4,89 °C  
 Ka-Temp-Min = -5,44 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -5,22 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m <sup>2</sup> K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,019			-5,22
Glasposition 1				-4,27
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-3,77
Verbundraum	0,034			-2,08
Verbundraum	0,121			-2,08
Glasposition 3				-0,62
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,773	0,018	0,0233	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,814	0,018	0,0221	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,65
Innen	0,082			19,64

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,064 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,813 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,261 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,198 \text{ W/mK}$

Mittelwert  
 $R_{VR,003} = 0,163 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,319 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

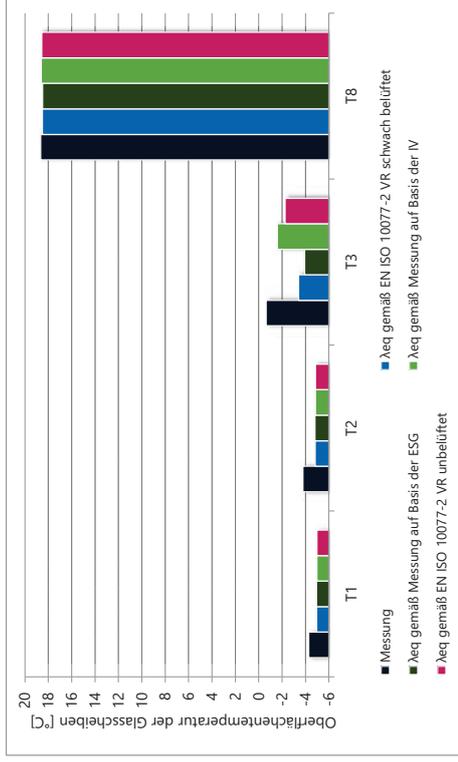
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR,unbel,eq} = 0,256 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR,swch,eq} = 0,497 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-5,22	-4,27	-3,77	-0,62	18,65	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-5,22	-4,96	-4,82	-3,41	18,52	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-5,22	-4,97	-4,84	-2,24	18,57	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-5,22	-4,94	-4,81	-3,93	18,49	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-5,22	-4,98	-4,85	-1,58	18,6	19,64



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-03; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: gewählter Bereich der Außenlufttemperatur:  
 Datum von bis  
 05.06.2015 05:00:00 15:00:00 -5,25 °C -5,15 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -4,89 °C  
 Ka-Temp-Min = -5,44 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -5,22 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,013			-5,22
Glasposition 1				-4,22
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-3,46
Verbundraum	0,028			-1,36
Verbundraum	0,129			-1,36
Glasposition 3				0,09
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,814	0,018	0,0221	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,822	0,018	0,0219	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,54
Innen	0,098			19,64

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,047 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,102 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,317 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,163 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,182 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,285 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

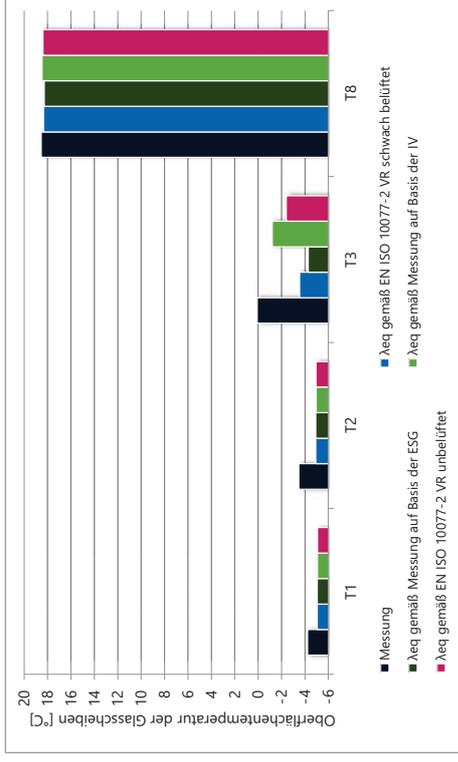
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,495 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,255 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-5,22	-4,22	-3,46	0,09	18,54	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-5,22	-5,05	-4,91	-3,54	18,34	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-5,22	-5,06	-4,93	-2,40	18,40	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-5,22	-5,04	-4,91	-4,27	18,3	19,64
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-5,22	-5,06	-4,95	-1,2	18,47	19,64



## Anhang C

## Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fensters – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen

### Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-04; Fenster F002

#### Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 07.06.2015 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -10,30 °C bis -10,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -9,96 °C  
 Ka-Temp-Min = -10,43 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -10,26 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

#### Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,022			-10,26
Glasposition 1				-9,01
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-8,45
Verbundraum	0,036			-6,43
Verbundraum	0,124			-6,43
Glasposition 3				-4,58
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,759	0,018	0,0237	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,769	0,018	0,0234	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,34
Innen	0,078			19,49

#### Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,068 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,759 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,260 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,199 \text{ W/mK}$

#### Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,164 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,316 \text{ W/mK}$

#### Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

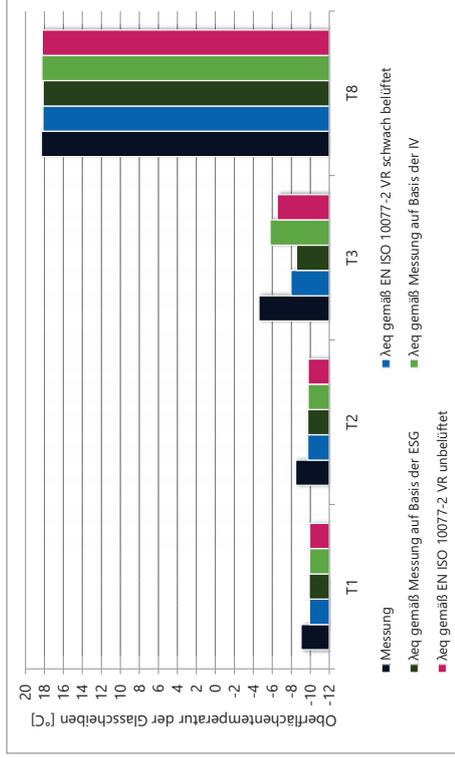
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,253 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,488 \text{ W/mK}$

#### Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-10,26	-9,01	-8,45	-4,58	18,34	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-10,26	-9,89	-9,72	-7,94	18,17	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-10,26	-9,91	-9,75	-6,49	18,24	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-10,26	-9,88	-9,71	-8,54	18,14	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-10,26	-9,92	-9,76	-5,75	18,27	19,49



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-04; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 07.06.2015 05:00:00 bis 15:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -10,30 °C bis -10,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -9,96 °C  
 Ka-Temp-Min = -10,43 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -10,26 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

**Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen**

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,015			-10,26
Glasposition 1				-8,93
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-8,07
Verbundraum	0,029			-5,58
Glasposition 3	0,132			-5,58
Glasposition 3				-3,72
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,769	0,018	0,0234	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,779	0,018	0,0231	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				18,21
Innen	0,091			19,49

**Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes**

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,050 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,026 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,309 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,167 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,180 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,288 \text{ W/mK}$

**Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,252 \text{ W/mK}$

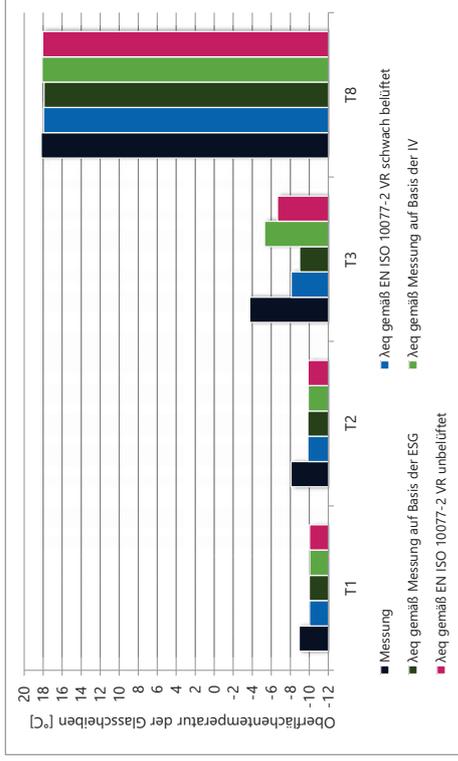
Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,486 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-10,26	-8,93	-8,07	-3,72	18,21	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-10,26	-10,01	-9,84	-8,08	17,97	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-10,26	-10,02	-9,86	-6,64	18,05	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-10,26	-10,00	-9,83	-8,97	17,92	19,49
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-10,26	-10,03	-9,88	-5,28	18,12	19,49



## Anhang C

## Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fensters – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen

### Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-05; Fenster F002

#### Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 10.06.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -15,30 °C bis -15,25 °C

#### Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -14,92 °C  
 Ka-Temp-Min = -15,46 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -15,25 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

#### Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,021			-15,27
Glasposition 1				-13,78
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-13,09
Verbundraum	0,035			-10,69
Verbundraum	0,125			-10,69
Glasposition 3				-8,43
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,720	0,018	0,0250	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,732	0,018	0,0246	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				17,94
Innen	0,072			19,24

#### Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,067 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,773 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,258 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,201 \text{ W/mK}$

#### Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,163 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,318 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

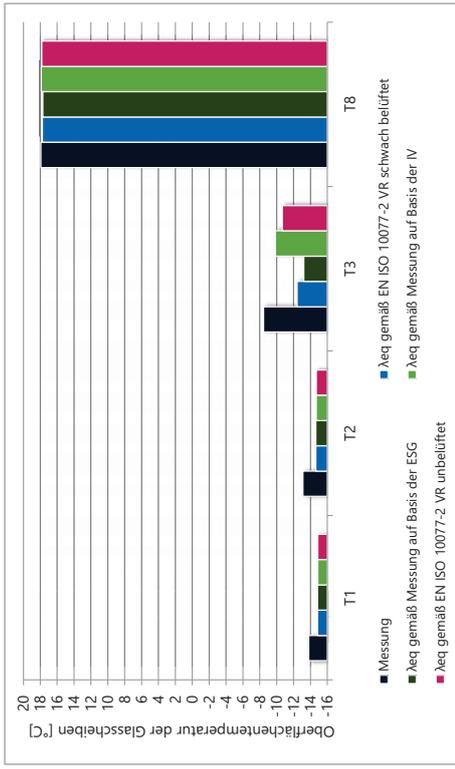
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR,unbel,eq} = 0,249 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR,swach,eq} = 0,479 \text{ W/mK}$

#### Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-15,27	-13,78	-13,09	-8,43	17,94	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-15,27	-14,84	-14,63	-12,42	17,76	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-15,27	-14,86	-14,67	-10,65	17,84	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-15,27	-14,83	-14,62	-13,21	17,72	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-15,27	-14,87	-14,68	-9,84	17,88	19,24



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-05; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 10.06.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -15,30 °C bis -15,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -14,92 °C  
 Ka-Temp-Min = -15,46 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -15,25 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,015			-15,27
Glasposition 1				-13,65
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-12,60
Verbundraum	0,027			-9,72
Glasposition 3	0,132			-9,72
Glasposition 3				-7,47
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,732	0,018	0,0246	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,744	0,018	0,0242	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				17,83
Innen	0,082			19,24

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,049 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,062 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,301 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,172 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,175 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,296 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

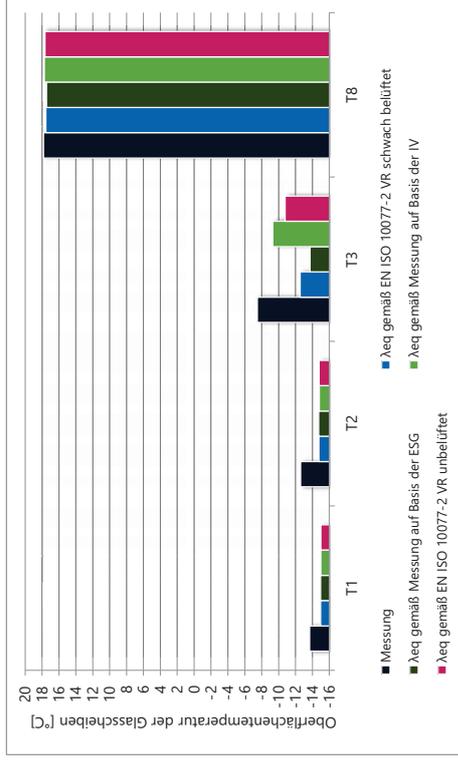
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,248 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,478 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-15,27	-13,65	-12,60	-7,47	17,83	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-15,27	-14,96	-14,76	-12,55	17,55	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-15,27	-14,98	-14,78	-10,77	17,65	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-15,27	-14,95	-14,74	-13,71	17,49	19,24
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-15,27	-14,99	-14,81	-9,3	17,73	19,24



## Anhang C

## Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fenster – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen

### Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-06; Fenster F002

#### Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 12.06.2015 05:00:00 bis 15:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -20,65 °C bis -20,55 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -20,25 °C  
 Ka-Temp-Min = -20,75 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -20,60 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

#### Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m <sup>2</sup> K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,022			-20,60
Glasposition 1				
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	-18,77
Glasposition 2				
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	-17,93
SZR 1	0,687	0,018	0,0262	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,700	0,018	0,0257	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				
Glas 8	0,062			17,56
Innen				18,89

#### Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,065 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,0,03} = 0,797 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,255 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,0,03} = 0,203 \text{ W/mK}$

Mittelwert  
 $R_{VR,0,03} = 0,160 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,324 \text{ W/mK}$

#### Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

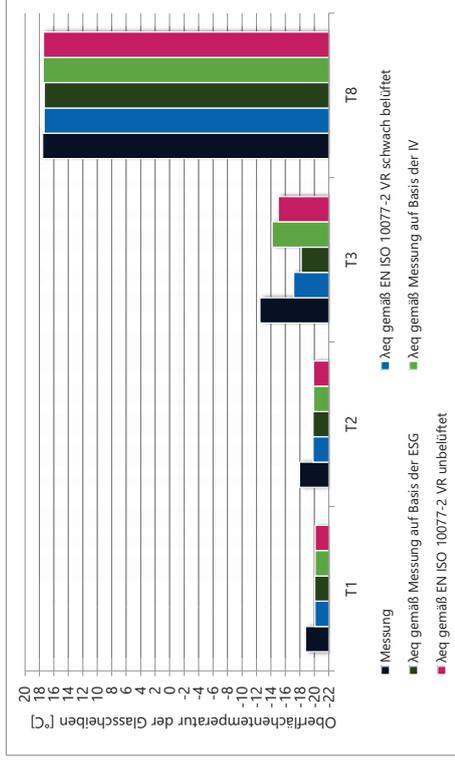
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,HR,unbel,eq} = 0,245 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,HR,schw,eq} = 0,470 \text{ W/mK}$

#### Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-20,60	-18,77	-17,93	-12,45	17,56	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-20,60	-20,06	-19,81	-17,12	17,36	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-20,60	-20,09	-19,86	-14,99	17,45	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-20,60	-20,04	-19,79	-18,16	17,32	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-20,60	-20,1	-19,88	-14,16	17,49	18,89



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-06; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 12.06.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -20,65 °C bis -15,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -20,25 °C  
 Ka-Temp-Min = -20,75 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -20,60 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,017			-20,60
Glasposition 1				-18,61
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-17,42
Verbundraum	0,028			-14,10
Glasposition 3	0,135			-14,10
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,698	0,018	0,0258	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,711	0,018	0,0253	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				17,34
Innen	0,076			18,89

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,051 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,024 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,299 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,173 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,175 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,297 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,244 \text{ W/mK}$

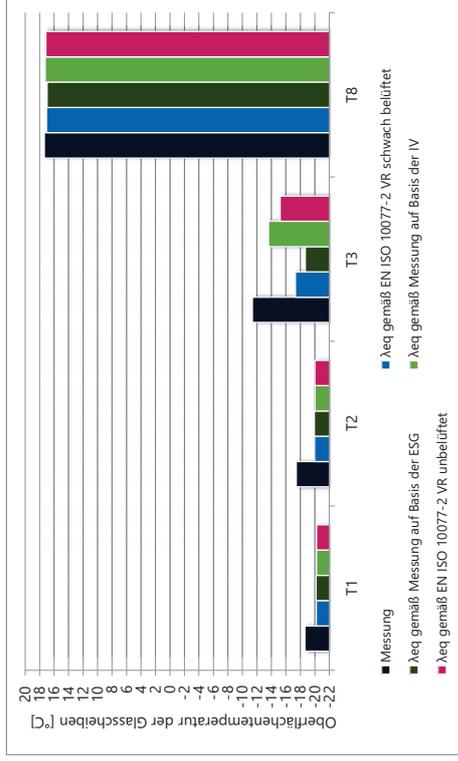
Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,468 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-20,60	-18,61	-17,42	-11,38	17,34	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-20,60	-20,19	-19,95	-17,3	17,05	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-20,60	-20,21	-19,99	-15,19	17,16	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-20,60	-20,17	-19,92	-18,67	16,97	18,89
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-20,60	-20,23	-20,01	-13,59	17,24	18,89



## Anhang C

### Berechnungsergebnisse der Thermischen Untersuchung des Fensters – Vergleich der Berechnung mit dem Messergebnissen

#### Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-07; Fenster F002

##### Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: bis bis  
 Datum von 05:00:00 15:00:00  
 13.06.2015 05:00:00 15:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur:  
 von -24,75 °C bis  
 -24,75 °C -24,65 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -24,63 °C  
 Ka-Temp-Min = -24,74 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -24,69 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

##### Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m <sup>2</sup> /K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,023			-24,69
Glasposition 1				-22,62
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-21,70
Verbundraum	0,034			-18,60
Verbundraum	0,128			-18,60
Glasposition 3				-15,49
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,664	0,018	0,0271	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,679	0,018	0,0265	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				17,27
Innen	0,061			18,75

##### Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einschleibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,068 \text{ m}^2/\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,767 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,257 \text{ m}^2/\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,202 \text{ W/mK}$

##### Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,162 \text{ m}^2/\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,320 \text{ W/mK}$

##### Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

##### Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,242 \text{ W/mK}$

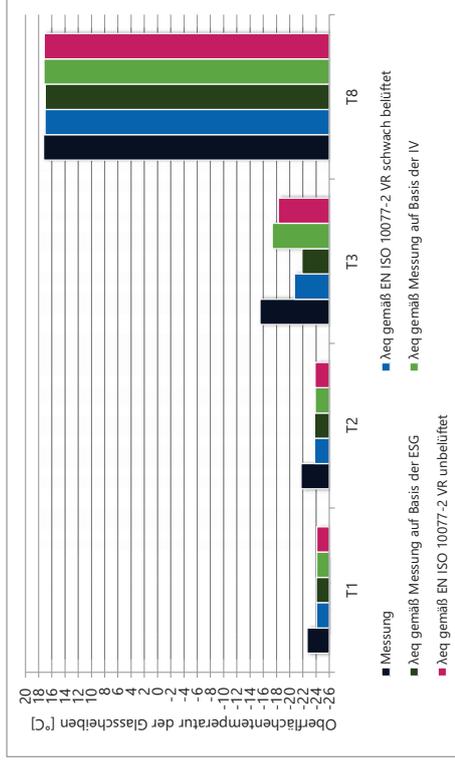
##### Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,463 \text{ W/mK}$

##### Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-24,69	-22,62	-21,70	-15,49	17,27	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-24,69	-24,05	-23,77	-20,69	17,05	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-24,69	-24,09	-23,83	-18,27	17,16	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-24,69	-24,03	-23,75	-21,83	17,00	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-24,69	-24,1	-23,85	-17,36	17,19	18,75



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-07; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 05:00:00 bis 15:00:00  
 Datum 13.06.2015  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -24,75 °C bis -15,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -24,63 °C  
 Ka-Temp-Min = -24,74 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -24,69 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,017			-24,69
Glasposition 1				-22,43
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-21,06
Verbundraum	0,027			-17,43
Glasposition 3	0,136			-14,32
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,674	0,018	0,0267	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,690	0,018	0,0261	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				17,03
Innen	0,075			18,75

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,049 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 1,051 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,296 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,175 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,173 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,300 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,241 \text{ W/mK}$

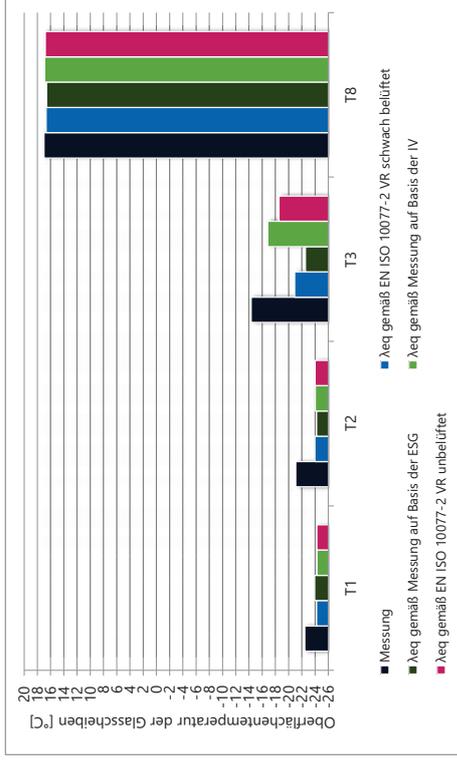
Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,461 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-24,69	-22,43	-21,06	-14,32	17,03	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-24,69	-24,23	-23,95	-20,91	16,7	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-24,69	-24,25	-24,00	-18,52	16,82	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-24,69	-23,92	-24,21	-22,53	16,62	18,75
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-24,69	-24,27	-24,03	-16,84	16,91	18,75



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-08; Fenster F002**

**Eckdaten zur den gewählten Messdaten**

gewählte Zeitspanne der Messung: von 17.06.2015 05:00:00 bis 15:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -30,15 °C bis -30,05 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -29,88 °C  
 Ka-Temp-Min = -30,27 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -30,11 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

**Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen**

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,024			-30,10
Glasposition 1				-27,60
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-26,57
Verbundraum	0,034			-23,04
Verbundraum	0,130			-23,04
Glasposition 3				-19,44
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,638	0,018	0,0282	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,655	0,018	0,0275	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				16,77
Innen	0,064			18,56

**Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes.**

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,069 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,748 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,257 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,202 \text{ W/mK}$

Mittelwert:  
 $R_{VR,003} = 0,163 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,318 \text{ W/mK}$

**Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

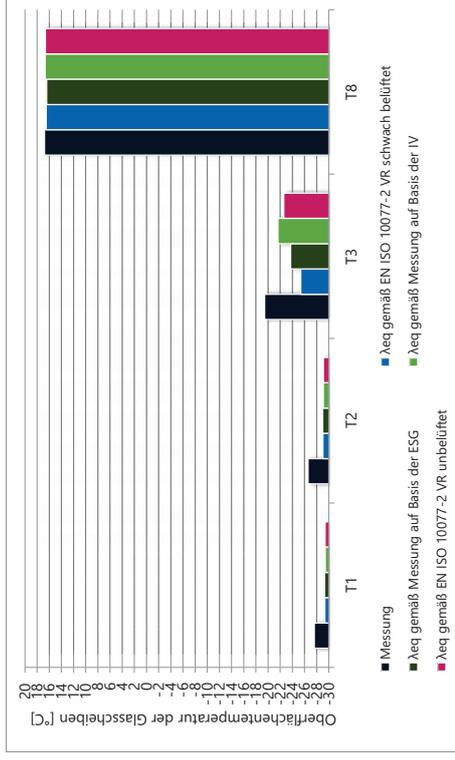
Hohlraum unbelüftet  
 $\lambda_{VR,H,unbel,eq} = 0,237 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet  
 $\lambda_{VR,H,be,eq} = 0,454 \text{ W/mK}$

**Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze**

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-30,10	-27,60	-26,57	-19,44	16,77	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-30,10	-29,33	-29,01	-25,38	16,51	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-30,10	-29,38	-29,08	-22,58	16,64	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-30,10	-29,31	-28,98	-23,71	16,44	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-30,10	-29,4	-29,1	-21,63	16,68	18,56



**Berechnung wärmetechnischer Kennwerte: Messung M-A-08; Fenster F003**

Eckdaten zur den gewählten Messdaten

gewählte Zeitspanne der Messung: von 17.06.2015 05:00:00 bis 15:00:00  
 gewählter Bereich der Außenlufttemperatur: von -30,15 °C bis -15,20 °C

Eckdaten der Außenlufttemperatur der gewählten Zeitspanne:

Ka-Temp-Max = -29,88 °C  
 Ka-Temp-Min = -30,27 °C  
 Ka-Temp-Mittel = -30,11 °C

Anmerkung: Die weiteren Berechnung erfolgt mit den gemittelten Werten der Temperaturen in der angegebenen Zeitspanne und dem Temperaturbereich

Eckdaten der Widerstände, Wärmeleitfähigkeiten und gemessenen Temperaturen

	R [m²K/W]	d [m]	λ [W/mK]	t [°C]
Außen	0,018			-30,10
Glasposition 1				-27,40
Glas 1	0,01	0,010	1,0000	
Glasposition 2				-25,94
Verbundraum	0,028			-21,82
Verbundraum	0,141			-21,82
Glasposition 3				-18,13
Glas 2	0,004	0,004	1,0000	
SZR 1	0,650	0,018	0,0277	
Glas 3	0,004	0,004	1,0000	
SZR 2	0,664	0,018	0,0271	
Glas 4	0,004	0,004	1,0000	
Glasposition 8				16,56
Innen	0,076			18,56

Wärmeübergangswiderstand und äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Verbundraumes

Ermittlung auf Grundlage der Messungen:

auf Basis der Einscheibenverglasung  
 $R_{VR,ESG} = 0,053 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,ESG,003} = 0,972 \text{ W/mK}$

auf Basis der Isolierverglasung  
 $R_{VR,IV} = 0,298 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,IV,003} = 0,174 \text{ W/mK}$

Mittelwert

$R_{VR,003} = 0,176 \text{ m}^2\text{K/W}$   
 $\lambda_{VR,eq} = 0,295 \text{ W/mK}$

Ermittlung auf Grundlage der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012:

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit entsprechen der ÖNORM EN ISO 10077-2:2012

Hohlraum unbelüftet

$\lambda_{VR,HR-unbel,eq} = 0,236 \text{ W/mK}$

Hohlraum schwach belüftet

$\lambda_{VR,HR-bel,eq} = 0,452 \text{ W/mK}$

Vergleich der Oberflächentemperaturen infolge der unterschiedlichen Ansätze

Die Berechnung wird mit Hilfe der Software HTFlux, am zu Beginn dieses Anhang dargestellten Modell, durchgeführt. Es erfolgt die Berechnung der Oberflächentemperatur in Glasmitte mit der Variation der unterschiedlichen Ansätze der Wärmeleitfähigkeiten des Verbundraumes.

	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>i</sub>
Messung	-30,10	-27,40	-25,94	-18,13	16,56	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR schwach belüftet	-30,10	-29,53	-29,22	-25,64	16,16	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß EN ISO 10077-2 VR unbelüftet	-30,10	-29,57	-29,27	-22,86	16,31	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der ESG	-30,10	-29,51	-29,18	-27,45	16,07	18,56
λ <sub>eq</sub> gemäß Messung auf Basis der IV	-30,10	-29,59	-29,31	-20,98	16,42	18,56

