

DISSERTATION

Innendämmung

Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen und Untersuchungen zur Anwendungssicherheit von Innendämmsystemen in Abhängigkeit des Innenraumklimas

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Kreč
E253
Institut für Architektur und Entwerfen

Begutachtung durch

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jeanette Orlowsky
Prof. Dr. Ing. Harald Garrecht

**eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung**

von

Dipl.-Ing. Tobias Steiner

Matrikelnr. 00125845
Meiselstraße 51/1/1
1140 Wien

Wien, am 31.05.2020

Kurzfassung

Die zunehmende Nachfrage nach Innendämmung und deren ordnungsgemäßer Anwendung zeigen, dass die entsprechende Umsetzung wesentlich forciert werden muss. In den letzten Jahren wurde diesem Thema sowohl von Seiten der Forschung als auch von Seiten der Industrie zunehmend Bedeutung beigemessen. Der Schwerpunkt in diesem Forschungsbereich liegt dabei auf der hygrothermischen mehrdimensionalen Simulation zur Vorhersage des Systemverhaltens. Die für solche Simulationen erforderlichen Eingangsgrößen bzw. Ursachen-Wirkungs-Beziehungen sind in einigen Bereichen – z.B. Materialkennwerte – bereits weitgehend untersucht. In anderen Bereichen besteht hingegen verstärkt Forschungsbedarf.

Der Einfluss des Innenraumklimas auf die schadensfreie und dauerhafte Funktionstüchtigkeit von Innendämmsystemen wurde bislang nur unzureichend analysiert. Ebenso sind die Auswirkungen von Innendämmung auf das Innenraumklima bislang kaum erforscht. Die Untersuchung dieser Wechselwirkungen zwischen Innenraumklima und Innendämmung ist jedoch essenziell für eine ganzheitliche Betrachtung im Sinne der Gebrauchstauglichkeit sowie für das Ausräumen von Vorbehalten gegenüber der Anwendung von Innendämmung.

Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen der Dissertation anhand umfangreicher Parameterstudien der Einfluss von Innendämmung auf das Raumklima – sommerliche Temperaturverhalten von Räumen und thermischer Komfort – sowie der Einfluss des Raumklimas bzw. des Nutzerverhaltens auf die dauerhafte und schadensfreie Funktionstüchtigkeit von Innendämmsystemen untersucht.

Durch die systematische und detaillierte Analyse typischer Sanierungsszenarien werden Maßnahmenpakete und Innendämmsysteme identifiziert die sich positiv auf die Vermeidung sommerlicher Überwärmung auswirken. Anhand dieser Erkenntnisse werden allgemein gültige Empfehlungen für die Auswahl und Bemessung von Innendämmsystemen ausgesprochen wodurch im Planungs- bzw. Optimierungsprozess projektspezifisch bzw. raumbezogen die jeweils günstigste Lösung entwickelt werden kann.

Vor dem Hintergrund des bereits in den letzten beiden Jahrzehnten spür- und messbaren Trends zu höheren Außenlufttemperaturen im Sommer werden positive aber auch negative Auswirkungen einzelner Parameter hinsichtlich möglicher Temperaturabsenkung quantifiziert. Durch eine Klassifikation wird die Tatsache berücksichtigt, dass den Norm-Sommer-Berechnungen ein durchschnittlicher Sommer zugrunde gelegt wird. Dadurch kann das Optimierungspotential hinsichtlich sommerlichen Raumverhaltens voll ausgeschöpft werden.

Es wird gezeigt, dass die Applikation einer Innendämmung nicht zwangsläufig zu einer Verschlechterung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führt, sondern es bei geeigneter Kombination von Maßnahmen sogar zu einer Reduktion der maximal empfundenen

Temperaturen kommt und eine Innendämmung damit auch im Sommer zu einer Steigerung des thermischen Komforts beiträgt.

Die Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation zeigen mit zunehmendem energetischem Standard eine Reduktion von Stunden mit Übertemperatur im Sommer. Sie zeigen aber auch, dass der thermische Komfort nicht allein auf die Beurteilung sommerlicher Überwärmung gestützt werden darf.

Für instationäre hygrisch-thermische Bauteilsimulationen werden Handlungsempfehlungen für die Durchführung und Auswertung gegeben. Darüber hinaus werden Empfehlungen für die Bemessung und Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit einer Innendämmung hinsichtlich des Innenraumklimas ausgesprochen und damit Grenzen für die Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit formuliert.

Die Liste positiver Argumente für die Applikation einer Innendämmung wird damit um wesentliche Aspekte erweitert wodurch deren Anwendung und damit auch die Sanierungsrate forciert werden kann.

Schlagwörter

Innendämmung, thermische Sanierung, Parameterstudie, Modellraum, Modellgebäude, Vollziegelmauerwerk, Vermeidung sommerlicher Überwärmung, Empfundene Temperatur, Nachweisführung, thermische Gebäudesimulation, thermischer Komfort, Behaglichkeit, Klassifikation, Güteklassen, Innenraumklima, Klimadaten, instationäre hygrisch-thermische Simulation, Beurteilungskriterien, Wassergehalt, Schimmelpilzbildung, Bemessung, Dämmstoffdicke, Planungsempfehlungen, bauphysikalische Reserve, Gebrauchstauglichkeit

Abstract

The increasing demand for internal insulation and its proper application show that the corresponding implementation needs to be significantly accelerated. In recent years, this topic has been given increasing importance by both research and industry. The focus in this research area is on hygrothermal multi-dimensional simulation to predict system behavior. The input variables as well as the cause-and-effect relationships required for such simulations have already been extensively investigated in some areas - e.g. material characteristics. In other areas, by contrast, there is an increased need for research.

The influence of the indoor climate on the damage-free and durable functionality of interior insulation systems has not been sufficiently analysed to date. Likewise, the effects of interior insulation on the indoor climate have hardly been researched to date. The investigation of these interactions between indoor climate and interior insulation is, however, essential for a holistic view in terms of usability and for the elimination of reservations about the use of interior insulation.

The dissertation uses extensive parameter studies to investigate the influence of interior insulation on the indoor climate - summer temperature behavior of rooms and thermal comfort - as well as the influence of the indoor climate on the durable and damage-free functionality of interior insulation systems.

Through the systematic and detailed analysis of typical refurbishment scenarios, packages of measures and interior insulation systems are identified which have a positive effect on the prevention of summer overheating. On the basis of these results, generally valid recommendations for the selection and dimensioning of interior insulation systems are made, whereby the most favorable solution can be developed in the planning and optimization process for a specific project or room.

In view of the trend towards higher outdoor air temperatures in summer, which has already been noticeable and measurable in the last two decades, the positive and negative effects of individual parameters with regard to possible temperature reductions are quantified. A classification takes into account the fact that the standard summer calculations are based on an average summer. A classification allows the optimization potential with regard to summer room behavior to be fully exploited.

It is shown that the application of an interior insulation does not necessarily lead to a deterioration with regard to summer overheating, but with a suitable combination of measures it even leads to a reduction of the maximum operative temperatures and an interior insulation thus also contributes to an increase in thermal comfort in summer.

The results of the thermal building simulation show a reduction of hours with excess temperature in summer as the energy standard increases. However, they also show that thermal comfort must not be based solely on the assessment of summer overheating.

For transient hygrothermal component simulations, recommendations are given for implementation and evaluation. Furthermore, recommendations for the design and evaluation of the serviceability of an interior insulation with regard to the interior climate are given and thus limits for ensuring the serviceability are formulated.

The list of positive arguments for the application of an interior insulation is thus extended by essential aspects whereby its application and thus also the renovation rate can be forced.

Keywords

interior insulation, thermal refurbishment, parameter study, model room, model building, solid brick masonry, avoiding overheating in summer, operative temperature, verification, thermal building simulation, thermal comfort, classification, quality grades, indoor climate, climatic data, transient hygrothermal simulation, criteria for evaluation, moisture content, mould growth, sizing, insulation thickness, recommendations for planning, usability

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Wien, am 31.05.2020

Dipl.-Ing. Tobias Steiner

Vorwort

Die Erstellung dieser Dissertation wurde durch das IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. und ein Stipendium der Austrian Cooperative Research (ACR) aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr Innovation und Technologie finanziell unterstützt.

Ich danke meinen GutachterInnen Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jeanette Orlowsky und Prof. Dr. Ing. Harald Garrecht und meinem Doktorvater Ao. Univ. Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Kreč.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Problemstellung	10
1.2	Forschungsfrage.....	10
1.3	Ziel und Schwerpunkt der Arbeit.....	11
2	Einfluss der Innendämmung auf das Raumklima.....	12
2.1	Sommerliches Temperaturverhalten.....	15
2.1.1	Einleitung	15
2.1.2	Vorbemerkung	15
2.1.3	Fragestellung.....	25
2.1.4	Ergebnisse.....	26
2.1.5	Resümee und Empfehlungen	64
2.2	Thermischer Komfort	68
2.2.1	Einleitung	68
2.2.2	Vorbemerkung	68
2.2.3	Fragestellung.....	74
2.2.4	Ergebnisse.....	75
2.2.5	Resümee und Empfehlungen	112
3	Einfluss des Raumklimas auf die Innendämmung	118
3.1	Einleitung.....	118
3.2	Vorbemerkung	118
3.2.1	Allgemein	118
3.2.2	Dokumentation	119
3.2.3	Berechnungswerkzeug	120
3.2.4	Varianten und Parameter	121
3.2.5	Untersuchte Bereiche und Größen.....	122
3.2.6	Startzeitpunkt und Dauer der Simulation	125
3.2.7	Anfangsbedingungen.....	125
3.2.8	Materialdaten.....	125
3.2.9	Klimadaten.....	125
3.2.10	Beurteilungskriterien	139
3.3	Fragestellung	145
3.4	Ergebnisse.....	146
3.4.1	Messgrößenbezogene Zeitreihen.....	147

3.4.2	Jänner und 5. Jahr für Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	159
3.4.3	Jänner und 5. Jahr für Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“)	172
3.4.4	Risiko Schimmelpilzbildung	182
3.4.5	Wassergehalt im Dämmstoff	193
3.4.6	Eingeschwungener Zustand	205
3.4.7	Frost-Tau-Wechsel	209
3.4.8	Einfluss Außenklima „mittel“ und „kalt“	212
3.4.9	Einfluss Schlagregen und solare Direktstrahlung	216
3.4.10	Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2	221
3.5	Resümee und Empfehlungen	225
3.5.1	Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von instationären Simulationsberechnungen	225
3.5.2	Empfehlungen für die Bemessung und Beurteilung einer Innendämmung	226
4	Aktuelle Entwicklungen und Ausblick	230
5	Weiterführender Forschungsbedarf	234
	Literaturverzeichnis	235
	Abbildungsverzeichnis	241
	Tabellenverzeichnis	249
	Anhang	252
	<i>Anhang A – Modellgebäude und Testräume</i>	<i>252</i>
	<i>Anhang B – Konstruktionen</i>	<i>252</i>
	<i>Anhang C – Klimadaten</i>	<i>252</i>
	<i>Anhang D – Musterbericht Simulationsergebnisse</i>	<i>252</i>
	<i>Anhang E – Bezeichnung Simulationsdateien</i>	<i>252</i>
	<i>Anhang F – Liste mit Delphin simulierter Varianten</i>	<i>252</i>
	<i>Lebenslauf</i>	<i>252</i>

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Forderung nach energieeffizienten und nachhaltigen Sanierungslösungen für den oft denkmalgeschützten Gebäudebestand stellt Architekten und Planer ebenso wie Bauherren und Ausführende vor Herausforderungen. Dies betrifft insbesondere die Auswahl und Bewertung geeigneter Innendämmsysteme. Der Umgang mit neuen Materialien und Technologien erfordert nicht nur neue technische Lösungsansätze, sondern auch eine Weiterentwicklung der Planungs- und Beurteilungsstrategien. Damit wirtschaftliche und zugleich bautechnisch und bauphysikalisch überzeugende Gesamtlösungen entstehen können ist es daher erforderlich Planer, Architekten, Ausführende und Bauherren bei Projekten mit Innendämmung in einem frühen Planungsstadium mit Empfehlungen hinsichtlich sommerlicher Überwärmung und Gebrauchstauglichkeit bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen.

1.2 Forschungsfrage

Die zentrale Fragestellung lautet

- A) Welchen Einfluss hat Innendämmung auf das sommerliche Temperaturverhalten und den thermischen Komfort?
 - A.1 Wie variiert die maximal empfundene Temperatur der Testräume in Abhängigkeit von Standort, Raumgeometrie, Fensteranteil, Verschattung, Lüftung, Innendämmsystem und Dämmstoffdicke?
 - A.2 Welche Planungsempfehlungen können hinsichtlich Innendämmung und der Vermeidung sommerlicher Überwärmung abgeleitet werden?
 - A.3 Welche Planungsempfehlungen können hinsichtlich Innendämmung und der Optimierung des thermischen Komforts im jahresverlauf formuliert werden?

- B) Welche Empfehlungen können für Innendämmung hinsichtlich des Innenraumklimas formuliert werden um eine Gebrauchstauglichkeit dauerhaft sicherzustellen?
 - B.1 Welchen Einfluss haben Standort und Innenraumklima auf die Beurteilung bzw. Bemessung einer Innendämmung?
 - B.2 Welche Beurteilungskriterien sind für die Bemessung anhand instationärer hygrisch-thermischer Simulationsberechnungen heranzuziehen?

- B.3 Welche Feuchtezustände stellen sich in der Konstruktion ein und welche Grenzwerte können für die Bemessung definiert werden?
- B.4 Welche Unterschiede ergeben sich zwischen vereinfachter statischer und dynamischer Berechnung in der Beurteilung von Innendämmsystemen?
- B.5 Welche Kombinationen von Innenraumklima und Innendämmung sind als kritisch zu beurteilen?
- B.6 Welche Empfehlungen können zu Nachweisführung und Beurteilung hinsichtlich des Innenraumklimas abgeleitet werden?
- B.7 Welche Planungsempfehlungen können hinsichtlich Innendämmung und Innenraumklima abgeleitet werden?

1.3 Ziel und Schwerpunkt der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist A) die Bestimmung des Einflusses einer nachträglich applizierten Innendämmung auf das Raumklima (Kapitel 2) und B) die Formulierung von Empfehlungen für die Sicherstellung der dauerhaften Funktionstüchtigkeit einer Innendämmung hinsichtlich des Innenraumklimas (Kapitel 3).

Für A) werden für ausgewählte Bauweisen mit hoher Relevanz für den Sanierungsbereich kritische, mit hoher Wahrscheinlichkeit zu problematischen Raumklimasituationen führende Rahmenbedingungen identifiziert und mögliche Kombinationen der Einflussgrößen zur Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich der sommerlichen Überwärmung und der Gewährleistung eines hohen thermischen Komforts werden aufgezeigt. Untersucht werden Bestandsgebäude mit Wohnnutzung.

Da die dauerhafte und schadfreie Funktionstüchtigkeit einer Innendämmung – kurz Gebrauchstauglichkeit – maßgeblich durch das Innenraumklima beeinflusst wird, werden für (B) die Beziehung des Innenraumklimas auf die schadfreie Funktionstüchtigkeit von Innendämmung untersucht und Empfehlungen für die Bemessung und Beurteilung einer Innendämmung hinsichtlich des Raumklimas formuliert. Untersucht werden mineralische, diffusionsoffene und kapillar leitfähige Innendämmsysteme.

Diese beiden Zielsetzungen bzw. Fragenstellungen A) und B) lassen sich unabhängig voneinander verfolgen und beantworten und werden deshalb in dieser Arbeit getrennt voneinander behandelt.

2 Einfluss der Innendämmung auf das Raumklima

Ziel des Abschnitts A) dieser Arbeit ist die Ermittlung und Beurteilung des Einflusses einer nachträglich applizierten Innendämmung auf das Raumklima.

Das Temperaturverhalten von Räumen wird bestimmt durch äußere klimatische Bedingungen, solare Wärmeeinträge, Verschattung, Lüftungsverhalten, Bauweise und Nutzung. Diese, bislang überwiegend für außen gedämmte Konstruktionen bestimmten, Ursachen-Wirkungs-Beziehungen werden in dieser Arbeit für innengedämmte Konstruktionen untersucht, um sie so zu gestalten, dass das Ziel – ein hoher thermischer Komfort im Sommer, aber auch im gesamten Jahresverlauf – realisiert wird. Die Erkenntnisse werden für die Gestaltung von Ziel-Maßnahmen-Konzepten herangezogen, also in Planungsempfehlungen umformuliert.

Aufgrund Ihrer hohen Relevanz für den Sanierungsbereich werden für die Gründerzeitliche Bauweise (Vollziegelmauerwerk) damit auf der einen Seite kritische, mit hoher Wahrscheinlichkeit zu problematischen Raumklimasituationen führende Rahmenbedingungen identifiziert. Auf der anderen Seite werden so mögliche Kombinationen der Einflussgrößen zur Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich des sommerlichen Temperaturverhaltens und der Gewährleistung eines hohen thermischen Komforts im Jahresverlauf aufgezeigt.

Rein bauteilbasiert ist – auf Grund der Vielzahl und Wechselwirkung von Einfluss- und Wirkgrößen – keine Prognose über das Raumklima möglich. Beispielsweise beeinflussen sich Solare Einträge, Lüftung und speicherwirksame Masse des Raumes gegenseitig. Der Einfluss von Innendämmung auf das Raumklima kann deshalb nicht bauteilbasiert, sondern nur anhand repräsentativer Testräume untersucht werden.

„Um wirklich detaillierte Informationen über das thermisch dynamische Verhalten eines Raumes zu erhalten, müssen demnach instationäre Berechnungs- bzw. Simulationsverfahren zum Einsatz kommen. Erst dadurch werden die zum Teil komplexen Zusammenhänge realitätsnahe, d.h. physikalisch und in ihrem zeitlichen Verlauf korrekt, abgebildet.“ [1]

Diesem Schluss und dem bereits im Jahr 1975 in [2] geäußerten Wunsch nach einer systematischen und detaillierten Erforschung der Auswirkungen von baulichen Maßnahmen auf das Raumklima folgend, wird in dieser Arbeit anhand thermischer Simulationen und Parameterstudien der Einfluss von Innendämmsystemen auf das Raumklima und die Beziehung zwischen Dämmung, Nutzung, Standort und Raumgeometrie für Bestandsgebäude mit Wohnnutzung analysiert.

Die Untersuchung erfolgt unter Zuhilfenahme von 3 Berechnungswerkzeugen.

Für die Berechnung des Tagesverlaufs der empfundenen Temperatur – dem zweiten, neben dem vereinfachten Verfahren nach ÖNorm B 8110-3 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung* [3], zulässigen Verfahren für Sommertauglichkeitsnachweise in Österreich – kommt zum einen das Excel basierende Berechnungstool ‚Prototyp für Bauphysiksoftware Österreich‘ zur Anwendung. Es handelt sich dabei um ein Zeitschrittverfahren. Zum anderen wird der Tagesverlauf der empfundenen Temperatur anhand der auf dem Rechenkern von GEBA beruhenden Programmoberfläche Thesim3d berechnet. GEBA beruht auf einem periodisch eingeschwungenen Berechnungssatz (Periodenlänge: 1 Tag), mit dem Vorteil, dass die Zeitverläufe für jeweils nur einen Tag erhoben und eingegeben werden müssen. Die Beschreibung der Wärmeleitungs- und Wärmespeicherungsmechanismen erfolgt über das Bauteil-Matrizenverfahren. Beide von GEBA verwendeten Methoden zur planungsbegleitenden rechnerischen Simulation wurden in nationale und internationale Normen (ÖNorm B 8110-3 [3], EN ISO 13791 „*Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren*“ [4], EN ISO 13786 *Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren* [5] übernommen. Die über den Tagesverlauf hinausgehende Berechnung zur Bestimmung des thermischen Komforts im Jahresverlauf erfolgt unter Verwendung des Softwarepakets TRNSYS. Eine kurze Beschreibung der verwendeten Berechnungssoftware gibt Kapitel 1.1.2.2.

Wie in der Arbeit [1] gezeigt ist das Programmpaket TRNSYS nach der EN ISO 13791 [4] validiert. GEBA und das Excel-Tool als Prototyp für Bauphysiksoftware sind zwar nicht nach der EN ISO 13791, dafür aber nach der besten Klasse 1 der EN ISO 13792 „*Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Vereinfachtes Berechnungsverfahren*“ [6], die eine Abweichung von maximal 1 K zulässt, validiert.

Generell wird davon ausgegangen, dass die nachträgliche Applikation einer Innendämmung – im Vergleich zur ungedämmten Bestandskonstruktion – zu einer Erhöhung der Tagesamplitude der mittleren Raumlufttemperatur führt und damit negative Auswirkungen auf das sommerliche Temperaturverhalten hat. So wird beispielsweise in [1] ausgeführt, dass

..die Bauweise den Tagesverlauf nur in dem Sinn beeinflusst, dass die Tagesamplitude mit wachsender Wärmespeicherfähigkeit der raumbegrenzenden Bauteile kleiner wird.

.. die effektive Speicherfähigkeit eines massiven Bauteils - beispielsweise durch eine Installationsebene bzw. Innendämmung stark gemindert wird.

Als Ursache dafür wird angeführt, dass

..mit geringerer Wärmeleitfähigkeit in beschränkter Zeit (z.B. der Tagesperiode) nur ein kleiner Anteil an Wärme in geringe Tiefe (in Richtung des Wärmestroms)

des Bauteils eindringen kann und somit weniger Masse für die Wärmespeicherung aktiviert wird. [1]

Auch die Arbeitsgruppe um Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg Ressourcenorientiertes Bauen am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Universität für Bodenkultur Wien nimmt in einem aus Mitteln der Wohnbauforschung geförderten Projekt zur Sommertauglichkeit im Gebäudebestand [7] Bezug zur nachträglichen Applikation einer Innendämmung. Mit folgendem Ergebnis:

Ideale Wärmespeicher sind z.B. ... schwere Ziegelwände. ... Werden massive Bauteilschichten durch wärmedämmende Vorsatzschalen abgedeckt, vermindert sich deutlich die speicherwirksame Masse. In diesem Fall droht die Überhitzung nicht nur in den Sommermonaten, sondern auch in den Übergangszeiten Herbst und Frühling.

Im Winter ist hingegen im Vergleich zur ungedämmten Bestandskonstruktion von einer Erhöhung der Oberflächentemperaturen der innen gedämmten Außenwände und einer damit verbundenen Steigerung des thermischen Komforts auszugehen.

Durch die Prognose der Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich sommerlicher Überwärmung sowie durch die Beurteilung des thermischen Komforts im Jahresverlauf kann die Anwendungssicherheit von innen gedämmten Räumen gesteigert werden.

Anhand der Untersuchungen werden problematische Konstruktionen und ungünstige Konstellationen der Einflussgrößen aufgezeigt. Umgekehrt formuliert werden anhand der Untersuchungen geeignete Konstruktionen und günstige Konstellationen der Einflussgrößen aufgezeigt.

Erklärt wird also der Einfluss von Innendämmung auf das sommerliche Temperaturverhalten von Räumen und der Einfluss von Innendämmung auf den thermischen Komfort im Jahresverlauf.

2.1 Sommerliches Temperaturverhalten

2.1.1 Einleitung

Das sommerliche Temperaturverhalten von Räumen, und damit auch der Einfluss von Innendämmung auf dieses, kann mit Hilfe der Bestimmung der sommerlichen Überwärmung untersucht und dargestellt werden.

Entsprechend ÖNORM B 8110, Teil 3 [3] gilt sommerliche Überwärmung in Wohngebäuden als vermieden, wenn die empfundene Temperatur – auch als operative Raumtemperatur bezeichnet – während einer Hitzeperiode eine festgelegte Grenztemperatur von 27 °C am Tag und 25 °C in der Nacht nicht überschreitet. Wird dieser Nachweis für einen als kritisch zu betrachtenden Einzelraum des Gebäudes erbracht, so kann auch für alle übrigen Räume von einer Unterschreitung der Grenztemperatur ausgegangen werden. Für verschiedene Modellgebäude mit Wohnnutzung werden deshalb kritische Testräume definiert und für verschiedene Konstruktionsvarianten untersucht (vgl. [8]).

2.1.2 Vorbemerkung

Als kritischer Raum wird dazu jeweils ein süd- oder südwestorientierter, relativ kleiner Wohnraum mit einer Belegung zwischen 8:00 und 20:00 angenommen (Wohnraumnutzung nach ÖNORM B 8110-3, Tabelle E.1 [9]). Die inneren flächenbezogenen Wärmegewinne infolge Personen und Geräte werden gemäß ÖNorm B 8110-6 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf* [10] mit 7,21 W/m² bezogen auf die Nutzfläche berücksichtigt, was einer Wärmeabgabe pro Person von 80 Watt entspricht. Die an den Testraum – auch als Modellraum bezeichnet – angrenzenden Innenräume werden als Räume gleicher Nutzung angesetzt. In der Berechnung wird ihnen jeweils gleiches Temperaturverhalten wie dem Testraum selbst unterstellt (vgl. [8]).

Die Berechnung des Tagesganges der empfundenen Raumtemperatur im zeitlich periodisch eingeschwungenen Zustand, erfolgt unter Zuhilfenahme des auf Excel basierenden Berechnungstool ‚Prototyp für Bauphysiksoftware Österreich‘. Für ausgewählte Varianten erfolgt die Untersuchung anhand der auf dem Rechenkern von GEBA beruhenden Programmoberfläche Thesim3d.

Die Durchführung der Parameterstudien erfolgt mit einem für diese Arbeit entwickelten Variantenfile, welches auf Visual Basic Application (VBA) basiert. In diesem werden die für die Berechnung erforderlichen Eingabeparameter zusammengestellt und nach der Berechnung durch die Ergebnisdaten ergänzt. Die weitere Auswertung erfolgt mittels Softwarepaket R für das die Daten im csv-Format aufbereitet werden.

2.1.2.1 Testräume

Der Fokus dieser Arbeit wird auf Wohngebäude gelegt und beschränkt sich dabei auf Bestandsbauten. Ausgangsbasis der Untersuchung bilden die für Sommertauglichkeitsstudien im Projekt GEBINT [8] entwickelten – statistisch fundierten und

repräsentativen – Modellgebäude Kleingartenhaus „GKZ“, Einfamilienhaus „EFH“, Reihenhaus „RH“. Als urbanes Mehrfamilienhaus „MFH“ wird das im Zuge einer Machbarkeitsstudie bei [11] beschriebene „typische“ Wiener Gründerzeitgebäude Novaragasse 49 untersucht. Um dem Umstand gerecht zu werden, dass Innendämmung überwiegend in der Gebäudesanierung Einsatz findet, werden zur Beantwortung der Forschungsfrage die Modellgebäude hinsichtlich Bauteilaufbau und Bauteilkenndaten adaptiert. Adaptiert werden dabei sowohl Wandbildner als auch Dämmsystem.

Die Baukörper werden nord-süd-orientiert untersucht. Bei der Bestimmung der Personenbelegung der Modellgebäude wird von einer durchschnittlichen Nutzfläche von 43 m² pro Person (42,9 m² lt. Statistik Austria 2009) ausgegangen. Für das Mehrfamilienhaus werden 2 kritische Modellräume der Richtung Süd-West orientierten Wohnung – „SW02“ und „SW03“ – definiert und untersucht (Abbildung 1).

Eine Beschreibung der Modellgebäude bzw. der Testräume gibt Anhang A.

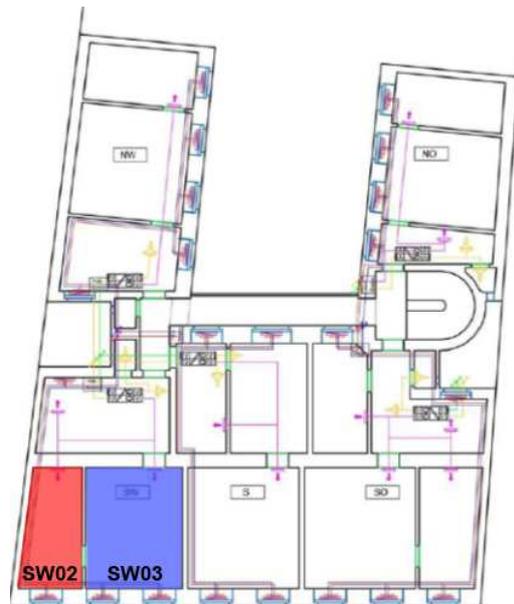


Abbildung 1 „typisches“ Wiener Gründerzeitgebäude (Quelle: [11], (o.M.))

Materialkennwerte

Die für die Berechnung des sommerlichen Temperaturverhaltens herangezogenen bauphysikalischen Materialkennwerte – wie Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK], Dichte ρ [kg/m³] und spezifische Wärmekapazität c [J/kgK] – entstammen der Onlineversion des IBO Passivhaus Bauteilkatalogs [12] sowie der Materialdatenbibliothek des Programmpakets Delphin [13]. Diese Kennwerte werden mit dem Materialdatenkatalog [14], dem VDI Wärmeatlas [15] und dem Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen [16] sowie der ÖNorm EN 12524 *Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte* [17], der DIN 4108-4 *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswert* [18] und Produktdatenblättern abgeglichen.

Konstruktion Bestand

Zur Ermittlung des Einflusses nachträglich applizierter Innendämmung auf das sommerliche Temperaturverhalten wird in einem ersten Schritt eine Analyse der Bestandskonstruktionen durchgeführt. Die Ausarbeitung der Prototypen spielt dabei zusammen mit der Auswahl der zu untersuchenden Parameter und der Entwicklung einer Struktur für die Durchführung der Simulationsreihen eine entscheidende Rolle.

Da für die Formulierung allgemeingültiger Planungsempfehlungen repräsentative Konstruktionen erforderlich sind, werden für die Prototypenentwicklung Bauungsbestimmungen, Benchmarks und statistische Daten herangezogen. Daraus abgeleitet wird die Bestandskonstruktion als Massivbauweise in Vollziegelmauerwerk festgelegt. Für die Berechnung des Modellgebäudes Gründerzeit-Mehrfamilienwohnhaus (MFH) werden die geschoßspezifische Mauerwerksdicke und die sich daraus ergebende Variation in den Bauteilflächen berücksichtigt.

Dämmstoffdicke

Bei der Untersuchung des sommerlichen Temperaturverhaltens wird die Dicke der applizierten Innendämmung mit 8 cm bis 10 cm angenommen. Für die Außenwand des Erdgeschoßes mit einer Dicke von 63 cm ergibt sich bei der Applikation einer Perlitedämmplatte „ID02“ von 8 cm ein Wärmedurchgangskoeffizient von $U=0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Tabelle 61 Anhang B). Dies entspricht den in OIB Richtlinie 6 [19] geforderten bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz für Außenwände.

Innendämmsysteme

Tabelle 1 beschreibt die Bauteilschichten der untersuchten Innendämmsysteme inklusive ihrer Schichtdicke und ihrer Baustoffkennwerte.

Tabelle 1 Innendämmsysteme mit Schichtdicke und Baustoffkennwerten

	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
„ID01“ - Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz				
Kalkzementputz	0,015	0,550	1116	1800
ZellulosefaserflockenWände	0,080	0,040	1900	80
ID02 - Perlitedämmplatte mit Innenputz				
Innenputz	0,010	0,410	1358	1094
Perlitedämmplatte	0,080	0,047	1131	158
Mineralischer Kleber	0,010	0,289	1461	1164
ID03 - Calciumsilikatplatte mit Innenputz				
Innenputz	0,015	0,410	1358	1094
Calciumsilikatplatte	0,100	0,060	1000	170
Mineralischer Kleber	0,010	0,289	1461	1164
ID04 – Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz				
Oberputz	0,015	0,097	1200	500
Grundputz	0,005	0,700	900	1600
Aerogeldämmplatte	0,060	0,016	1000	150
Mineralischer Kleber	0,010	0,289	1461	1164
ID05 - Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz				
Oberputz	0,015	0,097	1200	500
Grundputz	0,005	0,700	900	1600
Perlitedämmplatte	0,080	0,045	1131	120
Mineralischer Kleber	0,010	0,289	1461	1164
ID06 - Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz				
Lehmputz	0,020	0,810	1000	1700
Holzfasерplatte	0,060	0,058	1474	250
Lehmörtel	0,020	0,900	1000	1800
ID07 - Schilf/Strohplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz				
Lehmputz	0,020	0,810	1000	1700
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,100	0,056	2000	190
Lehmörtel	0,020	0,900	1000	1800
ID08 - Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz				
Innenputz	0,015	0,410	1358	1094
Kaltbitumenkleber	0,002	0,230	1260	1050
Schaumglas	0,080	0,045	840	120
Kaltbitumenkleber	0,002	0,230	1260	1050
ID09 - Vakuumisulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz				
Innenputz	0,015	0,410	1358	1094
Kaltbitumenkleber	0,002	0,230	1260	1050
Vakuumisulationspanel	0,020	0,008	1000	190
Kaltbitumenkleber	0,002	0,230	1260	1050

2.1.2.2 Berechnungssoftware

Prototyp für Bauphysiksoftware Österreich

Der im Forschungsbereich für Bauphysik und Akustik am Institut für Hochbau und Technologie der TU-Wien von Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar für die Diskussion im ÖNorm-Arbeitsgremium ON AG 175-01 sowie die Lehre entwickelte Software-Prototyp [6] basiert auf dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel von Microsoft. Es erlaubt die dynamische Berechnung der sommerlichen Raumtemperatur in einem quaderförmigen Raum mit 4 Wänden – W1 (Süden), W2 (Osten), W3 (Norden), W4 (Westen) –, Boden, und Decke. Das Berechnungsmodell, welches nach [20] den Vorgaben der EN ISO 13791 [4] und EN ISO 13792 [6] entspricht, wird in [20], [21], [22] und [23] konzeptionell vorgestellt.

Entsprechend EN ISO 13791 [4] wird ein vereinfachtes Verfahren zur Lösung der Differentialgleichungen in Excel abgebildet. Die Abbildung der Bauteile erfolgt durch die innere und äußere wirksame Wärmekapazität entsprechend EN ISO 13786 [24], der auftriebsinduzierte Luftaustausch über gekippte oder offene Fenster wird entsprechend EN ISO 13791 [4] abgebildet. Die Berechnung erfolgt in Zeitschritten.

GEBA und Thesim3D

Das Programmpaket mit dem Rechenkern von GEBA und der im Zuge der Dissertation von Nackler entwickelten Programmoberfläche Thesim3d dient zur Berechnung von Raumluft-, Bauteil- und empfundenen Temperaturen im Tagesverlauf bei vorgegebenen Heiz- oder Kühlleistung und/oder jener Heiz- und/oder Kühlleistung, die zur Einhaltung vorgegebener Raumlufttemperaturen erforderlich sind.

Das Programmpaket simuliert das thermischen Verhalten von Räumen, Raumgruppen und ganzen Gebäuden im periodisch eingeschwungenen Zustand (Periodenlänge: 1 Tag). Es ist insbesondere geeignet für normgemäße Sommertauglichkeitsuntersuchungen (z. B. gemäß EN ISO 13791 [4] oder ÖNORM B 8110-3 [3]) und für dynamische Heiz- und Kühllastberechnungen. Weiter führende Informationen zum Programmhintergrund gibt [25].

2.1.2.3 Varianten und Parameter

Wesentliche Einflussgrößen auf das sommerliche Temperaturverhalten sind Standort, Lüftung, Bauweise und Nutzer. Diese Parameter und Annahmen zur Berechnung werden nachfolgend beschrieben.

Es wird ein quaderförmiger Raum mit 4 Wänden, Boden, Decke berechnet. Als Eingabegrößen für die Berechnung werden Aufbauten (intern, wenn sie gegen einen Nachbarraum gehen, extern wenn sie gegen Außenluft gehen), Klima, Geometrie und Fenster (differenziert nach offenbar und nicht offenbar, sowie die Kenndaten des jeweiligen Sonnenschutzes) definiert. Weiter wird der Wärmeeintrag durch Personen und Geräte sowie der hygienisch notwendige Luftwechsel werden berücksichtigt. Für die Luftdichtheit, den Widerstand, den ein Gebäude dem Durchströmen von Luft (Konvektion) entgegensetzt (WTA Merkblatt 6-9 *Luftdichtheit im Bestand Teil1: Grundlagen der Planung* [26]) wird eine

Luftwechselrate bei 50 Pa (n_{50} Wert, ÖNorm EN 13829 *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren* [27]) von $1,5 \text{ h}^{-1}$ angesetzt was dem Grenzwert der Gebäudeluftdichtheit nach einer Komplettanierung mit ventilatorgestützter Lüftung bzw. dem Zielwert für Gebäude mit einem Innenvolumen über 1500 m^3 [26]) entspricht. Bei der Simulation wird für die Fensterlüftung nachts (22:00 - 06:00) zwischen „zu“, „gekippt“ oder „offen“ unterschieden.

Standort

Die lokalen klimatischen Gegebenheiten spielen bei der energetischen Optimierung von Gebäuden eine entscheidende Rolle, daher werden für die Simulationsstudien Standorte in unterschiedlichen österreichischen Klimazonen ausgewählt. Die Auswahl der Standorte Wien, Innsbruck, Klagenfurt und Mallnitz erfolgt anhand der Kriterien Klimazone, Höhenlage und lokaler Bautätigkeit. Gemäß ÖNorm B 8110-3 [3] ist mit jenem Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur zu rechnen, dessen Überschreitungshäufigkeit 130 Tage in 10 Jahren beträgt. Für die ausgewählten Standorte werden dazu unter Zugriff auf das Programmpaket OEKLIM [28] mit neuester Klimadatenbasis folgende Werte ermittelt:

- Wien
 - Klimaregion Nord , Referenzstandort
 - Lage: $48^{\circ} 13' \text{ N}$, $16^{\circ} 22' \text{ O}$
 - Seehöhe: 170 m
 - Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur: $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Innsbruck
 - Klimaregion Nord – Föhngebiet, Standort mit relativ hohen Strahlungsgewinnen
 - Lage: $47^{\circ} 16' \text{ N}$, $11^{\circ} 24' \text{ O}$
 - Seehöhe: 570 m
 - Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur: $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Klagenfurt
 - Klimaregion Beckenlandschaften im Süden, Standort mit relativ niedrigen Temperaturen
 - Lage: $46^{\circ} 37' \text{ N}$, $14^{\circ} 19' \text{ O}$
 - Seehöhe: 450 m
 - Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur: $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Mallnitz
 - Klimaregion Beckenlandschaft im Süden, Standort in alpiner Lage
 - Lage: $46^{\circ} 59' \text{ N}$, $13^{\circ} 10' \text{ O}$
 - Seehöhe: 1191 m
 - Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur: $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Die Tagesamplitude wird entsprechend der ÖNORM B 8110-3 [3] mit 14 K angenommen und das Datum für die Berechnung – mit den dazugehörigen Bestrahlungsstärken – mit 15. Juli festgelegt. Die Normalstrahlungsintensität (S) wird mit 1322 W/m^2 , der Reitz'sche Trübungsfaktor (K) mit 0,333, die Reflektionszahl der terrestrischen Umgebung (p) mit 0,2, der Link'sche Trübungsfaktor (T) mit 4,5 und die Bodentemperatur mit $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ festgelegt.

Lüftung, Luftdichtheit, Verschattung

Die Raumlüftung, insbesondere die Nachtlüftung und der Sonnenschutz stellen ein wirksames Mittel zur Vermeidung der Raumüberwärmung durch Sonneneinstrahlung dar. Die Nachtlüftung kann in der Regel zu einer wirksamen Wärmeabfuhr genutzt werden. Für die Taglüftung hat dies nur dann Gültigkeit, wenn die Außentemperatur nicht über der Innentemperatur liegt. Bei der Berechnung des Temperaturverlaufes werden offenbare Fenster, Fenstertüren und anderen Lüftungsöffnungen sowohl zur Sicherstellung des hygienischen Luftvolumenstromes als auch der erhöhten Nachtlüftung berücksichtigt. (vgl. [3])

Da die nächtliche Dauerlüftung unter Beachtung notwendiger Sicherheitserfordernisse (Sturm, Schlagregen, Einbruch) und des Schallschutzes sicherzustellen ist werden für die nächtliche Lüftung folgende Zustände der Fenster untersucht:

„offen“, „gekippt“ und „zu“.

Für die Abbildung einer effektiven Nachtlüftung wird der Lüftungsgang jeweils so festgelegt, dass die Lüftung nur dann unterbrochen wird, wenn die Außenlufttemperatur die Innenlufttemperatur übersteigt. Die Luftwechselzahl wird entsprechend ÖNORM B 8110-3, Tabelle 3 [3] angesetzt. Die an den Testraum angrenzenden Innenräume werden als Räume gleicher Nutzung definiert. In der Simulation wird ihnen jeweils ein gleiches Temperaturverhalten wie dem Testraum selbst unterstellt. Für die Untersuchung des sommerlichen Temperaturverhaltens mit dem xls-Berechnungs-Werkzeug wird für die Luftdichtheit eine Luftwechselrate von $1,5 \text{ h}^{-1}$ bei 50 Pa angenommen. Es wird keine raumlüfttechnische Anlage berücksichtigt.

Neben der Nachtlüftung ist ein effektiver Sonnenschutz für das Erreichen der Sommertauglichkeit in der Regel unverzichtbar. In den Simulationsberechnungen werden daher folgende Verschattungsszenarien untersucht:

- Ohne Verschattung („ohne“)
- Außenliegende Verschattung („aussen“), Transmission 0,23, Reflexion 0,6 (Abminderungsfaktor $z = 0,27$ (unterlüftete bewegliche Außenjalousie nach ÖNORM B 8110-3, Tabelle 7 [3]) während des gesamten Einstrahlungszeitraums zwischen 05:00 und 22:00 angenommen)
- Innenliegende Verschattung („innen“), Transmission 0,2, Reflexion 0,2 (während des gesamten Einstrahlungszeitraums zwischen 05:00 und 22:00 angenommen).

Fenster

Für die Untersuchung des sommerlichen Temperaturverhaltens werden bestehende Kastenfenster ($U_g=2,91$, $U_f=1,24$, Glasrandverbund $\psi=0,155$) und sanierte Kastenfenster entsprechend Wiener-Komfort-Fenster ($U_g=1,02$, $U_f=1,24$, Glasrandverbund $\psi=0,043$) berücksichtigt. Die Orientierung der Fenster wird mit Süden angenommen. Der Modellraum „SW02“ hat 1 Fenster. Der Modellraum „SW03“ hat 2 Fenster. Für die Modellräume

Kleingartenwohnhaus „GZH“, Einfamilienhaus „EFH“ und Reihenhaus „RH“ wird eine mindesterforderliche Glaslichte von 10 % der Nettofläche entsprechend der Anforderung der OIB Richtlinie 3 festgelegt. Für die Modellräume „GZH“, „EFH“ und „RH“ wird jeweils eine weitere Variante „V2“ definiert bei welcher der Anteil der Glaslichte von 10 % „V1“ auf 20 % „V2“ vergrößert wird.

Nutzung

Zur Untersuchung des sommerlichen Temperaturverhaltens wird mit einer inneren Last aus Personenbelegung und Geräten von 7,21 Watt je Quadratmeter Nutzfläche gerechnet. Dies entspricht bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) mit 13,44 m² 97 Watt (1 Person), bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) mit 23,32 m² 168 Watt (2 Personen). Die Anwesenheit wird zwischen 08:00 und 20:00 angenommen.

Modellgebäude, Modellräume und Bauweise

Für die Modellgebäude, bzw. Modellräume werden Wandbildner, Decken und Bodenaufbau definiert, wobei diese je nach Geschoß durch bautechnische Erfordernisse in Dicke und Ausführung variieren. Eine Aufstellung der Flächen und Aufbauten mit ihren bauphysikalischen Eigenschaften gibt Anhang A.

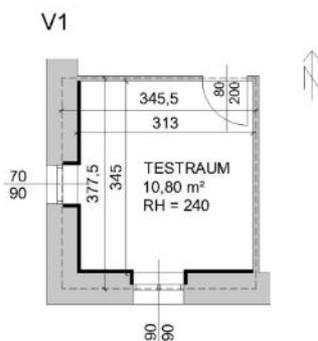


Abbildung 2 Modellraum Kleingartenhaus für ganzjähriges Wohnen „GZH“, kleiner süd-westorientierter Wohnraum im Obergeschoß, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, Nettofläche 10,80 m², Glasfläche „GZH V1“: 1,19 m² süd- und 0,48 m² westorientiert, ges. 1,66 m² (mindesterforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10 % der NFL), Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter raumseitiger Oberfläche 28,59 %.



Abbildung 3 Modellraum Einfamilienhaus „EFH“, süd-westorientierter Wohnraum im Obergeschoß, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, Nettofläche 16,62 m², Glasfläche „EFH V1“: 1,19 m² süd- und 0,48 m² westorientierte Glasfläche, ges. 1,66 m² (mindest-erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10 % der NFL), Glasfläche „EFH V2“: 2,37 m² süd- und 0,48 m² westorientierte Glasfläche, ges. 2,84 m² (2x südorientierten Glasfläche von „V1“), Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter raumseitiger Oberfläche „EFH V1“ 26,95 %, „EFH V2“ 25,53 %.

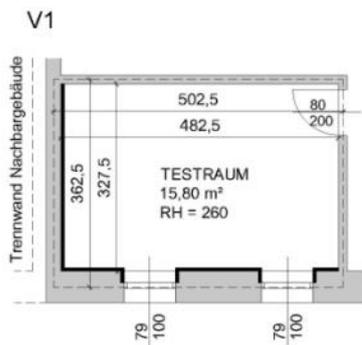


Abbildung 4 Modellraum Reihenhaus „RH“, südorientierter Wohnraum im Obergeschoß, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, Nettfläche 15,80 m², Glasfläche „RH V1“: 1,58 m² südorientierte Glasfläche (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10 % der NFL), Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter raumseitiger Oberfläche 27,60 %.

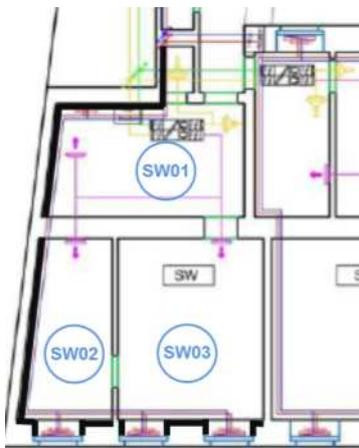


Abbildung 5 Nord-Süd-orientiertes „typisches Gründerzeit - Mehrfamilienhaus, Bauklasse III, geschlossene Bauweise, Wohnung SW bestehend aus den Räumen „SW01“ 19,45 m², „SW02“ 13,45 m², „SW03“ 23,32 m² und WC 1 m² (Gesamtnutzfläche 57,22 m²), BGF 77,84 m², Raumhöhe 3,52 m, beheiztes Bruttovolumen 274 m³.

2.1.2.4 Beurteilungskriterien

Für die Beurteilung des Einflusses der Innendämmung auf das Raumklima im Sommer kann ÖNORM B 8110, Teil 3 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung* [3] herangezogen werden. Dort gilt sommerliche Überwärmung in Wohngebäuden als vermieden, wenn die operative Raumtemperatur während einer Hitzeperiode eine festgelegte Grenztemperatur von 27 °C am Tag und 25 °C in der Nacht nicht überschreitet.

Um dies beurteilen zu können ist die Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur erforderlich. Abschnitt 7 der ÖNorm B 8110-3 gibt dafür die Außenklima-Randbedingungen, den Umgang mit Nachbarräumen, anzunehmende innere Lasten, Annahmen zur Lüftung und Sonnenschutz vor. Herauszustreichen ist, dass der Berechnung ein durchschnittlicher Sommer zugrunde gelegt wird. Die operative Temperatur – anschaulicher, als empfundene Temperatur bezeichnet – ist eine fiktive gleichmäßige Umgebungstemperatur, bei der eine Person die gleiche Wärmemenge durch Strahlung und Konvektion austauschen würde wie in dem untersuchten Testraum. In guter Näherung kann die empfundene Temperatur als Mittel aus Luft- und Oberflächentemperaturen beschrieben werden. Wird dieser Nachweis für einen als kritisch zu betrachtenden Einzelraum des Gebäudes erbracht, so kann auch für alle übrigen Räume von einer Unterschreitung der Grenztemperatur ausgegangen werden.

Sowohl bei Verwendung des vereinfachten Verfahrens als auch bei Zugriff auf die Mittel der thermischen Gebäudesimulation läuft dieser Nachweis auf eine „ja/nein“-Entscheidung hinaus. Dies hat zu einer untergeordneten Bedeutung des Sommerverhaltens von Gebäuden geführt. Um dem Sommerverhalten größere Aufmerksamkeit zukommen zu lassen wurde deshalb der Wechsel von der einer „ja/nein“-Entscheidung hin zu einer Zuordnung des sommerlichen Raumverhaltens zu Güteklassen forciert. Diese Vorgehensweise erlaubt es das Optimierungspotential hinsichtlich sommerlichen Raumverhaltens besser auszuschöpfen. (vgl. [29])

Da der Berechnung ein durchschnittlicher Sommer zugrunde gelegt wird können extreme Sommer mit einer ja/nein-Entscheidung nicht näher beurteilt werden. Eine Klassifizierung in Form von Güteklassen ist also auch vor dem Hintergrund des bereits in den letzten beiden Jahrzehnten spür- und messbaren Trends zu höheren Außenlufttemperaturen im Sommer zielführend.

Die Klassifizierung der sommerlichen Überwärmung erfolgt durch die Berechnung der empfundenen Temperatur gemäß Abschnitt 7 mit einer Variation des Tagesmittelwerts der anzunehmenden Außentemperatur. Die Darstellung erfolgt in Form von Güteklassen nach dem normativen Anhang der ÖNorm B 8110, Teil 3 [3] wobei diese wie folgt festgelegt sind:

- **Güteklasse D** (-3 °C) Die Anforderungen werden nicht erfüllt, wenn der Außentemperaturverlauf gegenüber Abschnitt 7 um 3 K erniedrigt wird.
- **Güteklasse C** (-1.5 °C) Die Anforderungen werden nur erfüllt, wenn der Außentemperaturverlauf gegenüber Abschnitt 7 um 1,5 K erniedrigt wird.
- **Güteklasse B** (sommertauglich) Die Anforderungen werden erfüllt, wenn der Außentemperaturverlauf gemäß Abschnitt 7 verwendet wird.
- **Güteklasse A** (gut sommertauglich) (+1.5 °C) Die Anforderungen werden auch erfüllt, wenn der Außentemperaturverlauf gegenüber Abschnitt 7 um 1,5 K erhöht wird.
- **Güteklasse A+** (sehr gut sommertauglich) (+3 °C) Die Anforderungen werden auch erfüllt, wenn der Außentemperaturverlauf gegenüber Abschnitt 7 um 3 K erhöht wird.

2.1.3 Fragestellung

Die zentrale Fragestellung lautet:

A) Welchen Einfluss hat Innendämmung auf das sommerliche Temperaturverhalten (sommerliche Überwärmung)?

Davon abgeleitet ergeben sich folgende Teilfragen, die beantwortet werden:

A.1) Wie variiert die maximale empfundene Temperatur der Testräume in Abhängigkeit von Standort, Raumgeometrie, Fensteranteil, Verschattung, Lüftung, Innendämmsystem und Dämmstoffdicke?

A.2) Welche Planungsempfehlungen können hinsichtlich Innendämmung und der Vermeidung sommerlicher Überwärmung abgeleitet werden?

2.1.4 Ergebnisse

2.1.4.1 Einleitung

Um den Einfluss der Innendämmung auf das sommerliche Temperaturverhalten zu beurteilen und Planungsempfehlungen daraus ableiten zu können ist eine detaillierte Analyse der maßgeblichen Einflussgrößen Standort, Lüftung – womit stets die Nachtlüftung gemeint ist –, Verschattung, Raumgeometrie und Nutzung – sowohl für den ungedämmten Bestand, wie auch die Varianten mit Innendämmung – erforderlich. Insgesamt werden für 4 Modellgebäude in 5 Testräumen insgesamt 10.080 verschiedene Varianten untersucht, wobei für jede Variante zur Ermittlung der Güteklasse 5 Rechendurchgängen erforderlich sind, woraus sich eine Gesamtsumme von 50.400 Berechnungen ergibt (Table 1). Die Ergebnisse dieser Analyse werden nachfolgend auszugsweise dargestellt.

Table 1 Übersicht zu den 10.080 untersuchten Varianten und 50.400 durchgeführten Berechnungen

4 Modellgebäude, 5 Testräume, insgesamt 10.080 Varianten und 50.400 Berechnungen		MFH				RH		EFH						GZH			
		SW02		SW03		V1		V1		V2		V1 cm ID04		V1 cm ID05		V1	
		Parameter	Anzahl Varianten	Parameter	Anzahl Varianten	Parameter	Anzahl Varianten	Parameter	Anzahl Varianten								
Parameter / Summe Varianten		2880		2880		720		720		720		720		720		720	
4x Geschoss	EG	x	720	x	720	x	720	x	720								
	OG1/OG2	x	720	x	720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	OG3	x	720	x	720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	OG4	x	720	x	720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3x Lüftung	10cmGEKIPPT	x	960	x	960	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240
	OFFEN	x	960	x	960	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240
	ZU	x	960	x	960	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240
3x Verschatt- ung	Außen	x	960	x	960	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240
	Innen	x	960	x	960	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240
	Ohne	x	960	x	960	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240	x	240
4x Standort	Innsbruck	x	720	x	720	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180
	Klagenfurt	x	720	x	720	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180
	Mallnitz	x	720	x	720	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180
	Wien	x	720	x	720	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180	x	180
2x Fenster	Bestand	x	1440	x	1440	x	360	x	360	x	360	x	360	x	360	x	360
	saniert	x	1140	x	1140	x	360	x	360	x	360	x	360	x	360	x	360
10x System	ID00	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID01	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID02	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID03	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID04	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID05	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID06	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID07	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID08	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
	ID09	x	288	x	288	x	72	x	72	x	72	-	-	-	-	x	72
10x Dämmdicke	0 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	3 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	6 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	9 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	12 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	15 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	18 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	21 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
	24 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-
27 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	72	x	72	-	-	

Ergebnisgrößen

Die Untersuchung des sommerlichen Temperaturverhaltens erfolgt durch die Beurteilung der sommerlichen Überwärmung für die im Wesentlichen das Maximum des berechneten Tagesverlaufs der empfundenen Temperatur ausschlaggebend ist. Die empfundene Temperatur wird dabei aus dem Mittel von Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile gebildet.

Die Klassifizierung der Ergebnisse zur sommerlichen Überwärmung erfolgt durch die Berechnung der empfundenen Temperatur mit einer Variation des Tagesmittelwerts der anzunehmenden Außentemperatur. Die Darstellung erfolgt in Form von Güteklassen.

Darstellung der Ergebnisse

Nachfolgend werden in der Regel in einer Darstellung mehrere Parameter zusammengefasst dargestellt. Weiter wird in den Diagrammen das Ergebnis verschiedener Testräume – beispielsweise „SW02“ (schwarz-blau) und Testraum „SW03“ (grau-rosa) gemeinsam dargestellt. Durch dieses Vorgehen kann die Anzahl der Diagramme deutlich reduziert und damit die Vergleichbarkeit erleichtert werden. Durch das Zusammenfassen von Parametern in einer Darstellung (z.B. in Abbildung 5, in der die Art der Lüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“ zusammengefasst wird) werden zudem allgemeingültige Aussagen möglich wie: „Am Standort Innsbruck erfüllen alle Varianten mit außen liegender Verschattung die Anforderungen zur sommerlichen Überwärmung – unabhängig von der Art der Lüftung“. Für eine detaillierte Analyse ist eine zusammenfassende Darstellung in der Regel ungeeignet. So wird beispielsweise für die Darstellung des Einflusses der Art der Innendämmung jedes Innendämmsystem für sich dargestellt (Abbildung 6).

Interpretation der Ergebnisdarstellung (Box-Whisker-Plot)

Der Box-Whisker-Plot – auch als Box-Plot bezeichnet (oberer Bereich in Abbildung 6) – ist eine grafische Darstellungsform der deskriptiven Statistik in der komprimiert Angaben zu einer Vielzahl von Verteilungsparametern gezeigt werden. Neben den Lagemaßen (Median, 1. und 3. Quartil) können auch Streuungsmaße (Spannweite, Interquartilsabstand) sowie die Form der Verteilung (linkssteil, symmetrisch oder rechtssteil) – siehe dazu das Histogramm im unteren Bereich von Abbildung 6 – und das Vorhandensein von Ausreißern direkt aus dem Box-Plot abgelesen werden. Der Box-Plot gestattet also Aussagen über Zentrum, Streuung, Form und Ausreißer einer Verteilung und bietet somit eine besonders hohe Informationsdichte. Ein besonders großes Informationspotential entfaltet der Box-Plot beim Vergleich von Verteilungen durch das Nebeneinanderstellen mehrerer Grafiken.

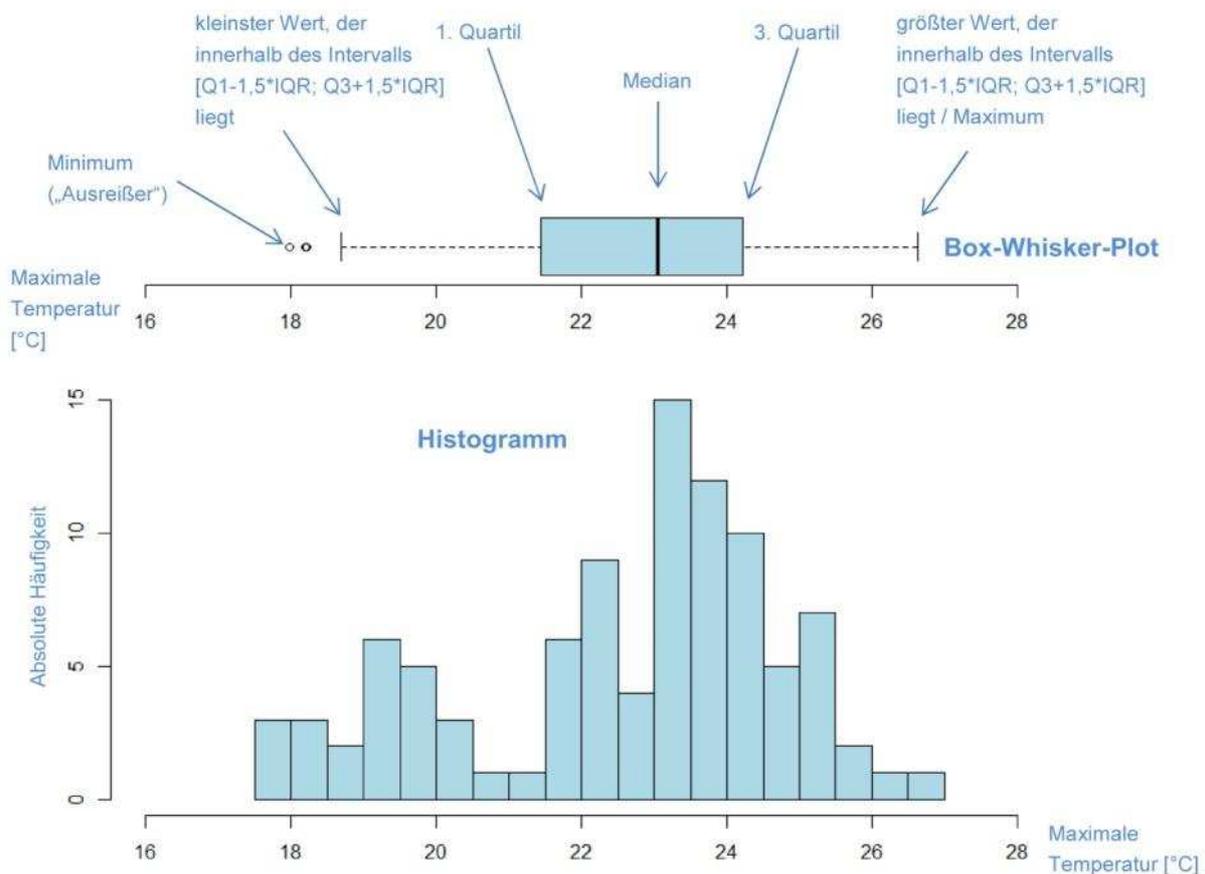


Abbildung 6 Erläuterung eines Box-Whisker-Plots anhand der maximal empfundenen Temperatur; Minimum 17,97 °C; 1. Quartil 21,59 °C; Median 23,06 °C; 3. Quartil 24,22 °C; Maximum 26,62 °C

Ein Box-Plot besteht aus drei Komponenten: Der eigentlichen Box, den Whiskers der Box sowie möglicherweise vorhandene Ausreißer. Die obere Grenze der Box bildet das obere Quartil (3. Viertel), die untere Grenze der Box das untere Quartil (1. Viertel). Der Median – 2. Quartil wird als zusätzliche Linie in die Box eingezeichnet. Die Quartile teilen die aufsteigend sortierten Datenwerte in Viertel. So sind beispielsweise mindestens 25 % der Datenwerte kleiner gleich dem unteren Quartil und mindestens 75 % der Datenwerte größer gleich dem

unteren Quartil. Sind alle drei Quartilswerte identisch, wird die Box durch eine dicke Linie ersetzt.

Aus der Lage des Median innerhalb der Box lässt sich eine Aussage über die Form der Verteilung herauslesen: Liegt der Median etwa in der Mitte, handelt es sich um eine symmetrische Verteilung, liegt der Median dagegen nahe der unteren Grenze der Box, so ist die Verteilung rechtsschief und linkssteil. Liegt der Median nahe an der oberen Grenze der Box, so ist die Verteilung rechtssteil und linksschief.

Da die Box vom oberen zum unteren Quartil verläuft, entspricht ihre Höhe genau dem Interquartilsabstand (IQR). In der vorliegenden Arbeit ist ein Ausreißer definiert als jener Wert der außerhalb des 1,5 fachen IQR von der Box liegt, also außerhalb des Intervalls $[Q1 - 1,5 \cdot IQR; Q3 + 1,5 \cdot IQR]$. Die Enden der Whisker markieren entweder den kleinsten bzw. größten Wert, der noch nicht als Ausreißer definiert ist, oder Minimum und Maximum, wenn es keine Ausreißer im Datensatz gibt, oder wenn die Darstellung von Ausreißern unterdrückt wird.

2.1.4.2 Empfundene Temperatur

Einfluss Standort

Tagesmittelwert und Tagesschwankung der Außenlufttemperatur bestimmen als standortabhängige Außenklima-Randbedingungen maßgeblich den Tagesgang der empfundenen Temperatur. Den Berechnungen wird dabei ein durchschnittlicher Sommer zugrunde gelegt. Die standortbezogene Untersuchung erlaubt es den Einfluss der regionalen Klimata auf die Maxima des berechneten Tagesverlaufs der empfundenen Temperatur zu bestimmen um diese in weiterer Folge in Relation zum Einfluss von Lüftung, Verschattung, Raumgeometrie und Innendämmung setzen zu können.

Die Untersuchung des sommerlichen Temperaturverhaltens erfolgt durch die Beurteilung der sommerlichen Überwärmung für die im Wesentlichen die empfundene Temperatur ausschlaggebend ist. Die empfundene Temperatur wird dabei aus dem Mittel von Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile gebildet.

Die Analyse des ungedämmten Bestands bildet als Referenzgröße die Grundlage für die Beurteilung der Varianten mit Innendämmung. Exemplarisch wird die Untersuchung anhand des Modellgebäudes Mehrfamilienwohnhaus („MFH“) und der Modellräume „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) durchgeführt.

Den Einfluss des Standorts (Wien, Klagenfurt, Innsbruck, Mallnitz) auf die Maxima der empfundenen Temperatur in den ungedämmten Modellräumen „SW02“ (schwarz-blau dargestellt) und „SW03“ (grau-rosa) zeigt Abbildung 7. Die Varianten der Nachtlüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“ sind dabei jeweils zusammengefasst.

Für den Standort Wien ergeben sich die höchsten empfundenen Temperaturen (1, 2). Die Temperaturen für Testraum „SW02“ liegen jeweils unterhalb von Testraum „SW03“ (1<2, 3<4). Grund dafür ist in erster Linie der geringere solare Strahlungseintrag, da Testraum „SW02“ nur ein Fenster hat.

Bei den gegebenen Raumeigenschaften und nach der Art der Beschattung beträgt der Unterschied zwischen Standort Wien und Klagenfurt bzw. Wien und Innsbruck ($\Delta 2$ und $\Delta 3$) 0,9 °C. Bei Klagenfurt und Innsbruck führt dieser Unterschied von 0,9 °C dazu, dass die Varianten mit außen liegender Verschattung in Modellraum „SW03“ (2 Fenster) (6) bereits als sommertauglich eingestuft werden können, während etwa die Hälfte der Varianten mit innen liegendem Sonnenschutz (5) über der Grenztemperatur von 27 °C liegt. Die Differenz zwischen Wien und Mallnitz beträgt 5 °C bei innen liegender ($\Delta 4$) und außen liegender Verschattung ($\Delta 5$).

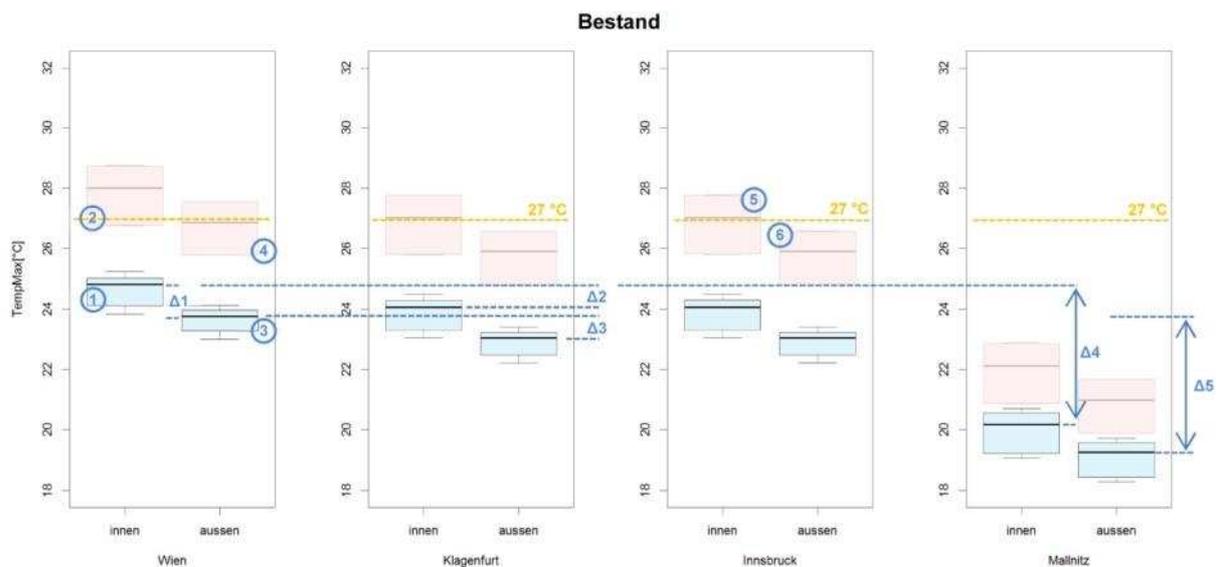


Abbildung 7 Einfluss des Standorts auf das Maximum der empfundenen Temperatur im Bestand, grau-rosa Modellraum „SW03“ (Südfassade mit 2 Fenstern), schwarz-blau Modellraum „SW02“ (mit Feuermauer, 1 Fenster) jeweils mit innen und außen liegender Verschattung. Lüftungsvarianten „zu“, „gekippt“ und „offen“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 12 Varianten, insgesamt Ergebnis von 192 Varianten dargestellt).

Conclusio

1. Für den Standort Wien ergeben sich – erwartungsgemäß auf Grund des höchsten Tagesmittelwerts der Außenlufttemperatur (24 °C) – die höchsten empfundenen Temperaturen.
2. Die maximal empfundene Temperatur liegt im Mehrfamilienwohnhaus bei Räumen mit geringem Verglasungsanteil („SW02“ mit 1 Fenster) stets unter jener mit hohem Verglasungsanteil („SW03“ mit 2 Fenstern).
3. Der Einfluss des Standorts auf die maximal empfundene Temperatur und damit auf die Beurteilung der sommerlichen Überwärmung ist hoch.

Erläuterung: Unabhängig von den Raumeigenschaften und Art der Beschattung beträgt der Unterschied der maximal empfundenen Temperatur zwischen Standort Wien und Klagenfurt bzw. Wien und Innsbruck 0,9 °C, was dazu führt, dass bei Klagenfurt und Innsbruck bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) Varianten mit außen liegender Verschattung bereits als sommertauglich eingestuft werden können, während sie in Wien als nicht sommertauglich zu bewerten sind.

Einfluss der Nachtlüftung

Die Raumlüftung, insbesondere die Nachtlüftung stellt ein wirksames Mittel zur Vermeidung der Raumüberwärmung dar. Auf Grund der Situierung im Gebäude – beispielsweise bei straßenseitiger Lage im Erdgeschoß – oder auf Grund anderer Sicherheitsaspekte – wie Schlagregenschutz –, ist eine Nachtlüftung mit vollständig geöffnetem Fensterflügel, welche die wirksamste Lüftungsmaßnahme zur Wärmeabfuhr verspricht aber nicht immer möglich.

Der Einfluss der Art der Nachtlüftung (Fenster „zu“, „gekippt“, „offen“) auf die maximal empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Verschattung („ohne“, „innen“, „außen“) wird deshalb untersucht und die Ergebnisse exemplarisch in Abbildung 8 anhand des Modellgebäudes Mehrfamilienwohnhaus „MFH“ gezeigt.

Die Nachtlüftung mit gekippten Fenstern (2) führt gegenüber der Variante Fenster „zu“ (1), bei der ein Lüften in der Früh und am Abend berücksichtigt wird, zu einer Reduktion der maximal empfundenen Temperatur von 0,5 °C ($\Delta 1$). Die Nachtlüftung mit geöffneten Fenstern (3) bringt eine weitere Reduktion der maximal empfundenen Temperatur um 1,0 °C ($\Delta 2$). Die Grenztemperatur von 27 °C wird bei Modellraum „SW02“ bei gekippten Fenstern mit außen liegender Verschattung (4) sowie bei geöffneten Fenstern mit außen (5) und innen liegender Verschattung (6) eingehalten.

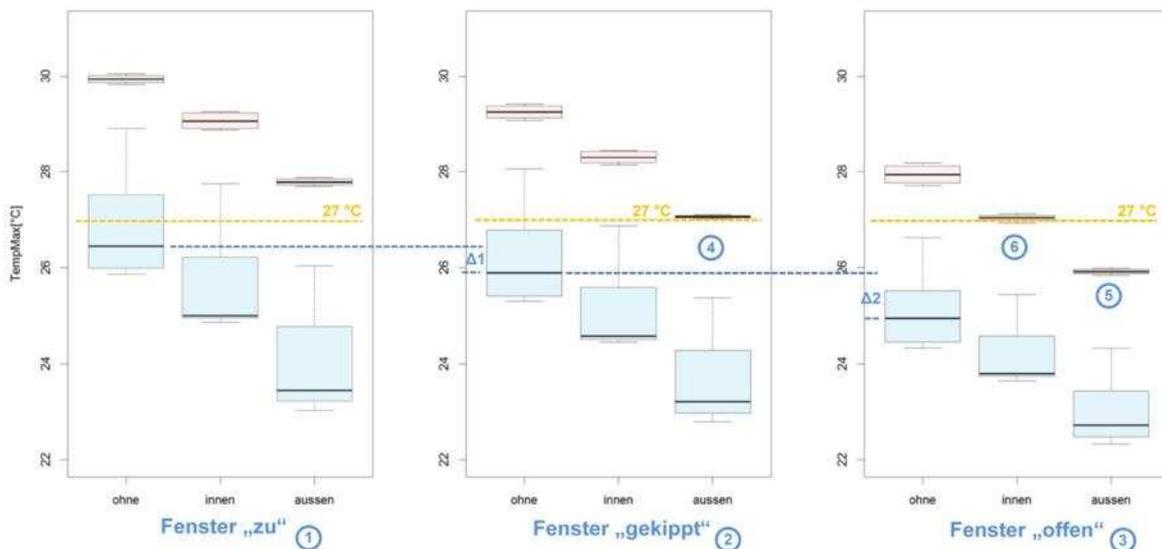


Abbildung 8 Einfluss der Nachtlüftung auf das Maximum der empfundenen Temperatur in Abhängigkeit der Lüftung am Standort Wien, grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster), jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „außen“. Innendämmsysteme „ID00“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten, insgesamt Ergebnis von 1440 Varianten dargestellt).

Conclusio

1. Der Einfluss der Nachtlüftung auf die maximal empfundene Temperatur ist hoch.
2. Die Nachtlüftung mit gekippten Fenstern führt gegenüber der Variante „zu“, bei der aber auch ein Lüften in der Früh und am Abend berücksichtigt wird, zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 0,5 °C.
3. Die Nachtlüftung mit geöffneten Fenstern bringt gegenüber gekippten Fenstern eine weitere Reduktion der maximal empfundenen Temperatur um 1,0 °C.
4. Die Einhaltung der Grenztemperatur von 27 °C kann sowohl über gekippte Fenster mit außen liegender Verschattung, als auch über geöffnete Fenster mit außen oder innen liegender Verschattung realisiert werden.

Einfluss der Verschattung

Verschattung stellt ein wirksames Mittel zur Vermeidung der Raumüberwärmung durch Sonneneinstrahlung dar. Auf Grund höherer Anschaffungs-, Reinigungs- und Wartungskosten (vgl. [30]) wird eine außen liegende Verschattung – welche die wirksamste Verschattungsmaßnahme zur Reduktion des Wärmeeintrags durch Sonneneinstrahlung verspricht – aber nicht immer ausgeführt. Neben diesen wirtschaftlichen Beweggründen – die über eine Lebenszyklusbetrachtung zum Teil obsolet werden (Vlg. [30]) – können technische, rechtliche oder architektonische Aspekte dazu führen, dass anstelle eines außen liegenden Sonnenschutzes ein raumseitiger, also innenliegender weniger effektiver oder gar kein Sonnenschutz zur Anwendung kommt.

Der Einfluss der Verschattung („ohne“, „innen“, „außen“) auf die maximal empfundene Temperatur wird deshalb untersucht und die Ergebnisse exemplarisch anhand des Modellgebäudes „MFH“ für die Standorte Wien, Klagenfurt, Innsbruck und Wien in Abbildung 9 gezeigt. Um die Auswirkung bei unterschiedlichen Verglasungsanteilen zu zeigen werden die Modellräume „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) jeweils separat dargestellt.

Die Art der Nachtlüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“, die untersuchten Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, die Geschosse „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ – welche sich auf Grund der gründerzeitlichen Bauweise in Konstruktion und Geometrie unterscheiden –, sowie die Fenstervarianten „alt“ (Bestandsfenster) und „neu“ (bzw. thermisch verbessert) werden dabei zusammengefasst dargestellt. Insgesamt enthält Abbildung 9 damit 1440 Varianten wobei auf jede „Box“ 80 Varianten entfallen. Ohne Verschattung ergeben sich erwartungsgemäß die höchsten Temperaturen. Die niedrigsten Temperaturen stellen sich bei außen liegender Verschattung ein, wobei sich in Wien die höchsten Temperaturniveaus ergeben, gefolgt von Klagenfurt und Innsbruck. Eine innen liegende Verschattung führt gegenüber der nicht verschatteten Variante zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 1,2 °C ($\Delta 1$). Eine außen liegende Verschattung bringt eine weitere Reduktion um 1,5 °C ($\Delta 2$). Die Differenz der Temperaturniveaus zwischen Modellraum „SW02“ mit einem Fenster (**schwarz-blau**) und Modellraum „SW03“ mit 2 Fenstern (**grau-rosa**) fällt bei Standort Mallnitz deutlich geringer aus ($\Delta 4$) als bei den anderen Standorten ($\Delta 3$).

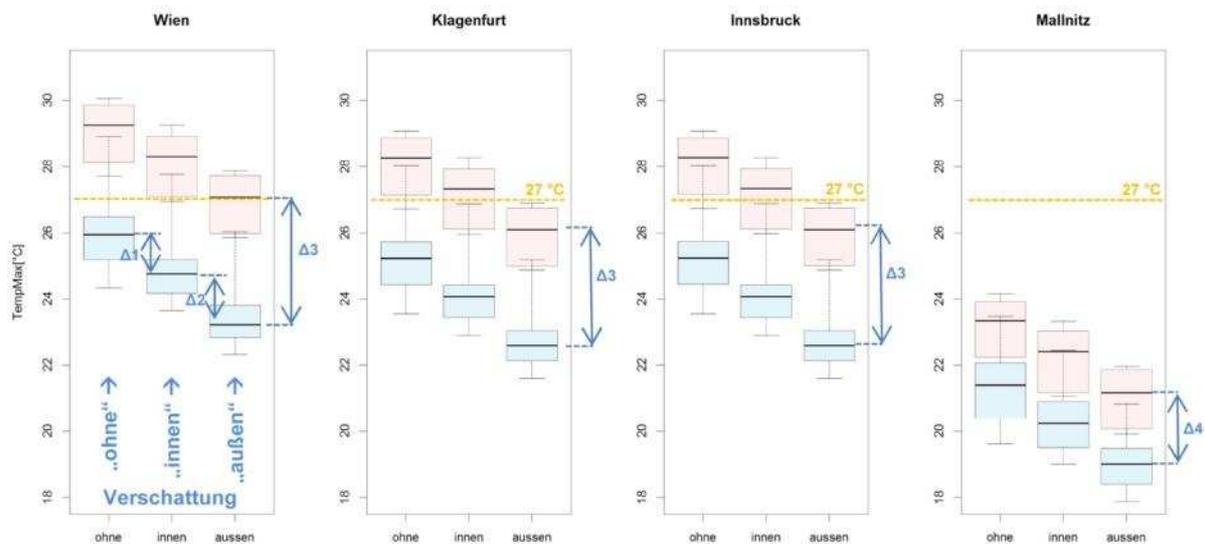


Abbildung 9 Einfluss der Verschattung auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien, Klagenfurt, Innsbruck und Mallnitz, in grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), in schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster) jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „ausßen“. Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten, insgesamt Ergebnis von 1440 Varianten dargestellt).

Conclusio

1. Ohne Verschattung ergeben sich – auf Grund der hohen solaren Einträge – erwartungsgemäß die höchsten Temperaturen.
2. Die niedrigsten Temperaturen stellen sich bei außen liegender Verschattung ein.
3. Eine innen liegende Verschattung führt gegenüber der nicht verschatteten Variante zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 1,2 °C.
4. Eine außen liegende Verschattung bringt gegenüber der nicht verschatteten Variante eine Reduktion von 2,7 °C (bzw. gegenüber der innen liegenden Verschattung eine weitere Reduktion um 1,5 °C).
5. Der Einfluss der solaren Einträge über die Fenster und der Raumgeometrie nimmt mit abnehmenden Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur ab.

Erläuterung: Die Differenz der Temperaturniveaus zwischen Modellraum „SW02“ mit einem Fenster (schwarz-blau) und Modellraum „SW03“ mit 2 Fenstern (grau-rosa) fällt bei niedrigeren Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur deutlich geringer aus als bei höheren Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur.

Einfluss Innendämmsystem

Der Einfluss der Bauweise bzw. der Konstruktion auf die maximal empfundene Temperatur ist hoch wie eine Vielzahl an Studien – [1], [7], [8], [31] – meist anhand des Vergleichs von Massiv-, Misch- und Leichtbauweise aufzeigen. Für Innendämmung als wesentliche Maßnahme zur Steigerung von Energieeffizienz und Komfort bei Bestandsgebäuden liegen derzeit jedoch keine systematischen und detaillierten Studien vor. Indem verschiedene typische Sanierungsszenarien festgelegt und untersucht werden – wie die Applikation einer Innendämmung in Verbindung mit einer thermischen Verbesserung der Fenster – kann der

Einfluss der Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur analysiert werden. Hierzu werden 9 Innendämmsysteme entsprechend Tabelle 1 untersucht. Diese werden in den definierten Modellräumen auf die Außenwand appliziert. In Kombination mit der applizierten Innendämmung werden die Szenarien "Bestandsfenster" (Kastenfenster ($U_g=2,91$, $U_f=1,24$, Glasrandverbund $\psi=0,155$), "thermisch verbesserte Fenster (sanierte Kastenfenster entsprechend Wiener-Komfort-Fenster ($U_g=1,02$, $U_f=1,24$, Glasrandverbund $\psi=0,043$))" sowie die Nachtlüftungsvarianten „offen“, „gekippt“ und „zu“ für die Verschattungsszenarien „ohne“, „innen“ und „außen“ berechnet. Als Referenzgröße dient der nicht gedämmte Bestand. Untersucht werden die Testräume jeweils die Geschoße "EG", "OG1/OG2", "OG3" und "OG4" welche sich in der gründerzeitlichen Bauweise sowohl in Raumabmessung wie auch im Aufbau der raumumschließenden Bauteile (Decke, Boden und Wanddicke der Außenwand) unterscheiden. Die Ergebnisse werden für die Modellräume "SW02" (1 Fenster) und "SW03" (2 Fenster) dargestellt.

Anhand dieser Parameterstudien werden der Einfluss der Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur und der Unterschied zwischen den Innendämmsystemen aufgezeigt. Durch die systematische und detaillierte Analyse typischer Sanierungsszenarien können Maßnahmenpakete und Innendämmsysteme identifiziert werden die sich positiv auf die Vermeidung sommerlicher Überwärmung auswirken. Anhand dieser Erkenntnisse können allgemein gültige Empfehlungen für die Auswahl und Bemessung von Innendämmsystemen ausgesprochen werden. Zugleich können Aussagen hinsichtlich Innendämmung und sommerlicher Überwärmung wie sie beispielsweise in [1] und [7] getätigt werden auf Ihre Richtigkeit überprüft und gegebenenfalls konkretisiert oder widerlegt werden.

Damit soll aufgezeigt werden, dass die Applikation einer Innendämmung nicht zwangsläufig zu einer Verschlechterung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führt, sondern bei geeigneter Kombination von Maßnahmen und Parametern sogar zu einer Reduktion der maximal empfundenen Temperaturen und damit auch im Sommer zu einer Steigerung des thermischen Komforts beiträgt.

Abbildung 10 zeigt den Vergleich der Innendämmsysteme für den Standort Wien, wobei Nachtlüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie die Geschoße „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst dargestellt werden. In grau-rosa jeweils die Maxima der empfundenen Temperatur der ungedämmten Bestandskonstruktion.

Der höchste Wert der maximal empfundenen Temperatur liegt bei innen gedämmten Varianten (1→2) 2 °C über jenem der ungedämmten Außenwand (2). Es zeigt sich aber auch, dass das Maximum der empfundenen Temperatur bei innen gedämmten Varianten unter jenem des ungedämmten Bestands liegt (3<4). Während der Unterschied (3→4) bei außen liegender Verschattung etwa 0,3 °C beträgt, fällt er bei innen liegender Verschattung (7→8) mit 0,1 °C geringer aus. Zu beachten ist dabei das um 1,5 °C ($\Delta 1$) höhere Temperaturniveau bei innen liegender Verschattung gegenüber außen liegender Verschattung. Während der Median bei außen liegender Verschattung mit Innendämmung

deutlich unter dem des ungedämmten Bestands liegt (5<6), liegt er bei innen liegender Verschattung etwa auf selber Höhe (9~10).

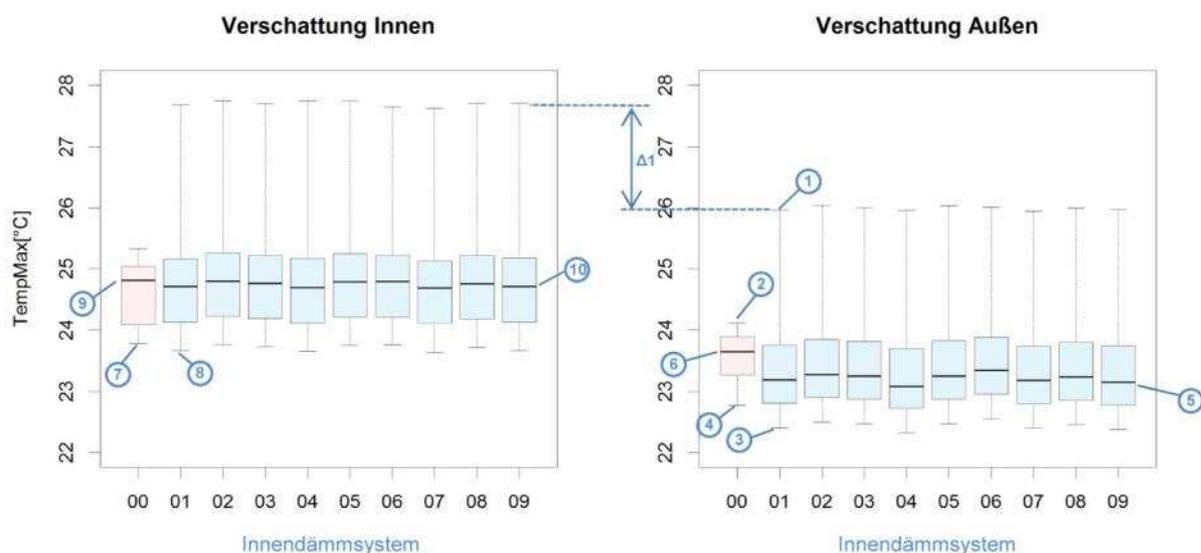


Abbildung 10 Einfluss des Innendämmsystems auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien in Abhängigkeit der Verschattung „innen“ und „außen“, in grau-rosa der ungedämmte Bestand, in schwarz-blau „SW02“ (1 Fenster), jeweils für die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“. Zusammengefasst die Art der Nachtlüftung „zu“, „gekipp“ und „offen“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ (jeder Boxplot enthält damit 24 Varianten, ausgenommen „Bestand“ mit 12 Varianten (nur Fenster „alt“), insgesamt Ergebnis von 456 Varianten dargestellt).

Geht man weiter ins Detail und begrenzt die Betrachtung auf die Varianten mit Nachtlüftung Fenster „offen“ und skaliert den Bereich auf der Temperaturachse neu (Abbildung 11), so zeigt sich der Unterschied im Maximum der empfundenen Temperatur zwischen den Innendämmsystemen deutlicher. Die Temperaturunterschiede der dargestellten Innendämmsysteme variieren im Bereich eines zehntel Grades. Diese Variation der maximal empfundenen Temperatur erscheint auf den ersten Blick unbedeutend, was bei außen liegender Verschattung (1) durchaus auch so ist, da die errechneten Temperaturen weit von der Grenztemperatur entfernt und damit die Temperaturunterschiede der einzelnen Innendämmsysteme für die Beurteilung irrelevant sind. Betrachtet man allerdings die Varianten mit innen liegender Verschattung (2), so zeigt sich, dass bei einer Grenztemperatur für sommerliche Überwärmung von 27 °C (3) die Art der Innendämmung und die sich daraus ergebenden Unterschiede im Maximum der empfundenen Temperatur sehr wohl relevant sind.

Bei den Innendämmsystemen „ID02“, „ID04“, „ID05“ wird der Grenzwert überschritten und der Nachweis zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung nicht erfüllt. Bei Innendämmsystem „ID06“ und „ID07“ wird hingegen der Grenzwert eingehalten und die Anforderungen hinsichtlich der Vermeidung sommerlicher Überwärmung werden erfüllt. Bei den Varianten mit Innendämmsystem „ID01“, „ID03“, „ID08“ und „ID09“ ist – da die Ergebnisse für das Maximum der empfundenen Temperatur sowohl über als auch unter der

Grenztemperatur von 27 °C liegen – eine differenzierte Betrachtung der hier zusammengefassten Geschoße und Fenstertypen erforderlich. Diese weiterführende Betrachtung erfolgt im Kapitel Einfluss Geometrie anhand von Abbildung 17.

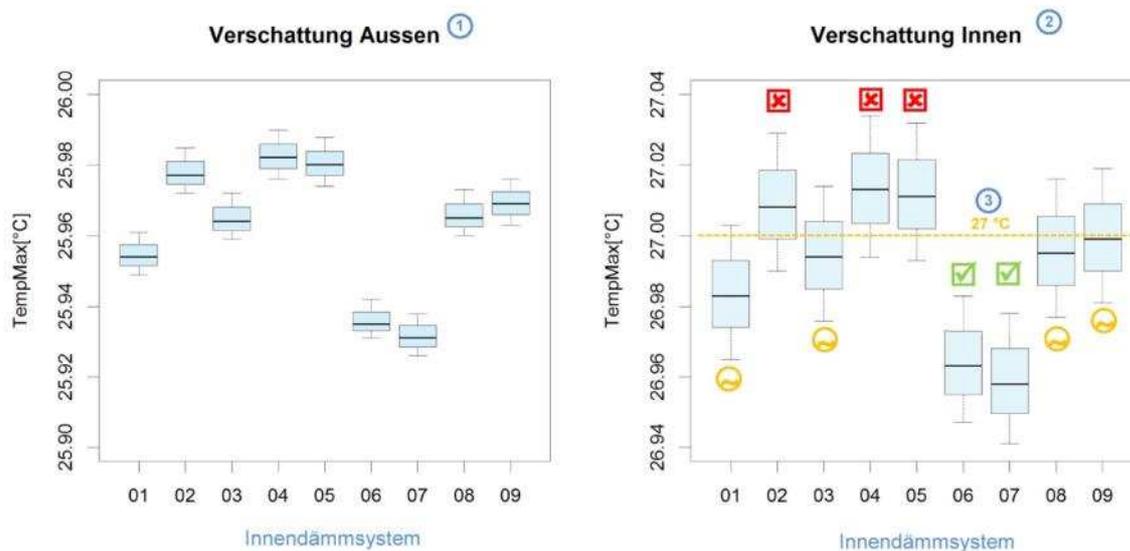


Abbildung 11 Einfluss des Innendämmsystems auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien in Abhängigkeit der Verschattung „innen“ und „außen“, in schwarz-blau „SW03“ (2 Fenster), jeweils für die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“ und die Nachtlüftung „offen“. Zusammengefasst die Art der Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ (jeder Boxplot enthält damit 8 Varianten, insgesamt Ergebnis von 160 Varianten dargestellt).

Betrachtet man den Systemaufbau der Varianten mit Innendämmung „ID01“, „ID06“ und „ID07“ genauer so zeigt sich, dass diese – im Vergleich zu den anderen Innendämmsystemen – jeweils ein raumseitiges Oberflächenfinish mit hoher Dichte aufweisen. Bei Innendämmsystem „ID01“ beträgt diese 1800 kg/m³ bei 1,5 cm Schichtdicke, bei Innendämmsystem „ID06“ und „ID07“ 1700 kg/m³ bei 2 cm Schichtdicke (Tabelle 2). Es zeigt sich demnach, dass diese Innendämmsysteme unter den gegebenen Rahmenbedingungen günstigere Eigenschaften hinsichtlich der Vermeidung sommerlicher Überwärmung haben.

Tabelle 2 Speicherwirksame Masse nach Innendämmsystem für die Außenwand im 4 Obergeschoß inklusive Innendämmung, Berechnung ArchiPHYSIK

Innendämmsystem	Flächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,B,A}$ [kg/m ²]
„ID01“ - Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz	29,1
„ID02“ - Perlitedämmplatte mit Innenputz	22,7
„ID03“ - Calciumsilikatplatte mit Innenputz	22,7
„ID04“ - Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz	15,2
„ID05“ - Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz	15,8
„ID06“ - Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz	33,6
„ID07“ - Schilf/Strohplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz	33,6
„ID08“ - Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz	25,0
„ID09“ - Vakuumisulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz	25,7

Conclusio

- Die pauschale Aussage, dass eine Innendämmung zu einer Verschlechterung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führt, ist nicht zulässig.
Erläuterung: Die maximal empfundene Temperatur innen gedämmter Varianten liegt zwar teilweise deutlich über jener der ungedämmten Außenwand. Es gibt aber auch Varianten bei denen die maximal empfundene Temperatur innen gedämmter Varianten unter jener des ungedämmten Bestands liegt.
- Der Einfluss der Art der Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur ist gering.
Erläuterung: Die resultierenden Temperaturunterschiede zwischen den Innendämmsystemen variieren im Bereich eines zehntel Grades.
- Die Art der Innendämmung – und der daraus resultierende Unterschied der maximal empfundenen Temperatur im Bereich eines zehntel Grades – wird für die Beurteilung der sommerlichen Überwärmung relevant, wenn das Temperaturniveau der maximal empfundenen Temperatur im Bereich der Grenztemperatur liegt, wie dies für die Varianten mit innen liegender Verschattung der Fall ist.
- Innendämmsysteme mit einem raumseitigen Oberflächenfinish hoher Dichte (1700 kg/m³ bei 2 cm Schichtdicke bei Innendämmsystem „ID06“ und „ID07“) zeigen günstigere Eigenschaften hinsichtlich der Vermeidung sommerlicher Überwärmung.

Einfluss Dämmstoffdicke

Neben der Wahl des Innendämmsystems ist für die Planung die Frage nach der Bemessung, also die Frage nach den optimalen Dämmstoffdicken von besonderer Bedeutung. Hierzu sind in erster Linie die Anforderungen des hygienischen Mindestwärmeschutzes zur Vermeidung von Schimmelbildung, die Anforderungen der relevanten Bauvorschriften und darüber hinausgehende ambitionierte Standards zu beachten. Parallel zur Bemessung der Dämmstoffdicke aus Sicht der Energieeinsparung und der Steigerung des thermischen

Komfort hat – insbesondere bei diffusionsoffenen Systemen – die bauphysikalische Nachweisführung zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit zu erfolgen.

Die Dämmstoffdicke spielt sowohl aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Überlegungen heraus eine wesentliche Rolle. Der Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur wird durch die Variation der Dämmstoffdicke in Schritten von 3 cm zwischen 0 und 27 cm untersucht. Um die Anzahl der Parameter zu reduzieren wird für die Untersuchung das Modellgebäude Einfamilienhaus „EFH“ gewählt wodurch die Variation der Geschoße gegenüber dem Modellgebäude Mehrfamilienhaus „MFH“ von 4 auf 1 und die Zahl der betrachteten Räume von 2 auf 1 reduziert wird. Die Ergebnisse der Untersuchung zum Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur werden exemplarisch anhand der Innendämmsysteme "ID04" und "ID05" gezeigt. Da wie bereits gezeigt, sowohl die Art der Verschattung wie auch die Art der Nachtlüftung eine wesentliche Rolle hinsichtlich des thermischen Raumverhaltens spielt werden diese in der Ergebnisdarstellung aufgegliedert. Diese Reduktion der Parameter und die Aufgliederung in der Ergebnisdarstellung führen dazu, dass mit den dargestellten Ergebnisbalken jeweils genau 1 Berechnungsergebnis der maximal empfundenen Temperatur dargestellt wird.

Zum einen soll durch die Untersuchung gezeigt werden ob die maximal empfundene Temperatur abhängig von den Dämmstoffdicken ist und wie groß deren Einfluss auf die maximal empfundene Temperatur ist. Gegebenenfalls kann damit in der Planung der sommerliche Komfort optimiert werden bzw. kann durch eine Begrenzung der Dämmstoffdicke die negative Auswirkung die sich aus der Applikation einer Innendämmung ergibt minimiert werden.

Am Modellraum Einfamilienhaus „EFH“ mit Verglasungsvariante V1 – Glaslichte beträgt 10 % der Nettofläche – wird für Innendämmsystem „ID04“ (grau dargestellt in Abbildung 12) und „ID05“ (schwarz dargestellt in Abbildung 12) der Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur gezeigt, wobei die Temperaturbereiche auf der y-Achse variieren ($A > B > C$), jeweils aber einen Temperaturbereich von 0,4 °C abbilden. Mit zunehmender Dämmstoffdicke steigt bei Nachtlüftung „zu“ die maximale empfundene Temperatur (Abbildung 12) (D). Bei Nachtlüftung „gekippt“ wird die maximale empfundene Temperatur durch Aufbringen einer Innendämmung von 3 cm gegenüber dem ungedämmten Bestand um 0,2 °C angehoben (1→2), nimmt aber dann mit zunehmender Dämmstoffdicke wieder ab (2→3) (E), wobei das Temperaturniveau auch bei hohen Dämmstoffdicken nicht auf jenes des ungedämmten Bestands zurückgeht (3>1). Bei Nachtlüftung „offen“ zeigt sich für Innendämmsystem „ID04“ bei den ersten 3 cm der Dämmung ebenfalls ein Anstieg der maximal empfundenen Temperatur gegenüber dem Bestand (4→5). Mit zunehmender Dämmstoffdicke sinkt diese wieder ab (5→6). Der Abfall der maximal empfundenen Temperatur ist dabei wesentlich stärker ausgeprägt ($F > E$): bei 12 cm Dämmstoffdicke für Innendämmsystem „ID04“ um 0,10 °C, für Innendämmsystem „ID05“ um 0,15 °C unter jene des Bestands (7).

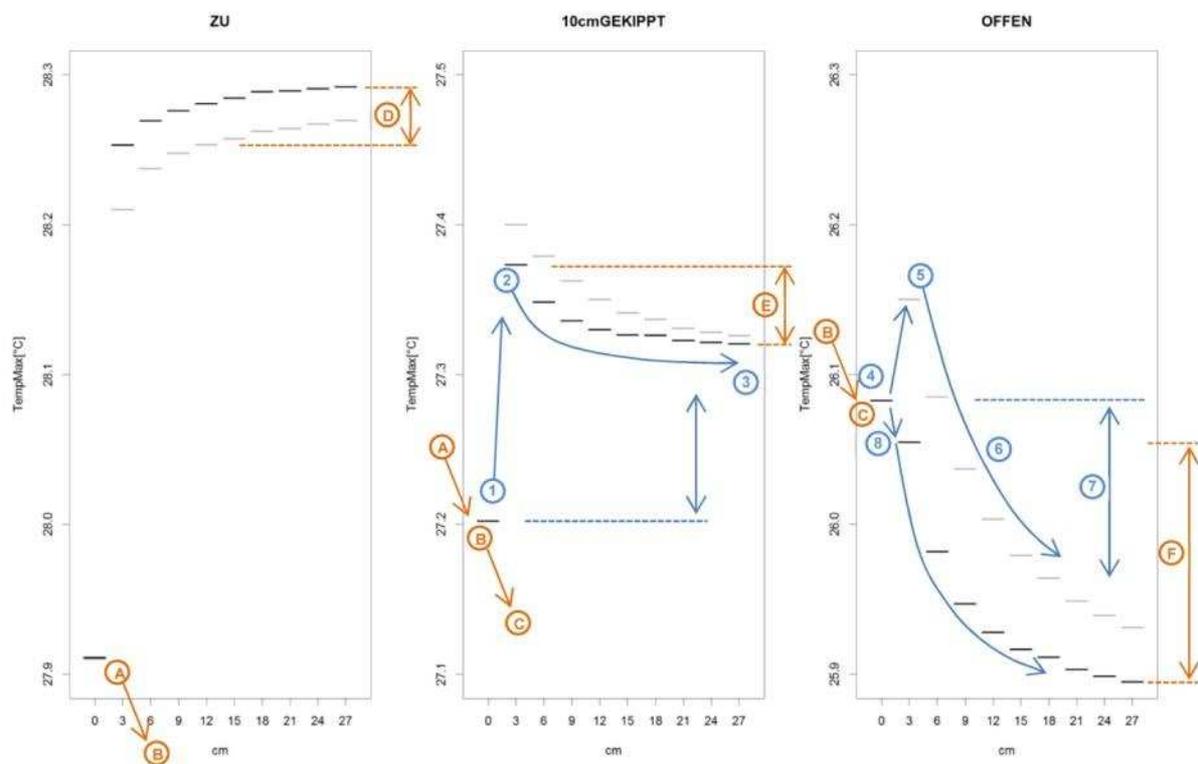


Abbildung 12 Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur in Modellraum Einfamilienhaus (EFH) mit Verglasungsvariante V1 für Innendämmsystem „ID05“ (schwarz dargestellt) und Innendämmsystem „ID04“ (grau dargestellt) bei Nachtlüftung „zu“/„gekippt“/„offen“, außenliegende Verschattung

Gegenüber der vorangegangenen Betrachtung mit außenliegender Verschattung zeigt Abbildung 13 – abgebildeter Temperaturbereich auf der y-Achse hier jeweils 0,8 °C, beachte dabei (G>H>I) – die Ergebnisse ohne Beschattung. Mit zunehmender Dämmstoffdicke steigt die maximal empfundene Temperatur bei Nachtlüftung „zu“ (J) wie auch bei Lüftung „gekippt“ (K). Bei „offen“ wird die empfundene Temperatur durch Aufbringen einer Innendämmung angehoben (5→6), nimmt dann mit zunehmender Dämmstoffdicke ab (6→7), wobei das Temperaturniveau des Bestands nicht mehr erreicht wird (7>5). Ohne Verschattung zeigt sich der abfallende Verlauf der maximal empfundenen Temperatur mit zunehmender Dämmstoffdicke erst bei Nachtlüftung „offen“ (L) während der abfallende Verlauf bei außen liegender Verschattung bereits bei „gekippt“ eintritt (E). Der abfallende Verlauf (L) ist im Vergleich zu (F) wesentlich schwächer ausgeprägt. Gleiches Verhalten stellt sich bei innen liegender Verschattung ein (nicht dargestellt).

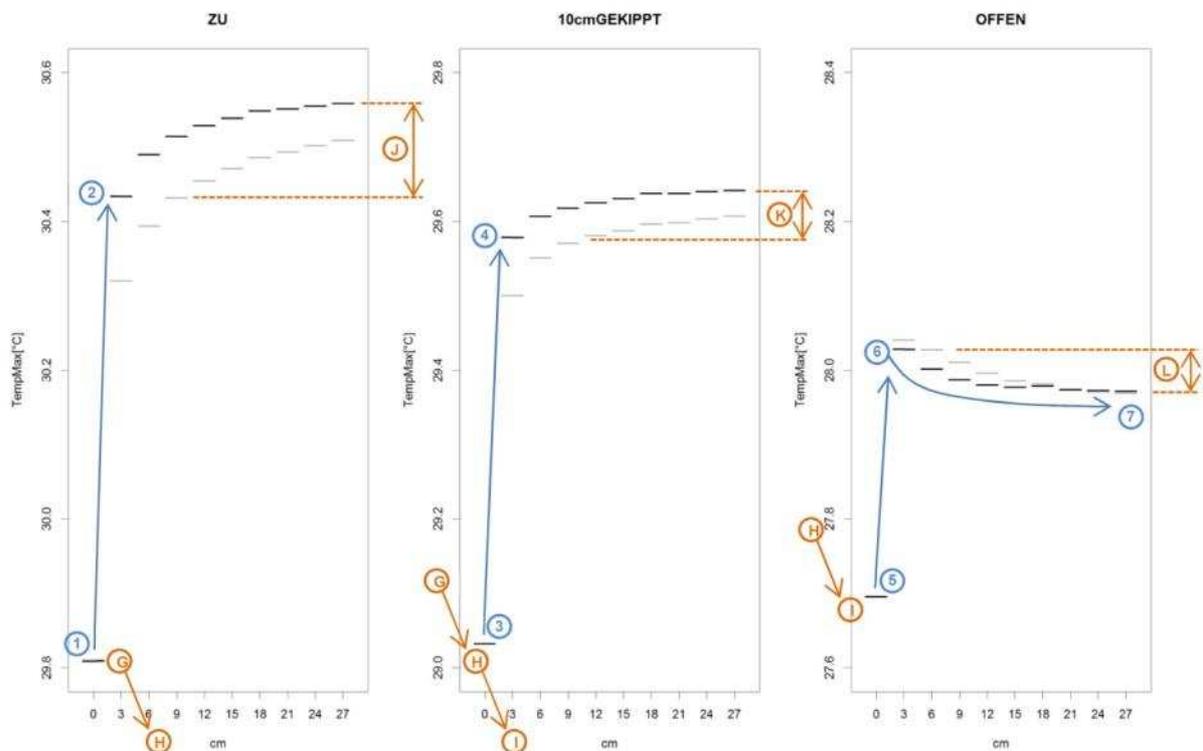


Abbildung 13 Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur in Modellraum Einfamilienhaus (EFH) Verglasungsvariante V1 für Innendämmsystem „ID05“ (schwarz dargestellt) und Innendämmsystem „ID04“ (grau dargestellt) bei Nachtlüftung „zu“, „gekippt“, „offen“, ohne Verschattung

Conclusio

1. Der Einfluss der Fensterlüftung nimmt mit zunehmender Verschattung ab.

Erläuterung: Die Temperaturdifferenz zwischen „zu“ (A) und „gekippt“ (B) beträgt $-0,7$ °C, die Differenz zwischen „gekippt“ (B) und „offen“ (C) beträgt $-1,1$ °C jeweils bei außen liegender Verschattung. Im Vergleich dazu die um $0,1$ °C höheren Temperaturdifferenzen von $-0,8$ (G-H) und $-1,2$ °C (H-I) ohne Verschattung.

2. Der Einfluss der Verschattung nimmt mit zunehmendem Luftwechsel ab.

Erläuterung: Die Temperaturdifferenz zwischen

- „zu“ ohne Verschattung (G) und „zu“ mit außen liegender Verschattung (A) beträgt $1,9$ °C.
- „gekippt“ ohne Verschattung (H) und „gekippt“ mit außen liegender Verschattung (B) beträgt $1,8$ °C.
- „offen“ ohne Verschattung (I) und „offen“ mit außen liegender Verschattung (C) beträgt $1,6$ °C.

Bezogen auf die $1,9$ °C ist das eine Abnahme um $0,1$ °C (5 %) von „zu“ auf gekippt, und $0,3$ °C (15 %) von „zu“ auf „offen“.

3. Der Einfluss der Innendämmung steigt mit zunehmendem Luftwechsel ($F > D$) wenn der Einfluss der solaren Strahlung durch die Fenster auf Grund von Verschattung gering ist.

Erläuterung: Wenn die Einträge an solarer Strahlung durch die Fenster gering sind steigt der ‚positive‘ Einfluss – abfallender Verlauf der maximal empfundenen Temperatur – bei zunehmender Dämmstoffdicke (Tabelle 3).

4. Der Einfluss der Innendämmung steigt mit abnehmendem Luftwechsel ($J > L$) wenn der Einfluss der solaren Strahlung durch die Fenster – mangels Verschattung – hoch ist.

Erläuterung: Wenn die Einträge an solarer Strahlung durch die Fenster hoch sind steigt der ‚negative‘ Einfluss – ansteigender Verlauf der maximal empfundenen Temperatur – bei zunehmender Dämmstoffdicke (Tabelle 3).

Betrachtet man jeweils die Bandbreite der maximal empfundenen Temperatur über die Dämmstoffdicke (D, E, F in Abbildung 12 und J, K, L in Abbildung 13) und berücksichtigt dabei ob es mit zunehmender Dämmstoffdicke zu einer Erhöhung oder Absenkung der maximal empfundenen Temperatur gegenüber der ungedämmten Variante kommt, so kann daraus der Einfluss der Innendämmung in Abhängigkeit von Nachtlüftung und Verschattung abgeleitet werden (Tabelle 3).

Dabei zeigt sich, dass der größte negative Einfluss einer Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur "ohne Verschattung" und bei "geringer Nachtlüftung" (Fenster „zu“) vorliegt (in rot im Sinne eines Ampelsystems dargestellt bzw. mit (---) bezeichnet). Demgegenüber führt eine Innendämmung bei "außen liegender Verschattung" und "hoher Nachtlüftung" (Fenster „offen“) zu einer Reduktion der maximal empfundenen Temperatur

und hat damit einen positiven Einfluss. Anhand von Tabelle 3 ist weiter abzulesen, dass bei jeweils 3 Kombinationen von Nachtlüftung und Verschattung mit zunehmender Dämmstoffdicke ein ansteigender Verlauf (D, J, K) und bei jeweils 3 Kombinationen ein abfallender Verlauf (E, F, L) der maximal empfundenen Temperatur vorliegt. Während bei „außen liegender Verschattung“ bereits bei „mittlerer Nachtlüftung“ (Fenster „gekippt“) ein abfallender Verlauf der maximal empfundenen Temperatur bei zunehmender Dämmstoffdicke vorherrscht zeigt sich dieser „ohne Verschattung“ erst bei „hoher Nachtlüftung“ (Fenster „offen“). Im vorliegenden Beispiel ist der positive Einfluss der Innendämmung an eine außen liegende Verschattung und eine hohe Nachtlüftung gekoppelt.

Dieses Ergebnis zeigt, dass Aussagen wie sie in [1] und [7] getätigten werden, dass Innendämmung allgemein zu einer Verschlechterung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führt, nicht richtig sind. Durch die Tatsache, dass mit Innendämmung auch ein positiver Einfluss erzielt wird kann ein wesentliches und weit verbreitetes Vorurteil gegenüber Innendämmung ausgeräumt werden. Die Applikation einer Innendämmung bei höchst möglichem thermischem Komfort im Sommer stellt damit nicht länger einen Widerspruch dar. Die positiven Argumente für die Applikation einer Innendämmung werden damit um einen wesentlichen Aspekt erweitert wodurch deren Anwendung und damit auch die Sanierungsrate forciert werden kann.

Tabelle 3 Einfluss Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur in Abhängigkeit von Nachtlüftung und Verschattung, ‚positiver Einfluss‘ in grün (+), ‚negativer Einfluss‘ - abfallender Verlauf in gelb (-), ‚negativer Einfluss‘ - ansteigender Verlauf in orange (--), ‚negativer Einfluss‘ - stark ansteigender Verlauf in rot (---) dargestellt.

Verschattung	außen	D 0,05 (--)	E 0,075 (-)	F 0,15 (+)
	ohne	J 0,15 (---)	K 0,05 (--)	L 0,05 (-)
		gering	mittel	hoch
		Nachtlüftung		

Bandbreite der maximal empfundenen Temperatur über die Dämmstoffdicke

Positiver Einfluss der Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur

Abnehmender Verlauf der maximal empfundenen Temperatur bei zunehmender Dämmstoffdicke

Einfluss Dämmstoffdicke – GEBATHESIM

Nachdem die Ergebnisse aus dem xls-basierten Software-Prototyp [6] – in welchem entsprechend EN ISO 13791 [28] ein vereinfachtes Verfahren zur Lösung der Differentialgleichungen abgebildet wird und die Berechnung in Zeitschritten erfolgt – zeigen, dass mit Innendämmung ein positiver Effekt hinsichtlich maximal empfundener Temperaturen im Sommer erzielt wird, soll diese Tatsache anhand des Programmpakets mit dem Rechenkern von GEBATHESIM und der im Zuge der Dissertation von Nackler [1] entwickelten Programmoberfläche Thesim3d – welches das thermischen Verhalten von Räumen,

Raumgruppen und ganzen Gebäuden im periodisch eingeschwungenen Zustand mit einer Periodenlänge von 1 Tag simuliert und insbesondere für normgemäße Sommertauglichkeitsuntersuchungen geeignet ist - überprüft und bestätigt werden. Weiter soll damit die Ursache für den Effekt abfallender maximaler Temperaturen bei zunehmender Dämmstoffdicke identifiziert und erklärt werden.

Für die Untersuchung wird der Modellraum Einfamilienhaus (EFH V1) im Programmpaket Thesim3d abgebildet. In einem ersten Schritt kann bestätigt werden, dass sich der beobachtete Effekt abfallender maximal empfundener Temperaturen mit zunehmender Dämmstoffdicke ebenfalls einstellt (siehe Abbildung 14). Damit können die Ergebnisse aus dem xls-basierten Software-Prototyp [6] hinsichtlich des positiven Effekts von Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur bestätigt werden.

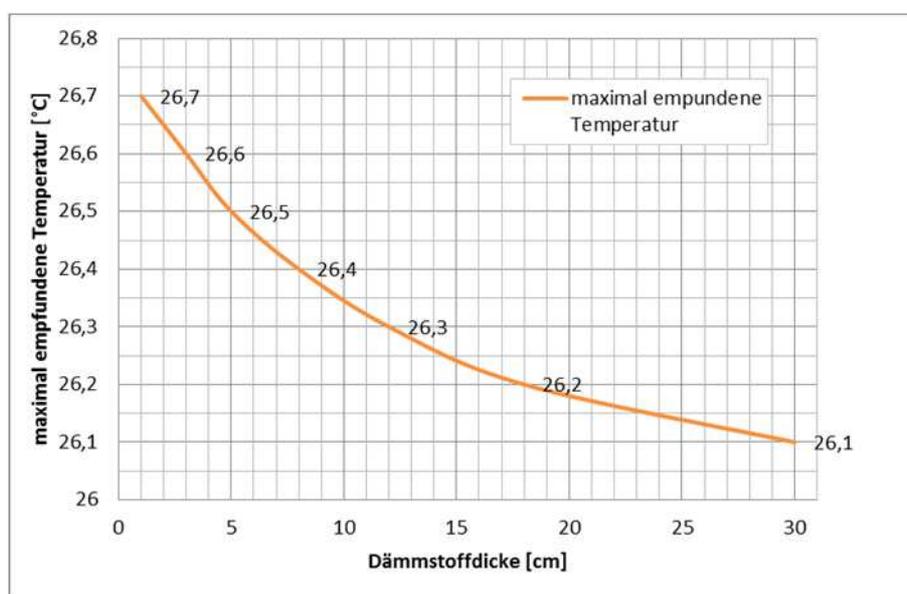


Abbildung 14 Maximal empfundene Temperatur über Dämmstoffdicke, Modellraum Einfamilienhaus mit mindesterforderlicher Belichtungsfläche von 10 % der Nettofläche (EFH V1), Berechnet mit dem Programmpaket Thesim3D, Standort Wien

Zur Identifikation der Ursache für den Effekt abfallender maximal empfundener Temperaturen mit zunehmender Dämmstoffdicke wird eine detaillierte Analyse der Berechnungsergebnisse anhand der Schichtgrenztemperaturen (Abbildung 15) der Außenwände durchgeführt. Diese zeigen, wie auch der Vergleich der Verläufe der inneren Oberflächentemperaturen der Außenwände einen plausiblen Verlauf und damit einen Nachweis für ein korrektes Ergebnis.

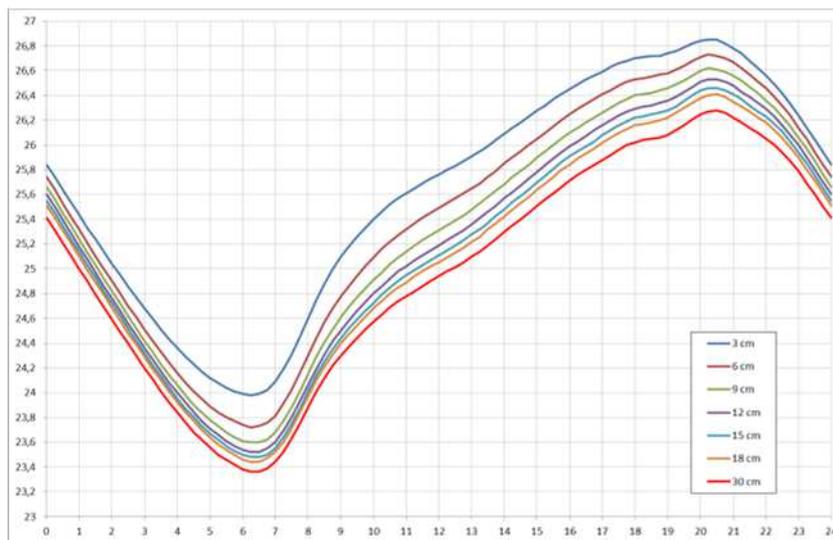


Abbildung 15 Innere Oberflächentemperaturen im Tagesverlauf in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke, Modellraum Einfamilienhaus mit mindesterforderlicher Belichtungsfläche von 10 % der Nettofläche (EFH V1), Berechnet mit dem Programmpaket Thesim3D, Standort Wien

Durch die Variation der Parameter spezifische Wärmekapazität, Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit wird in einem weiteren Schritt den maßgeblichen Einflussgröße auf die maximal empfundene Temperatur nachgegangen.

Tabelle 4 Parameterstudie zur Bestimmung der maßgeblichen Einflussgröße auf die maximal empfundene Temperatur, untersucht: Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Rohdichte.

Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] 0,035		spezifische Wärmekapazität c [J/kgK]		
Dämmstoffdicke 6 cm		900	1000	1100
Rohdichte ρ [kg/m ³]	100	26,4 °C	26,4 °C	26,4 °C
	120	26,4 °C	26,4 °C	26,4 °C
	140	26,4 °C	26,4 °C	26,4 °C

Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] 0,040		spezifische Wärmekapazität c [J/kgK]		
Dämmstoffdicke 6 cm		900	1000	1100
Rohdichte ρ [kg/m ³]	100	26,5 °C	26,5 °C	26,5 °C
	120	26,5 °C	26,5 °C	26,5 °C
	140	26,5 °C	26,5 °C	26,5 °C

Tabelle 4 zeigt, dass die Parameter Rohdichte und spezifische Wärmekapazität – gegenüber der Wärmeleitfähigkeit – keinen bzw. nur einen untergeordneten Einfluss auf die maximal empfundene Temperatur haben – die maximal empfundene Temperatur bleibt über den gesamten Parameterbereich (900 bis 1100 J/kgK) konstant. Hingegen zeigt die Variation der Wärmeleitfähigkeit von 0,035 auf 0,040 W/mK eine Veränderung der maximal empfundenen Temperatur und kann damit als maßgebende Einflussgröße identifiziert werden. Es ist also die starke Reduktion des Wärmeeintrags durch die Außenwände – von 3 cm auf 30 cm sinkt

der Wärmeeintrag immerhin auf ein Drittel – für den beobachteten Effekt der abfallenden empfundenen Temperatur bei zunehmender Dämmstoffdicke verantwortlich.

Conclusio

1. Die Parameter Rohdichte und spezifische Wärmekapazität des Dämmstoffs haben bei den in der Praxis verwendeten Materialien keinen bzw. nur untergeordneten Einfluss auf die maximal empfundene Temperatur.
2. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs ist die maßgebliche Einflussgröße auf die maximal empfundene Temperatur.
3. Die Reduktion des Wärmeeintrags durch die Außenwände bei zunehmender Dämmstoffdicke ist Ursache für den Effekt abfallender empfundener Temperaturen bei zunehmender Dämmstoffdicke.

Einfluss Geometrie

Neben Konstruktion, Nachlüftung, Verschattung und Standort stellt die Raumgeometrie eine weitere wesentliche Einflussgröße auf die maximal empfundene Temperatur dar. Wie anhand von Abbildung 10 zum Einfluss der Innendämmung gezeigt, sind bereits geringe Unterschiede der maximal empfundenen Temperatur für die Beurteilung relevant sofern diese im Bereich der Grenztemperatur für sommerliche Überwärmung von 27 °C liegen. Nachfolgend soll deshalb der Einfluss der Geometrie der Modellräume auf die maximal empfundene Temperatur systematisch und detailliert untersucht werden und folgende Fragen in Bezug auf Innendämmung beantwortet werden. Erstens ob es Gebäudetypen bzw. Raumtypen gibt die mit Innendämmung besonders anfällig für sommerliche Überwärmung sind? Zweitens ob es im Gründerzeitbau geschosßbezogene Unterschiede in der Beurteilung der sommerlichen Überwärmung gibt und wenn ja, welche Geschoße dann hinsichtlich sommerlicher Überwärmung als kritisch zu beurteilen sind bzw. anhand welchen Geschoßes der Nachweis zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung zu führen ist?

Dafür wird in einem ersten Schritt die Untersuchung von Abbildung 11, bei der die Varianten mit Innendämmsystem „ID01“, „ID03“, „ID08“ und „ID09“ auf Grund der dort zusammengefassten Parameter, sowohl über als auch unter der Grenztemperatur von 27 °C liegen, weitergeführt um den Einfluss der Raumgeometrie zu analysieren, welche beim Mehrfamilienwohnhaus „MFH“ in den Geschoßen auf Grund der gründerzeitlichen Bauweise durch die sich in den einzelnen Geschoßen nach oben verjüngenden Außenwände und den sich daraus ergebenden Unterschieden in den Bauteilflächen und Raumvolumina resultiert.

Zu beachten ist, dass die Bauteilaufbauten je nach Geschoß variieren. Das betrifft nicht nur die von Geschoß zu Geschoß schlanker werdende Außenwand, sondern auch Boden und Decke. So wird der Boden im Erdgeschoß als Ziegelkappendecke angenommen, während es sich beim dem Boden im ersten Obergeschoß, welcher zugleich die Decke des Modellraums im Erdgeschoß darstellt, um eine Holztramdecke handelt. Die Verjüngung der Außenwand mit zunehmender Geschoßzahl führt beispielsweise bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) zu einer Vergrößerung der Bodenfläche von 13,44 m² im Erdgeschoß „EG“ zu 13,83 m² im ersten und zweiten Obergeschoß „OG1/OG2“ und 14,19 m² im dritten Obergeschoß „OG3“. Diese Veränderung betrifft in selben Maße die Fläche der Decke und weiterführend die Flächen der Wände sowie das Raumvolumen.

Bereits geringe Änderungen der Geometrie führen damit zu Veränderungen der für die Berechnung der maximalen empfundenen Temperatur maßgeblichen Parameter. Diese Änderungen betreffen insbesondere die Flächen, die speicherwirksame Masse und die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile sowie das Raumvolumen. Eine Abschätzung der Temperaturänderungen ist auf Grund der Vielzahl der Parameter nicht ohne weiteres möglich.

Führt man also die Untersuchung von Abbildung 11 weiter und beschränkt die Betrachtung auf einen Fenstertyp (hier Fenstertyp „alt“) so lässt sich bei einer Aufschlüsselung nach Geschoßen der Einfluss der Geometrie auf die maximal empfundene Temperatur bestimmen

und beurteilen. Wie Abbildung 16 zeigt liegt das Temperaturniveau des Modellraums „SW03“ (2 Fenster) im Erdgeschoß „EG“ um 0,020 °C höher als im ersten und zweiten Obergeschoß „OG1/OG2“ und um 0,038 °C höher als im dritten Obergeschoß „OG3“. Diese Unterschiede sind gering im Vergleich zum Einfluss der Art der Nachtlüftung, oder der Art der Verschattung. Wie anhand von Abbildung 16 deutlich wird sind diese Unterschiede aber nicht zu vernachlässigen, da sie relevant für die Beurteilung sind. Während im dritten Obergeschoß „OG3“ alle Innendämmsysteme die Anforderung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung erfüllen, fällt im ersten und zweiten Obergeschoß „OG1/OG2“ bereits ein Drittel weg und im Erdgeschoß „EG“ liegen lediglich die Innendämmsysteme „ID06“ und „ID07“ unter der Grenztemperatur von 27 °C.

Ist man in der Planung bei der Auswahl einer geeigneten Innendämmung mit der Situation der Nachweisführung zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung für den Modellraum „SW03“ (2 Fenster) im Erdgeschoß – unter den hier vorliegenden Randbedingungen Standort "Wien", Nachtlüftung „offen“, Fensterart „alt“ – konfrontiert, so könnte man anhand der Ergebnisse aus Abbildung 16 das Innendämmsystem „ID06“ oder „ID07“ wählen. Als alternative Vorgehensweise könnte aber auch „ID01“ in Betracht gezogen werden welches nur sehr knapp über der Grenztemperatur von 27 °C liegt und durch eine Erhöhung der Dämmstoffdicke eine positive Beurteilung in der Nachweisführung erzielt werden.

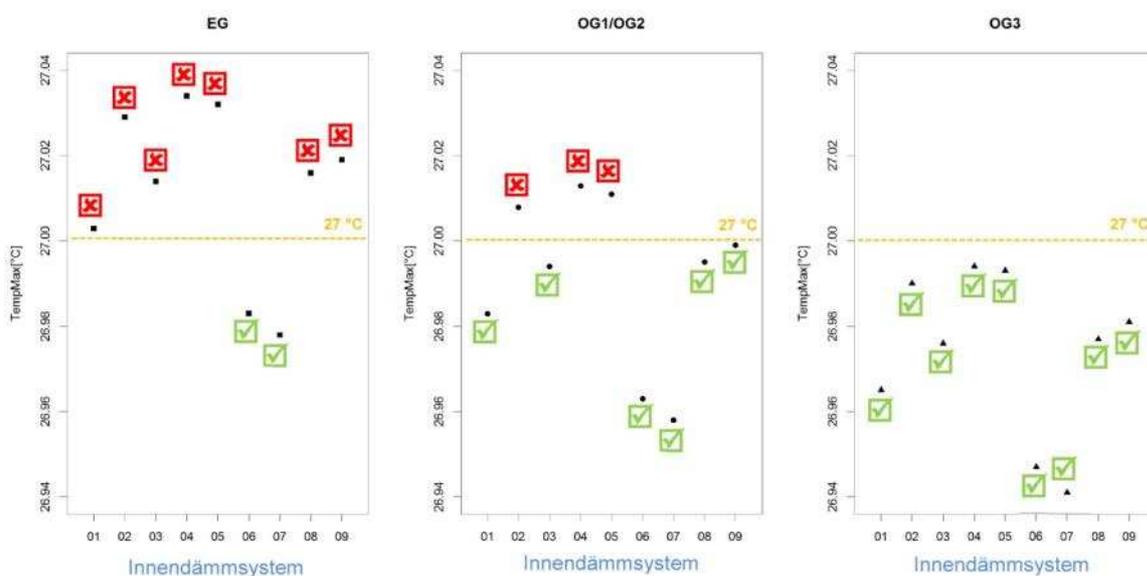


Abbildung 16 Einfluss der Geometrie auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien bei Verschattung „innen“ für den Modellraum „SW03“ (2 Fenster), jeweils für die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Nachtlüftung „offen“, Fensterart „alt“, dargestellt nach Geschossen „EG“, „OG1/OG2“ und „OG3“.

Nach der detaillierten Analyse des Mehrfamilienwohnhauses „MFH“ anhand von Abbildung 16 wird nachfolgend das sommerliche Temperaturverhalten weiterer typischer Gebäude mit hoher Relevanz für den Sanierungsbereich untersucht, wobei sich diese Gebäude bzw. Modellräume in erster Linie in ihrer Geometrie und nicht in ihrer Bauweise unterscheiden. Zum einen werden mit der Untersuchung besonders kritische Gebäude- bzw. Raumtypen

identifiziert und zum anderen werden damit geeignete Maßnahmen für die Reduktion des Risikos sommerlicher Überwärmung der jeweiligen Raumtypen benannt.

Abbildung 17 zeigt die maximal empfundene Temperatur für die Modellräume Kleingartenhaus für ganzjähriges Wohnen „GZH“, Einfamilienhaus „EFH“ und Reihenhaus „RH“ jeweils bei mindesterforderlicher Belichtungsfläche „V1“ – nach OIB Richtlinie 3 mit 10 % der Nettogröße. Eine Aufstellung der Flächen und Aufbauten mit ihren bauphysikalischen Eigenschaften gibt Anhang A. Dargestellt wird der Bestand „ID00“ und die untersuchten Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“.

Die niedrigsten Werte stellen sich jeweils beim Reihenhaus „RH“ – in rosa dargestellt – ein. Die höchsten Temperaturniveaus zeigt das Kleingartenwohnhaus „GZH“ – in schwarz dargestellt. Das Einfamilienwohnhaus „EFH“ – in blau dargestellt – liegt mit den maximalen empfundenen Temperaturen – unabhängig von der Art der Nachtlüftung – knapp unter denen des Kleingartenwohnhauses.

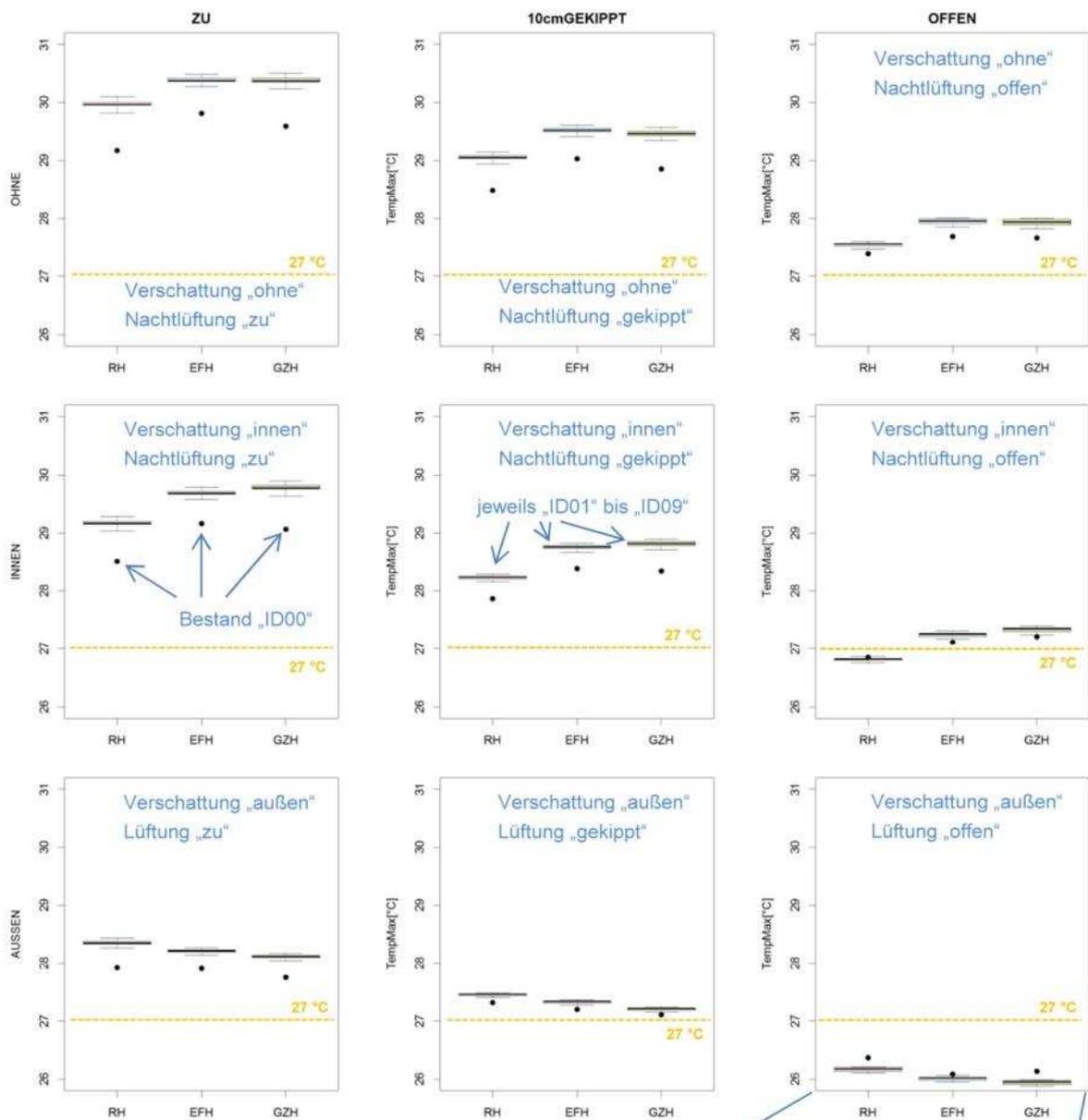


Abbildung 17 Einfluss Geometrie auf die maximal empfundene Temperatur in den Modellräumen Kleingartenwohnhaus „GZH V1“ (grün), Einfamilienwohnhaus EFH V1 (blau), und Reihenhaus „RH V1“ (rosa) in Abhängigkeit von Nachtlüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“ sowie Verschattung „ohne“, „außen“ und „innen“. Als ausgefüllter Kreis dargestellt Bestand „ID00“. Jeweils die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“ und die Fenster „alt“ und „neu“ zusammengefasst. Jeder Boxplot enthält damit 18 Varianten, insgesamt Ergebnis von 513 Varianten dargestellt. Vergrößert dargestellt (rechts unten) Verschattung „außen“ – Nachtlüftung „offen“

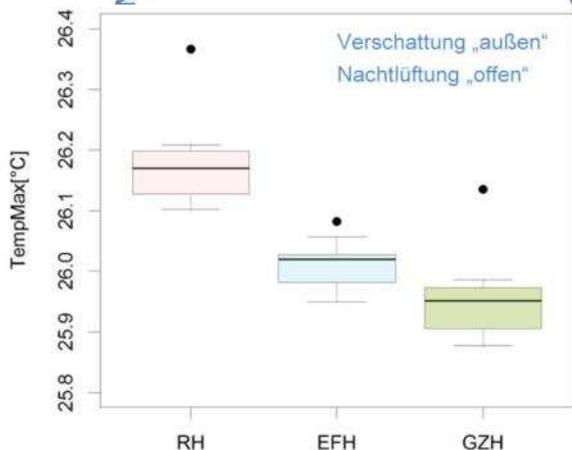


Abbildung 18 zeigt die maximal empfundene Temperatur im Modellraum Einfamilienwohnhaus (EFH) in Abhängigkeit des Verglasungsanteils. Variante V1 entspricht mit 1,66 m² der mindesterforderlichen Belichtungsfläche nach OIB Richtlinie 3 (10 % der Nettfläche). Diese Belichtungsfläche ist auf 2 Richtung Süden orientierte Fenster (87/87 cm) und ein nach Westen orientiertes Fenster (79/79 cm) aufgeteilt. Bei Variante V2 wird die Belichtungsfläche gegenüber V1 verdoppelt. Eine detaillierte Beschreibung gibt Anhang A.

Für alle dargestellten Varianten zeigt Abbildung 18, dass der Median der maximal empfundenen Temperatur beim Einfamilienhaus mit höherem Fensteranteil (V2) – in schwarz/blau – unter jenem mit geringerem Fensteranteil (V1) – in rosa/grau – liegt (1, 2, 3), wobei die Höchstwerte bei höherem Fensteranteil (V2) stärker ausgeprägt sind (5>4, 6<7). Das Einfamilienhaus mit höherem Fensteranteil (V2) zeigt generell eine größere Spannweite der maximal empfundenen Temperaturen (9>8).

Während die Nachtlüftungsvarianten „zu“ und „gekipppt“ bis auf wenige Ausnahmen – unabhängig von der Art der Verschattung – über der Grenztemperatur von 27 °C liegen zeigt sich für Nachtlüftungsvariante „offen“, dass etwa 40 % der untersuchten Varianten unterhalb der Grenztemperatur liegen (10) und damit als sommertauglich eingestuft werden können.

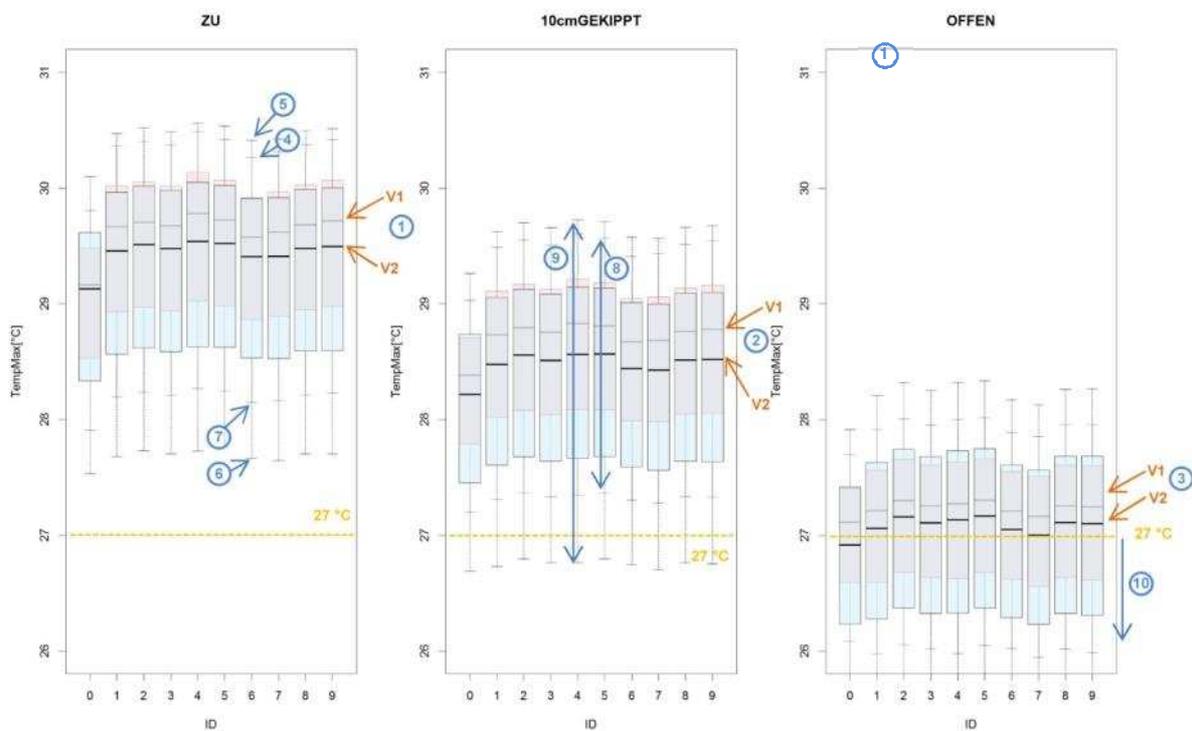


Abbildung 18 Maximal empfundene Temperatur in den Modellräumen Einfamilienhaus „EFH“, Belichtungsfläche „V1“ in grau/rosa, Belichtungsfläche „V2“ in schwarz/blau in Abhängigkeit von Dämmsystem und Nachtlüftung „zu“, „gekipppt“, „offen“, zusammengefasst Verschattung „ohne“, „außen“, „innen“

Wie auch bei Tabelle 3 zum Einfluss von Verschattung und Nachtluftwechsel zeigt Abbildung 18 dass der Einfluss des Verglasungsanteils abhängig von Verschattung und Nachtluftwechsel ist. Bei Nachtlüftung „offen“ stellen sich ohne außenliegende Verschattung (Abbildung 19), bedingt durch den höheren solaren Eintrag über den größeren Fensteranteil bei Einfamilienhaus „V2“ höhere maximal empfundene Temperaturen als bei Einfamilienhaus V1 („EFH V1“) ein. Mit zunehmender Effektivität der Verschattung kehrt sich – neben der Reduktion der maximal empfundenen Temperatur (1>2>3) – der Einfluss des Verglasungsanteils auf die maximal empfundene Temperatur jedoch um (4). Die Werte der maximal empfundenen Temperatur liegen nun bei größerem Fensteranteil „V2“ unterhalb von denen mit geringem Fensteranteil „V1“ (6). Bei außenliegender Verschattung ist die Differenz der maximal empfundenen Temperatur zwischen den Varianten mit 0,6 °C (8) noch stärker ausgeprägt.

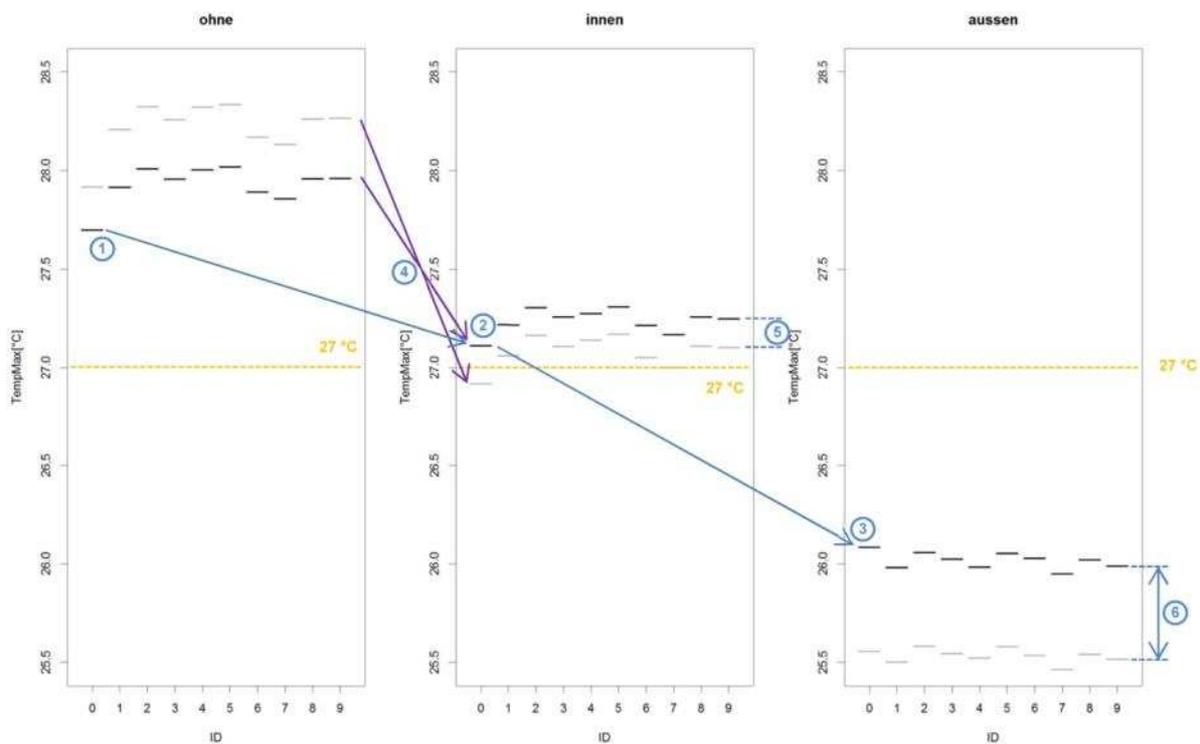


Abbildung 19 Einfluss Verglasungsanteil auf die maximal empfundene Temperatur in den Modellräumen Einfamilienhaus „EFH V1“ in schwarz, Einfamilienhaus „EFH V2“ in grau bei Nachtlüftung „offen“ in Abhängigkeit von Dämmsystem und Verschattung „ohne“, „außen“, „innen“

Conclusio

1. Der Einfluss der Geometrie und der davon abhängigen Größen (Verglasungsanteil, Anteil Innendämmung an Wandoberfläche) ist hoch.
2. Mit zunehmender Raumgröße nimmt die Neigung zu sommerlicher Überwärmung ab. Erläuterung: Die niedrigsten Werte stellen sich beim Reihenhaus „RH“ ein. Die höchsten beim Kleingartenwohnhaus „GZH“. Das Einfamilienwohnhaus „EFH“ liegt mit den maximalen empfundenen Temperaturen – unabhängig von der Art der Nachtlüftung – knapp unter denen des Kleingartenwohnhauses.

3. Ein höherer Fensteranteil führt zu einer größeren Spannweite der maximal empfundenen Temperaturen.
4. Der Einfluss des Verglasungsanteils auf die maximal empfundene Temperatur kehrt sich mit zunehmender Abschattung um.
Erläuterung: Während ohne Verschattung ein geringer Verglasungsanteil hinsichtlich sommerlicher Überwärmung vorteilhaft ist überwiegt bereits bei innen liegender Verschattung der Vorteil des höheren resultierenden Luftwechsels bei höherem Verglasungsanteil „V2“. Bei außen liegender Verschattung ist dieser Einfluss deutlich ausgeprägt.
5. Die Nachtlüftungsvarianten „zu“ und „gekippt“ sind zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung bei kritischen Räumen bis auf wenige Ausnahmen – unabhängig von der Art der Verschattung – ungeeignet bzw. nicht ausreichend (Abbildung 18).
6. Die Nachtlüftungsvariante „offen“ ist den Nachtlüftungsvarianten „zu“ und „gekippt“ zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung vorzuziehen.
Erläuterung: Etwa 40 % der untersuchten Varianten mit Nachtlüftung „offen“ liegen unterhalb der Grenztemperatur und können damit als sommertauglich eingestuft werden (Abbildung 18).

2.1.4.3 Güteklassen

Mit der Klassifizierung der sommerlichen Überwärmung in Form von Güteklassen kann das thermische Verhalten gegenüber einer „ja/nein“-Entscheidung – insbesondere in Anbetracht der in den letzten beiden Jahrzehnten spür- und messbaren Trends zu höheren Außenlufttemperaturen im Sommer – besser beurteilt werden. Auch das Optimierungspotenzial hinsichtlich sommerlichen Raumverhaltens kann dadurch besser ausgeschöpft werden. Als Ziel sind Güteklasse A und A+ anzustreben, da diese durch den um +1,5 °C bei Güteklasse A und um +3 °C bei Güteklasse A+ höher angesetzten Außentemperaturverlauf auch bei künftiger Klimaentwicklung ein gutes bzw. sehr gutes sommerliches Temperaturverhalten aufweisen.

Die Klassifizierung der sommerlichen Überwärmung erfolgt wie zuvor, durch die Berechnung der empfundenen Temperatur, jedoch mit einer Variation des Tagesmittelwerts der anzunehmenden Außentemperatur. Die Untersuchung zur Klassifizierung wird für das Modellgebäude Mehrfamilienwohnhaus für die nach Süd-Westen orientierte Wohnung mit den Modellräumen „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) durchgeführt. Dargestellt wird der Einfluss der Parameter Verschattung, Standort und Innendämmung auf die Klassifizierung. Die Auswirkung dieser Parameter bzw. Maßnahmen auf die Qualität des thermischen Komforts im Sommer lässt sich direkt an der Güteklasse ablesen, wodurch rasch ersichtlich wird in welchen Parametern bzw. Maßnahmen das größte Potential zur thermischen Optimierung liegt.

Einfluss der Verschattung auf Klassifikation

Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Einteilung nach Güteklassen für Modellraum „SW02“ (1 Fenster) dargestellt für außen und innen liegende Verschattung. In den Ergebnissen sind die Stockwerke Erdgeschoß „EG“, erstes und zweites Obergeschoß „OG1/OG2“ und drittes Obergeschoß „OG3“, die Standorte Wien, Innsbruck, Klagenfurt, Mallnitz sowie die Nachtlüftungsparameter „zu“, „gekipppt“ und „offen“ wie auch die Fenstertypen („alt“, „neu“) zusammengefasst dargestellt (Tabelle 5). In Klammer angegeben jeweils die Anzahl der berechneten Varianten.

Tabelle 5 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Geschoße und Standorte

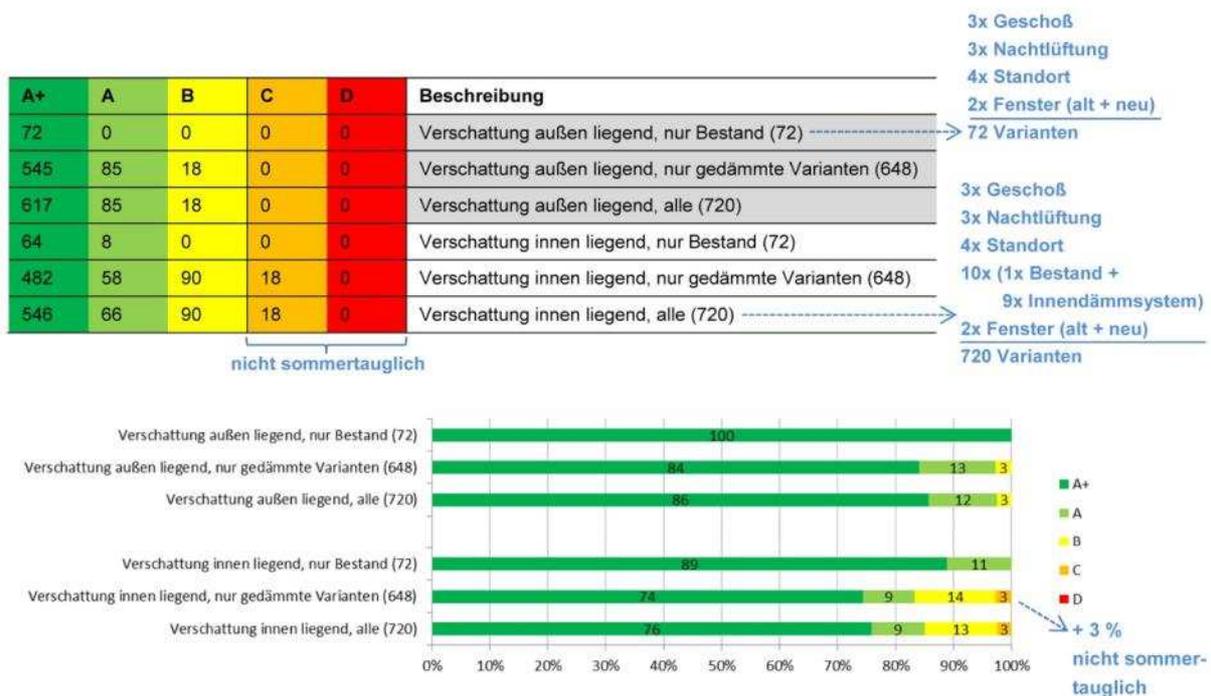


Abbildung 20 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte, Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Bei außen liegender Verschattung fallen bei Testraum „SW02“ alle 72 der berechneten Bestandsvarianten in die Kategorie A+. Bei innen liegender Verschattung liegen 8 (12 %) der 72 berechneten Varianten in der Kategorie A. Vergleicht man die Ergebnisse außen und innen liegender Verschattung zeigt sich, dass 18 Varianten (2,5 %) die bei außen liegender Verschattung Güteklasse B liegen, bei innen liegender Verschattung in die Kategorie C fallen und damit nicht mehr die Anforderungen an die Sommertauglichkeit erfüllen. Weiter fallen 71 Varianten (10 %) aus der Kategorie A+ und 19 (3 %) aus der Kategorie A, was zu einer Zunahme von Varianten in der Kategorie B um 72 (10 %) führt.

Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Einteilung nach Güteklassen für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) dargestellt für außen und innen liegende Verschattung. Die untersuchten Varianten sind wie zuvor für die Stockwerke „EG“, „OG1/2“ und „OG3“, sowie die Standorte zusammengefasst (Tabelle 6).

Tabelle 6 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte

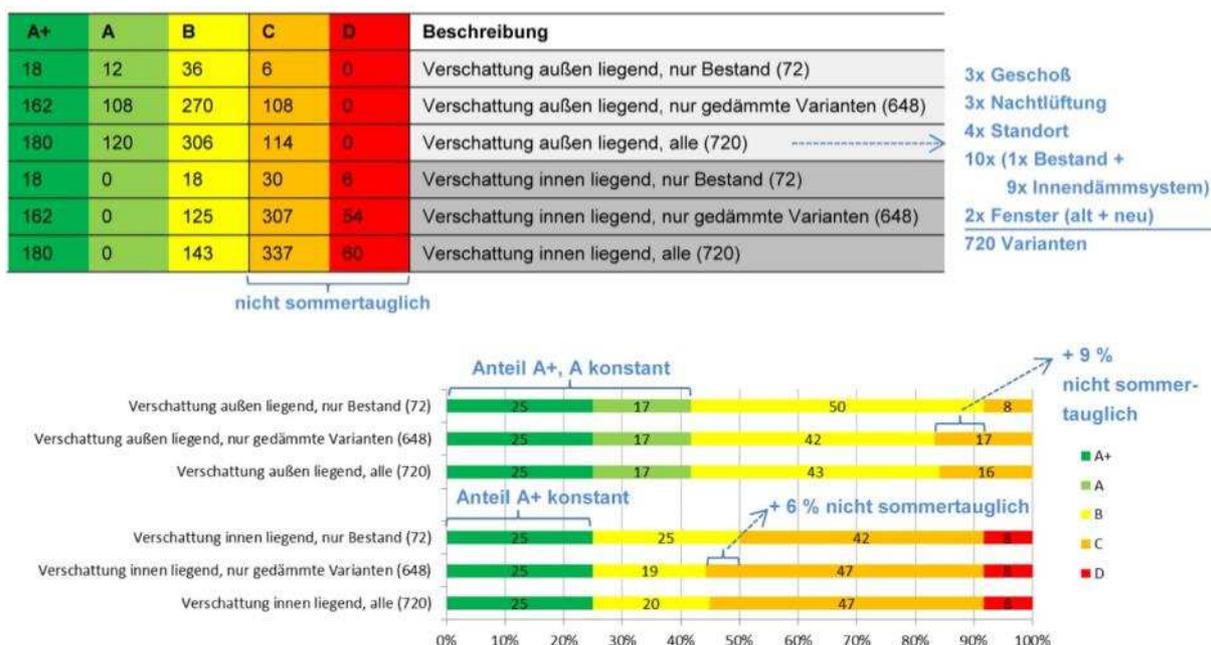


Abbildung 21 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte, Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Bei außen liegender Verschattung fallen bei Testraum „SW03“ lediglich 18 (25 %) der berechneten Bestandsvarianten in die Kategorie A+, 12 (17 %) in die Kategorie A, 36 (50 %) in die Kategorie B und 6 (8 %) in die Kategorie C (nicht sommertauglich). Bei innen liegender Verschattung liegen 30 (42 %) der Varianten in Kategorie C und 6 (8 %) in Kategorie D. Vergleicht man die Ergebnisse (gedämmte Varianten und Bestand) außen und innen liegender Verschattung zeigt sich, dass es in der Kategorie A+ zu keiner Verschiebung kommt. Die Varianten aus Kategorie A fallen dahingegen – wenn die Verschattung von außen nach innen gelegt wird – vollständig in die darunter liegende Kategorie B, deren Varianten sich wiederum in die Kategorien C und D verschieben. Es zeigt sich, dass mit außen liegendem Sonnenschutz die Zahl der Varianten, die nicht den Anforderungen an die Sommertauglichkeit entsprechen, von 55 % (397) bei innen liegendem Sonnenschutz auf 16 % (114) reduziert wird.

Conclusio

1. Klasse A+ zeigt bei Modellraum „SW03“ keinen Einfluss der Verschattung.
Erläuterung: Der Anteil der Varianten bei außen und innen liegender Verschattung ist gleich.

- Der Einfluss der Verschattung in den Klassen A bis D ist hoch.
Erläuterung: Varianten aus Klasse A werden bei Modellraum „SW03“ vollständig in die darunter liegende Klasse B verschoben, wenn die Verschattung von außen nach innen gelegt wird. Die Varianten der Klasse B wiederum verschieben sich in die Klassen C und D.
- Mit außen liegendem Sonnenschutz wird die Zahl der Varianten, die nicht den Anforderungen an die Sommertauglichkeit entsprechen, deutlich reduziert
Erläuterung: Reduktion von 55 % (397) bei innen liegendem Sonnenschutz auf 16 % (114) bei außen liegender Verschattung.
- Der Einfluss der Verschattung steigt mit zunehmendem Verglasungsanteil.

Einfluss Standort auf Klassifikation

Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Für die einzelnen Standorte wurden jeweils 180 Varianten untersucht - 3 Geschoße, 2 Fenstertypen, 3 Lüftungstypen „zu“/„gekipp“/„offen“, der ungedämmte Bestand und 9 Innendämmsysteme. Die Auswertung wird für die Standorte Wien, Klagenfurt, Innsbruck und Mallnitz durchgeführt. Da Klagenfurt und Innsbruck auf Grund der identen Tagesmittelwerte (Höhendifferenz von 120 m) zu nahezu gleichen Ergebnissen in der Klassifizierung führen wird stellvertretend für Innsbruck nachfolgend nur der Standort Klagenfurt dargestellt (Tabelle 7).

Tabelle 7 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke

A+	A	B	C	D	Beschreibung
141	21	18	0	0	Wien, Verschattung außen liegend (180)
114	30	18	18	0	Wien, Verschattung innen liegend (180)
148	32	0	0	0	Klagenfurt, Verschattung außen liegend (180)
126	18	36	0	0	Klagenfurt, Verschattung innen liegend (180)
180	0	0	0	0	Mallnitz, Verschattung außen liegend (180)
180	0	0	0	0	Mallnitz, Verschattung innen liegend (180)

3x Geschoß
3x Nachtlüftung
10x (1x Bestand +
9x Innendämmsystem)
2x Fenster (alt + neu)
180 Varianten

nicht sommertauglich

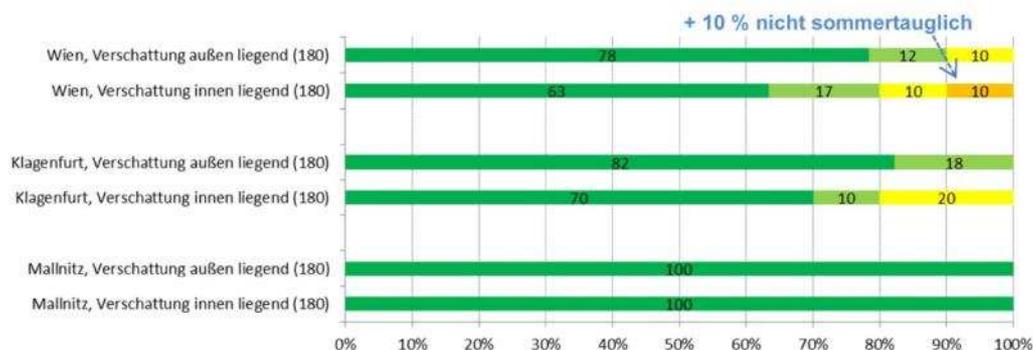


Abbildung 22 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke, Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Am Standort Wien entsprechen bei innen liegender Verschattung 18 (10 %) der berechneten Varianten nicht den Anforderungen an Sommertauglichkeit, wohingegen bei außen liegender Verschattung alle als sommertauglich zu bewerten sind. Dabei fallen 18 (10 %) der Varianten min außen liegender Verschattung in die Klasse B, 21 (12 %) in die Klasse A, 141 (78 %) in die Klasse A+. Bei innen liegender Verschattung kommt es demnach gegenüber außenliegender Verschattung um eine Verschiebung von 27 (15 %) der berechneten Varianten von Klasse A+ nach Klasse A und jeweils 18 (10 %) Varianten von Klasse A nach Klasse B und von Klasse B nach Klasse C.

In Klagenfurt fallen 148 (82 %) der Varianten mit außen liegender Verschattung in Klasse A+, 32 (18 %) in Klasse A. Bei innenliegender Verschattung kommt es demgegenüber zu einer Verschiebung von 36 Varianten (20 %) von Klasse A+ und A in die Klasse B.

Wie auch in Klagenfurt erfüllen in Mallnitz alle untersuchten Varianten von Modellraum „SW02“ (1 Fenster) die Anforderungen an Sommertauglichkeit. In Mallnitz fallen dabei alle Varianten in die Klasse A+.

Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Analog zum Modellraum „SW02“ wird in Tabelle 8 und Abbildung 23 das Ergebnis für Modellraum „SW03“ dargestellt.

Bei innen liegender Verschattung fallen in Wien 157 Varianten, das sind 87 % in die Kategorien C und D und sind damit nicht sommertauglich. 60, also 33 % fallen dabei sogar in die schlechteste Kategorie D. Dahingegen kann durch außen liegende Verschattung die Anzahl auf 114 (63 %) reduziert werden. Jedoch wird auch bei außen liegender Verschattung keine bessere Kategorie als B erreicht.

In Klagenfurt führt die außen liegende Verschattung gegenüber der innen liegenden Verschattung um eine Verschiebung von 120 Varianten (67 %) von nicht sommertauglich (Güteklasse C) in die Güteklasse B – sommertauglich. Die 60 Varianten (33 %) von Güteklasse B bei innen liegender Verschattung fallen bei außen liegender Verschattung bereits in Güteklasse A. Die Berücksichtigung eines außen liegenden Sonnenschutzes gegenüber einem innen liegenden führt am Standort Klagenfurt um eine Verbesserung um genau eine Güteklasse.

Am Standort Mallnitz fallen selbst die Varianten, die in Wien bei innenliegender Verschattung in Güteklasse D sind, in die Güteklasse A+.

Tabelle 8 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke

A+	A	B	C	D	Beschreibung
0	0	66	114	0	Wien, Verschattung außen liegend (180)
0	0	23	97	60	Wien, Verschattung innen liegend (180)
0	60	120	0	0	Klagenfurt, Verschattung außen liegend (180)
0	0	60	120	0	Klagenfurt, Verschattung innen liegend (180)
180	0	0	0	0	Mallnitz, Verschattung außen liegend (180)
180	0	0	0	0	Mallnitz, Verschattung innen liegend (180)

nicht sommertauglich

3x Geschoß
3x Nachtlüftung
10x (1x Bestand +
9x Innendämmsystem)
2x Fenster (alt + neu)
180 Varianten

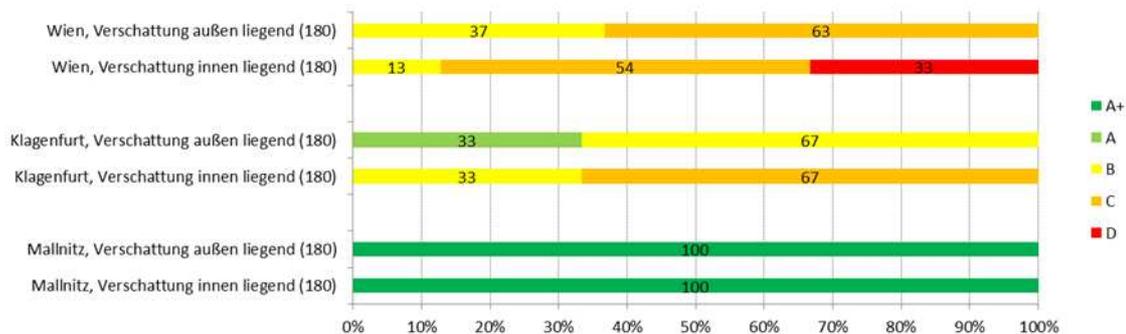


Abbildung 23 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke, Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Conclusio

- Die Ergebnisse in der Klassifizierung sind für Klagenfurt und Innsbruck aufgrund der gleichen Tagesmittelwerte – trotz der Höhendifferenz der Standorte von 120 m – ident.
- Räume mit geringerem Verglasungsanteil („SW02“) schneiden in der Klassifizierung – unabhängig vom Standort (Mallnitz ausgenommen) – wesentlich besser ab.
Erläuterung: Bei Modellraum „SW02“ 1 % nicht sommertauglich gegenüber 36 % nicht sommertauglich bei Modellraum „SW03“.
- Der Einfluss des Standorts auf die Klassifikation ist hoch.
Erläuterung: Am Standort Mallnitz (Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur 18 °C) fallen selbst die Varianten, die in Wien (Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur 24 °C) bei innenliegender Verschattung in Güteklasse D liegen in die Güteklasse A+.
- Durch außen liegende Verschattung kann der Anteil nicht sommertauglicher Varianten deutlich reduziert werden.
Erläuterung: In Wien bei Modellraum „SW03“ von 87 % auf 63 %. In Klagenfurt führt eine außen liegende Verschattung gegenüber einer innen liegenden Verschattung zu einer Verschiebung von 67 % von nicht sommertauglich zu sommertauglich (SW03).

5. Ein außen liegender Sonnenschutz führt gegenüber einem innen liegenden Sonnenschutz zu einer Verschiebung (Verbesserung) um eine Güteklasse, wie am Beispiel Klagenfurt bei Modellraum „SW03“ (Abbildung 24) zu erkennen ist.
6. Bereits 1 °C Unterschied im Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur (Wien 24 °C, Klagenfurt 23 °C) führt zu einer Verschiebung um eine Güteklasse.
7. Ab einem Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur von 24 °C wird bei Räumen mit geringem Verglasungsanteil ein innen liegender Sonnenschutz, bei Räumen mit hohem Verglasungsanteil ein außen liegender Sonnenschutz jedenfalls erforderlich.
Erläuterung: In Wien (24 °C Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur) sind bei Modellraum „SW03“ und innen liegender Verschattung 87 % der Varianten nicht sommertauglich. 33 % fallen sogar in die schlechteste Kategorie D. Durch außen liegenden Sonnenschutz kann der Anteil nicht sommertauglicher Varianten von 87 % auf 63 % reduziert werden.
8. Der Sonnenschutz als alleinige Maßnahme zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung reicht oft nicht aus und muss daher mit entsprechender Lüftung („offen“) kombiniert werden.

Einfluss Innendämmsystem auf Klassifikation

Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Während der Einfluss von Standort und Verschattung auf die Klassifikation sehr stark ausgeprägt ist, fällt der Einfluss des Innendämmsystems auf die Klassifikation gering aus (Tabelle 9). Nimmt man eine Rangordnung vor, so erhält „ID07“ mit einer hohen spezifischen Wärmekapazität des Dämmstoffs die beste Einstufung, gefolgt von „ID04“ und „ID09“ mit besonders geringer Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs. Die Unterschiede zwischen den Innendämmsystemen betreffen jedoch nur 5 Varianten, was bezogen auf die 216 untersuchten Varianten 2,3 % entspricht. Durch den Vergleich von „ID01“ – für das keine Berechnung ohne Verschattung durchgeführt wurde – mit den anderen Innendämmsystemen zeigt sich, dass die 2 Varianten der Klasse D und 6-8 Varianten der Klasse C – nicht sommertauglich – auf die Varianten ohne Verschattung zurückzuführen sind. Insgesamt zeigt der Modellraum „SW02“ mit 83 % der Varianten in Klasse A+ und A (Abbildung 24) ein gutes sommerliches Temperaturverhalten – unabhängig von der Art des Innendämmsystems.

Tabelle 9 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Verschattung, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte zusammengefasst

A+	A	B	C	D	Beschreibung und Anzahl Varianten
116	14	12	2	0	ID01 (144), 4x Standort, 2x Verschattung (außen/innen), 3x Lüftung, 3x Geschöß, 2x Fenster (Bestand und Neu)
143	38	23	10	2	ID02 (216), 4x Standort, 3x Verschattung (außen/innen/ohne), 3x Lüftung, 3x Geschöß, 2x Fenster (Bestand und Neu)
146	35	23	10	2	ID03 (216)
148	35	21	10	2	ID04 (216) Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz (Platz 2)
145	36	23	10	2	ID05 (216)
143	40	21	10	2	ID06 (216)
148	38	20	8	2	ID07 (216) Schilf/Strohplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz (Platz 1)
146	35	23	10	2	ID08 (216)
148	34	22	10	2	ID09 (216) Vakuumisulationspanel, Kaltbitumenkleber m. Innenputz (Platz 3)

nicht sommertauglich

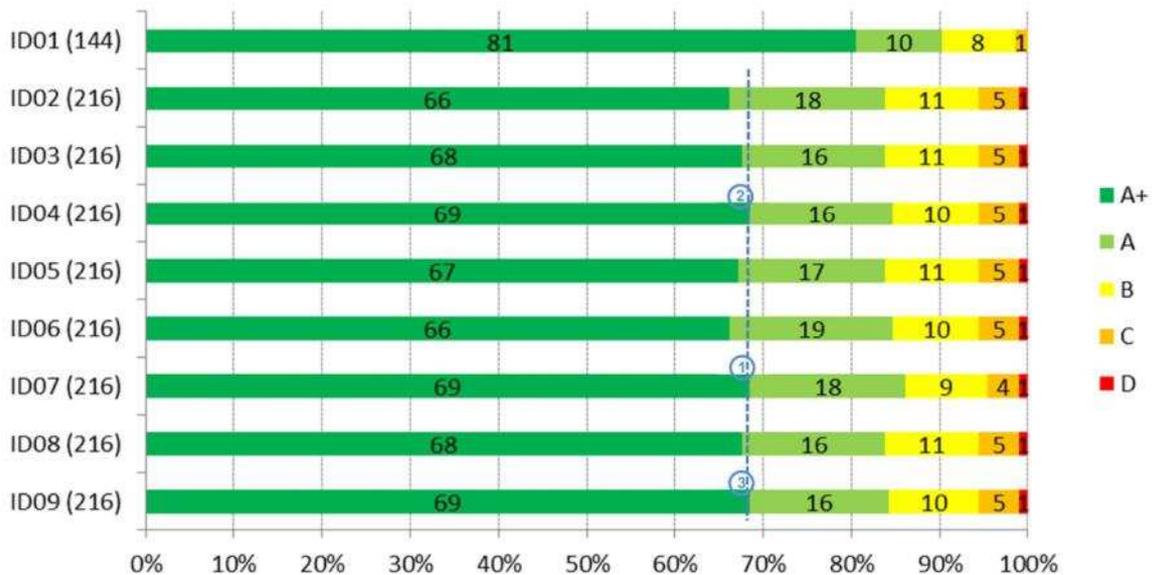


Abbildung 24 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Verschattung, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke zusammengefasst, Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Auch bei Modellraum „SW03“ fällt der Einfluss des Innendämmsystems auf die Klassifikation gering aus (Tabelle 10). Nimmt man diesmal eine Rangordnung in umgekehrter Reihenfolge vor, so belegen die Innendämmsysteme „ID02“, „ID04“ und „ID05“ den letzten Platz in der Klassifikation. Die Unterschiede zwischen den Innendämmsystemen betreffen jedoch nur 1 Variante, was bezogen auf die 144 untersuchten Varianten lediglich 0,7 % entspricht. Durch den Vergleich von „ID07“ – für das diesmal die Berechnung ohne Verschattung durchgeführt wurde – mit den anderen Innendämmsystemen zeigt sich, dass bei „ID07“ und „ID09“ 21 Varianten der Klasse D und 22-24 Varianten der Klasse C – nicht sommertauglich – auf die Varianten ohne Verschattung zurückzuführen sind. Insgesamt zeigt der Modellraum „SW03“ (2 Fenster) mit lediglich 33 % der Varianten in Klasse A+ und A (Abbildung 25) im Vergleich

zu Modellraum „SW02“ (1 Fenster) ein deutlich schlechteres sommerliches Temperaturverhalten. Der Einfluss der Innendämmung auf die Klassifikation fällt bei „SW03“ mit 0,7 % geringer aus als bei Modellraum „SW02“ mit 2,3 %.

Tabelle 10 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Verschattung, Fenster, Nachtlüftung, Stockwerke und Standorte zusammengefasst

A+	A	B	C	D	Beschreibung und Anzahl Varianten
36	12	44	46	6	ID01 (144) 4x Standort, 2x Verschattung (außen/innen), 3x Lüftung, 3x Geschoß, 2x Fenster (Bestand und Neu)
36	12	43	47	6	ID02 (144) Perlitedämmplatte mit Innenputz (letzter Platz)
36	12	44	46	6	ID03 (144)
36	12	43	47	6	ID04 (144) Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz (letzter Platz)
36	12	43	47	6	ID05 (144) Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz (letzter Platz)
36	12	45	45	6	ID06 (144)
51	15	51	69	27	ID07 (213) 4x Standort, 3x Verschattung, 3x Lüftung, 3x Geschoß, 2x Fenster, 3 Varianten fehlen)
36	12	44	46	6	ID08 (144)
51	15	50	70	27	ID09 (213)

nicht sommertauglich

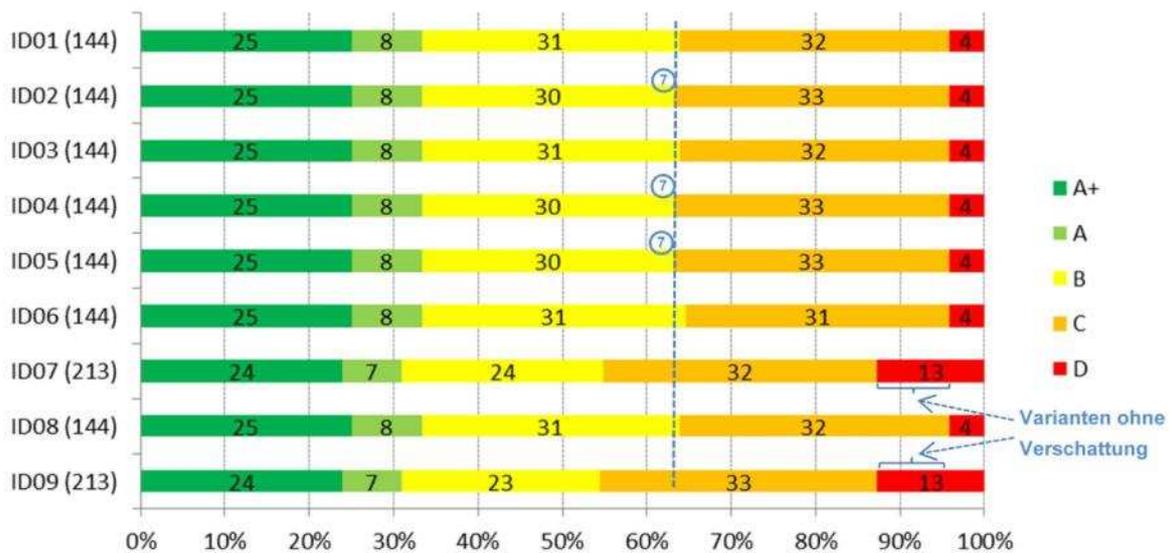


Abbildung 25 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Verschattung, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke zusammengefasst, Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Conclusio

1. Im Vergleich zu Standort und Verschattung ist der Einfluss der Innendämmung auf die Klassifikation gering.
2. Der Einfluss der Innendämmung auf die Klassifikation sinkt mit zunehmendem Verglasungsanteil.
3. Die Variation in den Güteklassen bezogen auf die Innendämmsysteme liegt bei maximal 2,3 %.
4. Die Eigenschaften der Innendämmsysteme (Wärmeleitfähigkeit, Speicherwirksame Masse) wirken sich in Abhängigkeit der Raumgeometrie bezogen auf die Klassifikation mal positiv und mal negativ aus, wie der 2. Platz in der Reihung bei

Innendämmsystem „ID04“ bei Modellraum „SW02“ gegenüber dem letzten Platz in der Reihung bei Modellraum „SW03“ zeigt. Ursache dafür ist das von den Parametern Lüftung und Verschattung abhängige Raumtemperaturverhalten.

2.1.5 Resümee und Empfehlungen

Im Zuge der Analyse haben sich einige wichtige Punkte herauskristallisiert. Nachfolgend werden Planungsempfehlungen auf Basis der in 1.1.4 zusammengestellten Ergebnisse gegeben. Diese Empfehlungen beziehen sich auf die Optimierung des sommerlichen Temperaturverhaltens und die Vermeidung sommerlicher Überwärmung bei Projekten mit Innendämmung unter Berücksichtigung der Einflussgrößen Standort, Verschattung, Lüftung, und Geometrie. Die Empfehlungen dienen der Auswahl, Bemessung und Beurteilung (Klassifikation) von Innendämmsystemen hinsichtlich der Optimierung des sommerlichen Temperaturverhaltens.

Standort

Der Einfluss des Standorts auf die maximal empfundene Temperatur und damit auf die Beurteilung bzw. Klassifikation der sommerlichen Überwärmung ist hoch.

- a. Unabhängig von den Raumeigenschaften und Art der Beschattung beträgt der Unterschied der maximal empfundenen Temperatur zwischen Standort Wien und Klagenfurt bzw. Wien und Innsbruck $0,9\text{ °C}$, was dazu führt, dass in Klagenfurt und Innsbruck Varianten mit außen liegender Verschattung bereits als sommertauglich eingestuft werden können, während sie in Wien als nicht sommertauglich zu bewerten sind.
- b. Für Standorte mit hohen Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur (z.B. 24 °C für Wien) ergibt sich ein hohes Risiko für sommerliche Überwärmung.
- c. Ergebnisse in der Klassifizierung sind für Orte mit identen Tagesmittelwerten trotz etwaiger Höhendifferenz der Standorte nahezu ident.
- d. An Standorten mit niedrigen Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur (z.B. 18 °C für Mallnitz) fallen selbst Varianten die bei Standorten mit einem Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur von 24 °C in Güteklasse D liegen in die höchste Güteklasse A+.
- e. 1 °C Unterschied im Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur (Wien 24 °C , Klagenfurt 23 °C) führt zu einer Verschiebung um eine Güteklasse.
- f. Ab einem Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur von 24 °C wird bei Räumen mit geringem Verglasungsanteil ein innen liegender Sonnenschutz, bei Räumen mit hohem Verglasungsanteil ein außen liegender Sonnenschutz jedenfalls erforderlich.

Verschattung

Der Einfluss der Verschattung auf die maximal empfundene Temperatur und damit auf die Beurteilung bzw. die Klassifikation der sommerlichen Überwärmung ist hoch.

- a. Ohne Verschattung ergeben sich – auf Grund der hohen solaren Einträge – erwartungsgemäß die höchsten Temperaturen.
- b. Die niedrigsten Temperaturen stellen sich bei außen liegender Verschattung ein.

- c. Durch außen liegenden Sonnenschutz kann der Anteil nicht sommertauglicher Varianten um 25 % reduziert werden.
- d. Eine innen liegende Verschattung führt gegenüber der nicht verschatteten Variante zu einer Reduktion der maximal empfundenen Temperatur von 1,1 °C.
- e. Eine außen liegende Verschattung bringt gegenüber einer innen liegenden Verschattung eine Reduktion der maximal empfundenen Temperatur von 1,1 °C, gegenüber keiner Verschattung eine Reduktion von 2,2 °C.
- f. Ein außen liegender Sonnenschutz führt gegenüber einem innen liegenden Sonnenschutz zu einer Verschiebung (Verbesserung) um eine Güteklasse.
- g. Mit außen liegendem Sonnenschutz wird die Zahl der Varianten, die nicht den Anforderungen an die Sommertauglichkeit entsprechen, gegenüber innenliegendem Sonnenschutz, je nach Standort um 40 bis 70 % reduziert.
- h. Der Einfluss der Verschattung steigt mit zunehmendem Verglasungsanteil.
- i. Der Einfluss der Verschattung nimmt mit zunehmendem Luftwechsel ab.
- j. Varianten, die in Klasse A+ fallen, zeigen keinen Einfluss der Verschattung.
- k. In den Klassen A bis D ist der Einfluss der Verschattung hoch.
- l. Der Sonnenschutz als alleinige Maßnahme zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung reicht oft nicht aus und muss mit entsprechender Lüftung („offen“) kombiniert werden.

Nachtlüftung

Der Einfluss der Nachtlüftung auf die maximal empfundene Temperatur ist hoch.

- a. Die Nachtlüftung mit gekippten Fenstern führt gegenüber der Variante „zu“, bei der auch ein Lüften in der Früh und am Abend berücksichtigt wird, zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 0,5 °C.
- b. Die Nachtlüftung mit geöffneten Fenstern bringt gegenüber gekippten Fenstern eine weitere Reduktion der maximal empfundenen Temperatur um 1,0 °C.
- c. Der Einfluss der Nachtlüftung nimmt mit zunehmender Verschattung ab.
- d. Die Nachtlüftungsvarianten „zu“ und „gekippt“ sind zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung bei kritischen Räumen bis auf wenige Ausnahmen – unabhängig von der Art der Verschattung – ungeeignet bzw. nicht ausreichend.
- e. Die Nachtlüftungsvariante „offen“ ist den Nachtlüftungsvarianten „zu“ und „gekippt“ zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung vorzuziehen.

Geometrie

Der Einfluss der Geometrie und der direkt davon abhängigen Größen (Verglasungsanteil, Anteil Innendämmung an Wandoberfläche) auf die maximal empfundene Temperatur ist hoch.

- a. Räume mit geringem Verglasungsanteil schneiden in der Klassifizierung – unabhängig vom Standort – besser ab und zeigen ein geringeres Risiko für

sommerliche Überwärmung als Räume mit hohem Verglasungsanteil. Räume mit geringerem Verglasungsanteil.

- b. Der Einfluss der solaren Einträge über die Fenster und der Raumgeometrie nimmt mit abnehmenden Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur ab.
- c. Mit zunehmender Raumgröße nimmt die Neigung zu sommerlicher Überwärmung – unabhängig von der Art der Nachtlüftung – ab.
- d. Der Einfluss des Verglasungsanteils auf die maximal empfundene Temperatur kehrt sich mit zunehmender Abschattung um: Während ohne Verschattung ein geringer Verglasungsanteil hinsichtlich sommerlicher Überwärmung vorteilhaft ist überwiegt bereits bei innen liegender Verschattung der Vorteil des höheren resultierenden Luftwechsels bei höherem Verglasungsanteil. Bei außen liegender Verschattung ist dieser Einfluss deutlich ausgeprägt.

Innendämmung

Der Einfluss der Art der Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur ist gering. Die resultierenden Temperaturunterschiede zwischen den Innendämmsystemen variieren im Bereich eines Zehntel Grades.

- a. Die Aussage, dass eine Innendämmung zu einer Verschlechterung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führt ist nicht zulässig. Die maximal empfundene Temperatur innen gedämmter Varianten liegt zwar teilweise deutlich über jener der ungedämmten Außenwand. Es gibt aber auch Varianten, bei denen die maximal empfundene Temperatur innen gedämmter Varianten unter jener des ungedämmten Bestands liegt.
- b. Die Art der Innendämmung – und der daraus resultierende Unterschied der maximal empfundenen Temperatur im Bereich eines Zehntel Grades – wird für die Beurteilung der sommerlichen Überwärmung relevant, wenn das Temperaturniveau der maximal empfundenen Temperatur im Bereich der Grenztemperatur liegt, wie dies für die Varianten mit innen liegender Verschattung der Fall ist.
- c. Innendämmsysteme mit einem raumseitigen Oberflächenfinish hoher Dichte (z.B. 1700 kg/m³ bei 2 cm Schichtdicke) zeigen günstige Eigenschaften hinsichtlich der Vermeidung sommerlicher Überwärmung.
- d. Der ‚positive‘ Einfluss (= abfallender Verlauf der maximal empfundenen Temperatur) der Innendämmung steigt mit zunehmender Dämmstoffdicke bei zunehmendem Nachtluftwechsel wenn der Einfluss der solaren Strahlung durch die Fenster auf Grund von Verschattung gering ist.
- e. Der ‚negative‘ Einfluss (= ansteigender Verlauf der maximal empfundenen Temperatur) der Innendämmung bei zunehmender Dämmstoffdicke steigt mit abnehmendem Nachtluftwechsel wenn der Einfluss der solaren Strahlung durch die Fenster – mangels Verschattung – hoch ist.

- f. Die Parameter Rohdichte und spezifische Wärmekapazität des Dämmstoffs haben für die in der Praxis üblichen Materialien keinen bzw. nur untergeordneten Einfluss auf die maximal empfundene Temperatur.
- g. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs ist die maßgebliche Einflussgröße auf die maximal empfundene Temperatur. Die Reduktion des Wärmeeintrags durch die Außenwände bei zunehmender Dämmstoffdicke ist Ursache für den Effekt abfallender empfundener Temperaturen bei zunehmender Dämmstoffdicke.
- h. Im Vergleich zu Standort und Verschattung ist der Einfluss der Innendämmung auf die Klassifikation gering.
- i. Der Einfluss der Innendämmung auf die Klassifikation sinkt mit zunehmendem Verglasungsanteil.
- j. Die Variation in den Güteklassen bezogen auf die Innendämmsysteme liegt bei maximal 2,3 %.

Kombination und Diversität von Maßnahmen

Die Einhaltung der Grenztemperatur zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung kann oft nicht durch eine einzige Maßnahme bzw. die Adaption eines Parameters erreicht werden. In der Regel ist es erforderlich an mehreren Stellschrauben zu drehen. Dabei können allerdings verschiedene Kombinationen zielführend sein. So kann die Einhaltung der Grenztemperatur von 27 °C beispielsweise sowohl über gekippte Fenster mit außen liegender Verschattung, als auch über geöffnete Fenster mit außen oder innen liegender Verschattung realisiert werden. Dies ist der Vielzahl der Stellgrößen und ihres komplexen Zusammenspiels geschuldet. Zwar verlangt diese Tatsache dem Planer einiges an Geschick und Erfahrung ab, ermöglicht dafür im Planungs- bzw. Optimierungsprozess projektspezifisch bzw. raumbezogen die jeweils günstigste Lösung zu entwickeln. Ist im Erdgeschoß das Lüften über vollständig geöffnete Fenster nachts nicht möglich oder nicht erwünscht, so kann im angeführten Beispiel sommerliche Überwärmung mit einer Lüftung über gekippte Fenster in Kombination mit Verschattung vermieden werden.

Mit den hier in Kapitel 1.1.5 angeführten Planungsempfehlungen kann die positive, aber auch negative Auswirkung wie auch das Potential einzelner Parameter hinsichtlich möglicher Temperaturabsenkung rasch abgeschätzt werden. Damit werden insbesondere für Projekte mit Innendämmung wesentliche Hilfestellungen bei der Optimierung bzw. Vermeidung sommerlicher Überwärmung gegeben. Weiter kann die weit verbreitete Aussage, dass eine Innendämmung zu einer Verschlechterung hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führt – die zumeist auf einer oberflächlichen Betrachtung beruht – widerlegt werden. Das Zusammenwirken der Einflussgrößen wird anhand von Beispielen veranschaulicht und durch Erläuterungen nachvollziehbar dargestellt.

2.2 Thermischer Komfort

2.2.1 Einleitung

Thermischer Komfort – auch als thermische Behaglichkeit bezeichnet, wird über das Wohlbefinden eines Menschen in einem gegebenen Raumklima definiert. Thermischer Komfort hängt mit dem menschlichen Wärmeempfinden und damit vom thermischen Gleichgewicht (Wärmebilanz) des Körpers ab. Dieses Gleichgewicht wird durch körperliche Tätigkeit, Bekleidung sowie durch Parameter des Umgebungsklimas wie Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte beeinflusst [32].

Detaillierte Aussagen über den thermischen Komfort – also über das thermische und hygrische Verhalten eines Raumes im Zeitverlauf – erfordern demnach eine realitätsnahe Abbildung. Diese ist durch instationäre Simulationsberechnungen möglich, bei denen zeitabhängig und damit abhängig von Tagesgängen der Umgebungsbedingungen wie Außenlufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Lüftungsverhalten, inneren Wärmequellen, Raumgeometrie, Konstruktion wie auch Verschattungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Studien wie [33] zeigen, dass dem Sommerfall für Behaglichkeitsbeurteilungen gegenüber dem Winterfall – in dem Gebäude mit hohen Dämmstandards in der Heizperiode gute Raumklimabeurteilungen liefern – zunehmend Bedeutung zukommt. Da aber auch die Übergangszeiten Frühling und Herbst mit besonderer Sorgfalt zu betrachten sind erfolgt die Analyse und Beurteilung des thermischen Komforts im Jahresverlauf.

2.2.2 Vorbemerkung

Für die Bestimmung des thermischen Komforts – der durch Größen wie empfundene Temperatur, Maximal- und Minimal-Temperaturen, Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV) und dem vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) beschrieben wird, werden für repräsentative Modellräume – auch als Testräume bezeichnet – Simulationsberechnungen im Jahresverlauf unter Zuhilfenahme des Softwarepakets TRNSYS durchgeführt.

Die Simulation des thermischen Verhaltens zur Untersuchung des Einflusses von Innendämmung auf die sommerliche Überwärmung und den thermischen Komfort im Jahresverlauf erfolgt für einzelne Räume und die gesamte Wohneinheit. Die Analyse der Ergebnisse erfolgt für die Modellräume „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) (Beschreibung siehe 1.1.2.1 Testräume). Die Auswertung wird dabei für verschiedene Dämmstandards stunden- und monatsweise über das gesamte Jahr vorgenommen. Die Beurteilung des thermischen Komforts erfolgt anhand der ÖNorm B 8110-3 [3], der ÖNorm EN ISO 7730 *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit* [32] sowie der ÖNorm EN 15251 *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik* [34].

2.2.2.1 Berechnungssoftware

Die raumklimatischen Untersuchungen werden mit Hilfe des dynamischen Gebäude-Simulationspakets TRNSYS (Transient System Simulation, Version 17) durchgeführt. Temperaturen und Feuchtigkeitszustände der Räume bzw. Raumgruppen werden in Abhängigkeit von

- Klima (Außentemperatur, direkte und diffuse Einstrahlung auf alle Gebäudeaußenteile, relative Feuchte, Wind),
- Nutzereinflüssen (Lüftung, Fensteröffnen, Sonnenschutzbedienung, innere Lasten durch Personen, Beleuchtung und Geräte)
- Qualität der Gebäudeteile (Speicherfähigkeit und Leitfähigkeit der Wärme und Feuchte, Solare Transmission bei transparenten Bauteilen)

berechnet. Die Ergebnisse werden in Stunden-Mittelwerten dargestellt. Anstelle der in der Software implementierten Komfortbewertung erfolgt die Bestimmung und Klassifizierung anhand einer für diese Arbeit entwickelten – auf Matlab basierenden – Auswertung entsprechend EN ISO 7730 [32] und EN ISO 15251 [34].

2.2.2.2 Varianten und Parameter

Definition und Grundannahmen

Für den untersuchten Raumverband bestehend aus den Räumen „SW01“, „SW02“ und „SW03“ wird eine Nutzung durch 3 Personen festgelegt. Es werden die beiden – weil klein und nach Süden orientierten – als kritisch einzustufenden Modellräume „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) analysiert. Zur Untersuchung des thermischen Komforts wird für diese beiden, relativ kleinen Wohnräumen, mit einem und zwei Fenstern eine Wärmeabgabe von 80 W/Person und eine Feuchteabgabe von 5 g/Person angesetzt, wobei eine Beleuchtung mit einer installierten Leistung von 10 W/m² definiert wird. Geräte in Küche (Herd, Kochplatten und Kühlschrank) und Wohnzimmer werden mit insgesamt 80 Watt berücksichtigt.

Die dynamische Gebäudesimulation wird im Vergleich zur Untersuchung zur sommerlichen Überwärmung in Kapitel 1.1 – bei der verschiedene Innendämmsysteme betrachtet werden – für ein Dämmsystem (Mineralewolleplatte λ 0,045 W/mK) durchgeführt. Die Dämmstoffdicke variiert mit dem definierten Dämmstandard und wird mit 0 cm für den ungedämmten Bestand (U-Wert Außenwand 1,18 W/m²K), 2 cm für die Variante „Minimal Sanierung“ (U-Wert Außenwand 0,77 W/m²K), 9 cm Sanierung entsprechend den bauteilbezogenen Anforderungen der OIB Richtlinie 6 [19] (U-Wert Außenwand 0,35 W/m²K) und 12 cm für die Sanierungsvarianten „Maximal“ und „Enerphit“ (U-Wert Gesamtkonstruktion 0,28 W/m²K) festgelegt. Für den Bestand und die minimale Sanierung werden unsanierte Bestandsfenster und eine Innenliegende Verschattung angenommen. Für die höheren Dämmstandards wird bei der Berechnung eine thermische Fenstersanierung mit einer zwischen den Fensterebenen liegenden Verschattung berücksichtigt. Die Varianten „Maximal“ und

„Enerphit“ unterscheiden sich, wie in Abbildung 26 zusammengefasst, im U_g -Wert der Verglasung und der Luftdichtheit der Gebäudehülle.

Dämmstoffdicke, Fenster, Sonnenschutz und Luftdichtheit

Für die Untersuchungen werden folgende Varianten (Abbildung 26) mit Wohnnutzung definiert:

- 1) **Bestand**: Außenwand thermisch nicht verbessert (U -Wert $1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$), Fenster thermisch nicht verbessert (U_g $2,91 \text{ W/m}^2\text{K}$), innen liegende Verschattung F_c $0,75$.
- 2) **Sanierung Minimal**: Applikation einer Innendämmung mit einer Dicke von 2 cm mit λ $0,045 \text{ W/mK}$ (U -Wert $0,77 \text{ W/m}^2\text{K}$) zur Vermeidung von Schimmelbildung im Bereich einbindender Bauteile, Fenster thermisch nicht verbessert (U_g $2,91 \text{ W/m}^2\text{K}$), innen liegende Verschattung F_c $0,75$.
- 3) **Sanierung OIB**: mit U -Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die Außenwand (9 cm Dämmstoffdicke bei λ $0,045 \text{ W/mK}$) entsprechend der bauteilbezogenen Anforderungen nach OIB Richtlinie 6 [19], Fenster thermisch verbessert (U_g $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$), Verschattung F_c $0,6$.
- 4) **Sanierung Maximal**: mit maximaler möglicher Dämmstoffdicke bezogen auf die Ergebnisse aus der hygrisch-thermischen Nachweisführung (Abschnitt B) (12 cm mit λ $0,045 \text{ W/mK}$ und U -Wert von $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die Außenwand), Fenster thermisch verbessert (U_g $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$), Verschattung F_c $0,6$.
- 5) **Sanierung EnerPHit**: Da der Passivhaus-Standard im Altbau häufig nicht erreicht wird führt eine Modernisierung auf EnerPHit-Standard mit Anwendung von Passivhaus-Komponenten zu weitgehenden Verbesserungen hinsichtlich Behaglichkeit, Bauschadensfreiheit, Wirtschaftlichkeit und Energiebedarf [35]. Der EnerPHit-Standard wird hier durch die Einhaltung der Kriterien des Bauteilverfahrens erreicht. Wien fällt in die kühlgemäßigte Klimazone gemäß PHPP, für welche bei Innendämmung ein maximaler Wärmedurchgangskoeffizient von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ zulässig ist. Zur Erfüllung des Enerphit-Standards wird eine Lüftungsanlage mit einem Wärmebereitstellungsgrad η_{WRG} nach ÖNorm EN 13141-7 *Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen* [36] von 75% bei einer Luftwechselrate von $0,6 \text{ h}^{-1}$ (n_{50}) berücksichtigt. Für die Dämmstoffdicke wird analog zu Variante 4 „Sanierung Maximal“ ein Wert von 12 cm mit λ $0,045 \text{ W/mK}$ festgelegt woraus sich ein U -Wert der Gesamtkonstruktion von $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ergibt. Fenster werden thermisch verbessert (U_g $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$) und eine Verschattung F_c $0,6$ berücksichtigt.

Varianten		Luft- wechsel- rate bei 50 Pa n_{50}	Dämm- dicke	Fenster					Wärme- bereit- stellungs- grad Lüftung
				U_g	U_f	Psi	Ver- schattung	F_c	
Nr.	Bezeichnung	h^{-1}	cm	W/m ² K	W/m ² K	W/mK			%
1	Bestand	3	0	2,91	1,24	0,155	Innen	0,75	-
2	Sanierung Minimal	3	2	2,91	1,24	0,155	Innen	0,75	-
3	Sanierung OIB	1,5	9	1,02	1,24	0,043	Zwischen	0,6	-
4	Sanierung Maximal	1,5	12	1,02	1,24	0,043	Zwischen	0,6	-
5	Sanierung Enerphit	0,6	12	1,02	1,24	0,043	Zwischen	0,6	75

Abbildung 26 Kenndaten zu Aufbauten, Fenster, Sonnenschutz und Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungsanlage

Innere Lasten

Für Personen wird eine Wärmeabgabe von 80 W/Person und eine Feuchteabgabe von 5 g/Person angesetzt, wobei für den untersuchten Raumverband bestehend aus „SW01“, „SW02“ und „SW03“ 3 Personen festgelegt werden. Für die Beleuchtung wird eine installierte Leistung von 10 W/m² mit einer Steuerung per Handschaltung (ein/aus) auf Mindestbeleuchtungsstärke von 300 lux definiert. Innere Lasten werden für Küche (Herd, Kochplatten, Kühlschrank) und Wohnzimmer mit insgesamt 80 Watt berücksichtigt.

Haustechnik

Für die Simulationsberechnungen wird ein spezifischer hygienischer Luftvolumenstrom von 1,02 m³/m²h nach ÖNorm 8110-3 [3] festgelegt, was 30 m³ pro Stunde und Person entspricht. Abhängig von der untersuchten Variante wird eine Fensterlüftung bzw. eine Lüftung über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt. In den Simulationsberechnungen wird eine Beheizung berücksichtigt. Die Implementierung eines realen Heizsystems in die Simulationsberechnungen ist für die Beantwortung der untersuchten Fragestellung nicht erforderlich.

Klimadaten

Außenlufttemperatur sowie direkte und diffuse Sonneneinstrahlung werden dem Programmpaket Meteororm entnommen. Dieser Wetterdatensatz bildet langjährige Monatsmittelwerte ab. Um heiße Sommer und kalte Winter – für die vorliegende Fragestellung von besonderem Interesse – in der Simulationsberechnung abbilden zu können wird auf Basis von 10-Jahres-Maximalwerten eine heiße Periode im Sommer und eine kalte Periode im Winter integriert.

2.2.2.3 Beurteilungskriterien

Der Einfluss der Innendämmung auf das Raumklima wird bereits in Kapitel 1.1 Sommerliches Temperaturverhalten anhand der sommerlichen Überwärmung entsprechend

ÖNorm B 8110-3 durch Berechnung des Tagesganges der empfundenen Raumtemperatur im zeitlich periodisch eingeschwungenen Zustand untersucht und dargestellt. Darüber hinaus kann der Einfluss der Innendämmung auf das Raumklima anhand des thermischen Komforts im Jahresverlauf untersucht werden. Die Beurteilung des thermischen Komforts erfolgt anhand a) der Übertemperaturhäufigkeit, b) dem vorausgesagten mittleren Votum (PMV), c) dem vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) sowie d) der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur (Mittelwertbildung über 7 Tage).

Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)

PMV ist eine auf Versuchsreihen basierende empirische Größe, die Aussagen über das thermische Behaglichkeitsempfinden im Untersuchungsgebiet ermöglicht. Da diese Größe eine Vielzahl von Einflussgrößen, wie die Luft- und Strahlungstemperatur, die Luftgeschwindigkeit, die Bekleidung sowie die Aktivität der Personen berücksichtigt, ist sie als ein summatives Behaglichkeitskriterium aufzufassen. PMV kann entsprechend der 7-stufigen Beurteilungsskala Werte von -3 (kalt) bis +3 (heiß) annehmen, wobei 0 als thermisch neutral, also uneingeschränkt behaglich einzustufen ist. (vgl. [37]).

Klimabeurteilungsskala	
+3	heiß
+2	warm
+1	etwas warm
0	neutral
-1	etwas kühl
-2	kühl
-3	kalt

Tabelle 11 Klimabeurteilungsskala (vgl. [32])

Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Das PMV sagt die durchschnittliche Komfortbeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Einzelne Urteile streuen jedoch um diesen Mittelwert und es ist nützlich, die Anzahl der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden. Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt [32]. Allgemein gilt, dass in kühleren Räumen die Luftgeschwindigkeit dominierenden Einfluss auf das PMV hat, während bei eher wärmeren Räumen die Luft- und Strahlungstemperatur die wesentlich beeinflussenden Faktoren sind.

Empfundene Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur

Für Gebäude ohne aktive Kühlung – wie hier untersucht –, die ausschließlich auf natürliche Kühlmaßnahmen setzen (z.B. verstärkter nächtlicher Fensterluftwechsel, verstärkter Fensterluftwechsel auch am Tag), erfolgt die quantitative Beurteilung des thermischen Komforts nach ÖNORM EN 15251 [34]. Wesentlich an dem in EN 15251 beschriebenen adaptiven Modell ist der Ansatz, dass das Empfinden von thermischem Komfort nicht nur von klimatischen Bedingungen des Innenraums, Aktivität und Kleidung abhängt, sondern auch von den klimatischen Bedingungen der Außenluft, genauer gesagt dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur.

In Untersuchungen [38] zeigte sich, dass eine Berechnung des PMV anhand eines konstanten Bekleidungsfaktors zu falsch negativen Werten hinsichtlich des thermischen Komforts führt – die Berechnung den Komfort schlechter darstellt als dieser tatsächlich empfunden wird. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Bekleidungsfaktor temperaturabhängig in der Berechnung berücksichtigt was der Realität besser entspricht. Die metabolische Rate wird mit 1 met, die Luftgeschwindigkeit mit 0,1 m/s angesetzt. Temperaturen und relative Luftfeuchte sind Ergebnis der Simulationsreihen.

Langzeitbewertung des thermischen Komforts

Um die Komfortbedingungen über einen längeren Zeitraum bewerten zu können, werden die in der dynamischen Gebäudesimulation berechneten Ergebnisse der Raumklimabedingungen zusammengefasst. Anhang H der ÖNorm EN ISO 7730 und Anhang F der ÖNorm EN 15251 beschreiben dazu jeweils fünf – sehr ähnliche – Verfahren (Tabelle 12).

Tabelle 12 Verfahren zur Langzeitbewertung des allgemeinen thermischen Komforts

Verfahren	ÖNorm EN ISO 7730 - Anhang H (informativ) [32]	ÖNorm EN 15251 - Anhang F (informativ) [34]
A	Die Anzahl bzw. der prozentuale Anteil der Stunden, von den Stunden, in denen das Gebäude benutzt wird, in denen das PMV oder die operative Temperatur außerhalb des festgelegten Bereiches liegt, ist zu berechnen.	Es ist eine Anzahl oder der Prozentsatz der Stunden während der Belegungs- bzw. Nutzungszeit des Gebäudes zu berechnen, in denen das PMV oder die operative Temperatur außerhalb des dafür festgelegten Bereichs liegt.
B	Die Zeit während der die tatsächliche operative Temperatur den festgelegten Bereich während der benutzten Stunden überschreitet, wird mit einem Faktor gewichtet, der davon abhängig ist, um wie viel Grad der Bereich überschritten wurde.	Die Zeit, während der die tatsächliche operative Temperatur in den Belegungs- bzw. Nutzungsstunden außerhalb des festgelegten Bereichs liegt, wird durch Multiplikation mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion der Gerade ist, mit denen die Bereichsgrenzen unter- oder überschritten werden.
C	Die Zeit, während der das tatsächliche PMV die Behaglichkeitsgrenzen überschreitet, wird mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion des PPD ist – ausgehend von einer PMV-Verteilung	Die Zeit, während der das tatsächliche PMV die Behaglichkeitsgrenzen überschreitet, wird durch Multiplikation mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion des PPD ist – ausgehend von einer PMV-

	auf Jahresbasis und der Beziehung zwischen PMV und PPD.	Verteilung auf jährlicher Basis und der Beziehung zwischen PMV und PPD, wobei verschiedene Gewichtungsfaktoren 1), 2), 3) zur Anwendung kommen.
D	Es wird der mittlere PPD über eine Zeitspanne während der benutzten Zeiten hinweg berechnet.	
E	Summierung des PPD über eine Zeitspanne während der benutzten Zeiten hinweg.	

Grenzwerte

Grenzwerte für die Beurteilung des thermischen Komforts in Wohngebäuden werden hinsichtlich Art der Lüftung und in Bezug auf die empfundene Temperatur (T_{op}) abhängig von der Jahreszeit definiert. Die Einteilung erfolgt anhand von Kategorien welche oft auch als Klassen bezeichnet werden (Tabelle 13).

Tabelle 13 Grenzwerte für thermische Behaglichkeit

Parameter	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie D
Empfundene Temperatur [32]	W: $21 \leq T_{op} \leq 23$ S: $23,5 \leq T_{op} \leq 25,5$ [°C]	W: $20 \leq T_{op} < 21$ W: $23 < T_{op} \leq 24$ S: $23 \leq T_{op} < 23,5$ S: $25,5 < T_{op} \leq 26$ [°C]	W: $19 \leq T_{op} < 20$ W: $24 < T_{op} \leq 25$ S: $22 \leq T_{op} < 23$ S: $26 < T_{op} \leq 27$ [°C]	W: $T_{op} < 19$ W: $T_{op} > 25$ S: $T_{op} < 22$ S: $T_{op} > 27$ [°C]
Relative Feuchte [34]	40 – 50 %	30 – 40 % 50 – 60 %	30 – 20 % 60 – 70 %	< 20 % > 70 %
PMV [32]	$-0,2 < PMV < +0,2$	$-0,5 < PMV \leq -0,2$ $+0,2 \leq PMV < +0,5$	$-0,7 < PMV \leq -0,5$ $+0,5 \leq PMV < +0,7$	$-0,7 < PMV$ $PMV > +0,7$
PPD [32]	PPD < 6 %	$6 \% \leq PPD < 10 \%$	$10 \% \leq PPD < 15 \%$	PPD > 15 %

2.2.3 Fragestellung

Die zentrale Fragestellung lautet, wie auch in Kapitel 1.1:

A) Welchen Einfluss hat Innendämmung auf die sommerliche Überwärmung und den thermischen Komfort?

Davon abgeleitet ergibt sich folgende Teilfrage:

A.3) Welche Planungsempfehlungen können hinsichtlich Innendämmung und thermischen Komfort im Jahresverlauf abgeleitet werden?

2.2.4 Ergebnisse

2.2.4.1 Einleitung

Um den Einfluss der Innendämmung auf den thermischen Komfort auch im Jahresverlauf zu beurteilen und Planungsempfehlungen daraus ableiten zu können ist eine detaillierte Analyse der Ergebnisse aus der thermischen Gebäudesimulation – in der realitätsnah abhängig von den Tagesgängen der Umgebungsbedingungen wie Außenlufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Lüftungsverhalten, inneren Wärmequellen, Raumgeometrie und Konstruktion wie auch Verschattungsmaßnahmen berücksichtigt werden – erforderlich. Diese Analyse ist sowohl für den ungedämmten Bestand, wie auch die Varianten mit Innendämmung erforderlich. Die Ergebnisse dieser Analyse werden nachfolgend auszugsweise dargestellt.

Ergebnisgrößen

Thermischer Komfort, definiert als das Wohlbefinden eines Menschen in einem gegebenen Raumklima, hängt mit dem menschlichen Wärmeempfinden und damit vom thermischen Gleichgewicht des Körpers ab. Dieses Gleichgewicht wird durch körperliche Tätigkeit, Bekleidung sowie durch Parameter des Umgebungsklimas wie Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte beeinflusst. Als Ergebnisgrößen der dynamischen Simulationsrechnung werden deshalb empfundene Temperatur und relative Luftfeuchte sowie die daraus abgeleiteten Größen PMV und PPD für die Beurteilung des thermischen Komforts gewählt.

Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand von Zeitverläufen, Punktwolken, tabellarischen Aufstellungen über Häufigkeit und Verteilung sowie Kategorisierung anhand von Klassen und Grenzwerten. Je nach Fragestellung bzw. Darstellungsverfahren bezieht sich die Analyse dabei auf einzelne Stunden, Tage, Monate oder das ganze Jahr.

2.2.4.2 Heizwärmebedarf und Heizlast

Die Steigerung der Energieeffizienz stellt neben der Steigerung des Komforts und der Vermeidung von Schäden durch mangelnden Wärmeschutz eine der Hauptmotivationen zur Applikation einer Innendämmung dar. Die Innendämmung führt zu einer Reduktion der Transmissionswärmeverluste und erhöht damit die thermische Qualität der Gebäudehülle. Für die Darstellung und Beurteilung der thermischen Gebäudequalität hat sich der Heizwärmebedarf als wesentliche Energiekennzahl etabliert. Aus diesem Grund wird für die in Abbildung 26 festgelegten Dämmstandards der Heizwärmebedarf ermittelt. Nach ÖNorm B 8110-6 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärme und Kühlbedarf* [39] ist der Heizwärmebedarf die rechnerisch ermittelte Wärmemenge (Nutzenergie), die zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur benötigt wird. Zur Berechnung der Wärmeverluste wird dabei eine minimale Soll-Innentemperatur von 20 °C festgelegt. Der Heizwärmebedarf kann als Ergebnis einer Energieausweisberechnung ausgegeben werden oder wie hier als Ergebnis der thermischen Gebäudesimulation. Neben dem Heizwärmebedarf ist für die Auslegung der Heizungsanlage insbesondere die Heizlast relevant. Die Heizlast beschreibt die erforderliche Wärmezufuhr, die benötigt wird um sicherzustellen, dass die erforderliche Innentemperatur erreicht wird. (vgl. ÖNorm EN 12831 *Heizungsanlagen in Gebäuden Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast* [40]).

Tabelle 14 Heizwärmebedarf und Heizlast nach energetischem Standard für die süd-west-orientierte Wohnung (SW) im Modellgebäude Mehrfamilienwohnhaus

Varianten für süd-west-orientierte Wohnung (SW) im Mehrfamilienwohnhaus		Heizwärmebedarf	Heizlast
Nr.	Bezeichnung	kWh/m ² a	Watt
V1	Bestand	91,0	5302
V2	Sanierung Minimal	65,5	3816
V3	Sanierung OIB	30,0	1747
V4	Sanierung Maximal	25,7	1500
V5	Enerphit	16,9	983

Mit zunehmendem energetischen Standard (Abbildung 26) wird der Heizwärmebedarf, aber auch die Heizlast (Tabelle 14) der nach süd-west orientierten Wohnung gegenüber dem ungedämmten Bestand bei Sanierung Minimal „V2“ um 28 %, bei Sanierung OIB „V3“ um 67 %, bei Sanierung Maximal „V4“ um 72 % und bei Sanierung EnerPhit um 82 % reduziert.

Conclusio

Mit zunehmendem energetischem Standard werden Heizwärmebedarf und Heizlast deutlich reduziert. Innendämmung trägt damit maßgeblich zur Reduktion von Heizenergie und damit verbundenen Emissionen bei. Methoden und Beispiele zur Berechnung ökonomischer und ökologischer Auswirkungen von Innendämmung nennt [41].

2.2.4.3 Empfundene Temperatur, PMV und PPD im zeitlichen Verlauf

Zur Untersuchung des Einflusses von Innendämmung auf den thermischen Komfort wird das thermische Verhalten der Modellräume betrachtet. Dabei werden die zeitlichen Verläufe der sanierten Varianten („V2“ bis „V5“) jenen des ungedämmten Bestands „V1“ gegenübergestellt. Die Bewertung des thermischen Komforts für dynamische Simulationsrechnungen kann – neben weiteren Methoden zur Langzeitbewertung des thermischen Komforts – über die zeitlichen Verläufe von empfundener Temperatur, vorausgesagtem mittlerem Votum (PMV) und Vorausgesagtem Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) erfolgen.

Für den ungedämmten Bestand „V1“ und Sanierung Enerphit „V5“ sind die zeitlichen Verläufe dieser Größen, welche anhand der Simulationsergebnisse nach EN ISO 7730 Anhang D ermittelt werden, in Stundenwerten dargestellt.

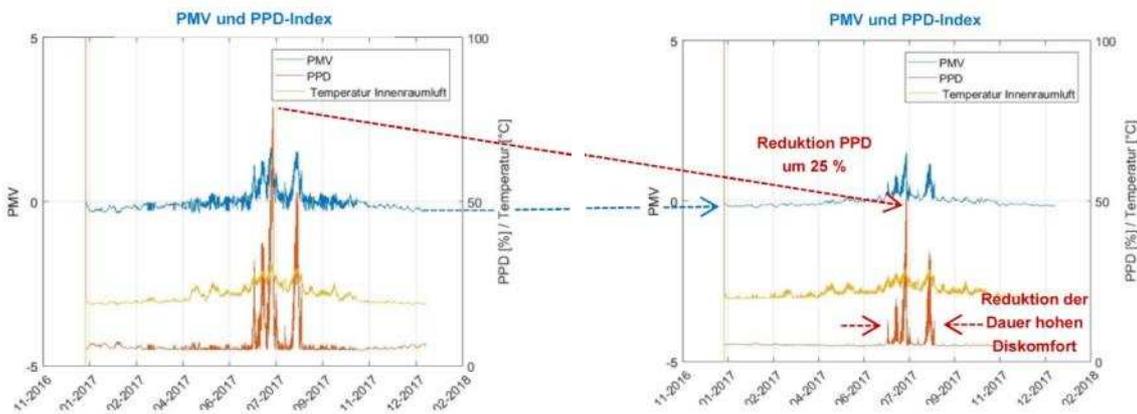


Abbildung 27 Jahresverlauf von PMV- und PPD-Index und Raumlufthtemperatur, Variante 1 - Bestand, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Abbildung 28 Jahresverlauf von PMV- und PPD-Index und Raumlufthtemperatur, Variante 5 - EnerPhit, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Anhand der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Anzahl Unzufriedener bzw. der thermische Diskomfort bei hohem energetischem Standard (Abbildung 28) gegenüber dem ungedämmten Bestand (Abbildung 27) deutlich geringer ausfällt. Dies trifft insbesondere im Sommer zu, wo die Spitzenwerte der Kurve wie auch die Fläche unter der Kurve – welche u.a. die Dauer des Diskomforts repräsentiert – deutlich geringer ausfallen. Aber auch im Winter, Frühling und Herbst zeigen sich gegenüber dem ungedämmten Bestand deutlich glattere Kurvenverläufe von PMV- und PPD-Index und damit eine Verbesserung des thermischen Komforts.

Nach dem Überblick über das Jahr anhand von Abbildung 28 und der groben Einschätzung des thermischen Komforts werden die zeitlichen Verläufe für empfundene Temperatur, relative Feuchte der Raumlufthtemperatur und Anteil Unzufriedener (PPD) detailliert untersucht, kritische Zeiträume identifiziert, und für die Modellräume „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) analysiert. Dabei werden die Ergebnisse der Varianten Bestand „V1“, Sanierung Minimal „V2“, Sanierung OIB „V3“ und Sanierung Enerphit „V5“ direkt miteinander verglichen (Abbildung 29 bis Abbildung 38).

Die Betrachtung erfolgt in einem ersten Schritt für Modellraum „SW02“ (1 Fenster). Abbildung 29 gibt nochmals einen Überblick über den Jahresverlauf für Sanierung Enerphit „V5“ wobei das Hauptaugenmerk auf den Zeitraum (5) von Mitte Juni bis Ende August gelegt wird. Es werden zwei Hitzeperioden (1, 2) identifiziert, in denen die empfundene Raumtemperatur die Grenztemperatur von 27 °C überschreitet und jeweils zu einem hohen Anteil Unzufriedener (hoher PPD) (3, 4) führt. Für die Entscheidung, welcher der beiden kritischen Zeiträume näher betrachtet werden soll, wird der relevante Zeitbereich vom 17.6 bis 5.9 analysiert (Abbildung 30). Bei ähnlichem Temperaturniveau ($\Delta 1$) zeigt sich in der Hitzeperiode Mitte August (7) eine deutlich niedrigere relative Feuchte der Raumluft ($\Delta 2$). Da eine hohe relative Feuchte der Raumluft, insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur, als unangenehm empfunden wird, wird für die weitere Betrachtung die Hitzeperiode im Juli (6) herangezogen und der Zeitbereich vom 12.7 bis 24.7 (8) näher untersucht.

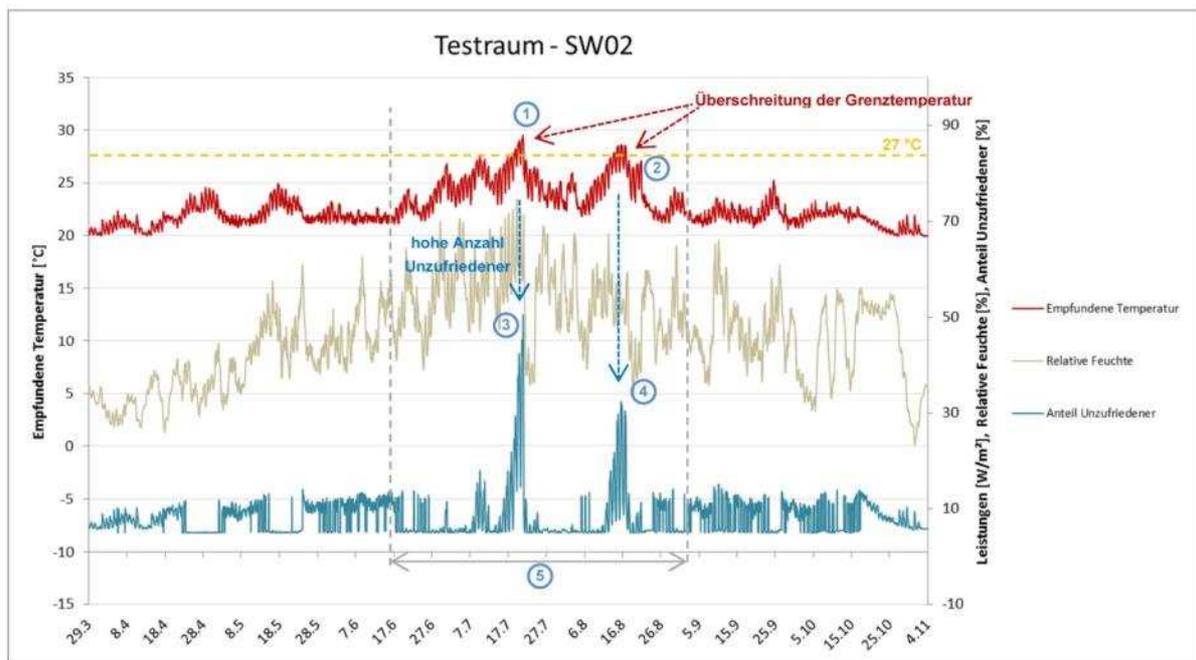


Abbildung 29 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD) im Jahresverlauf, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.

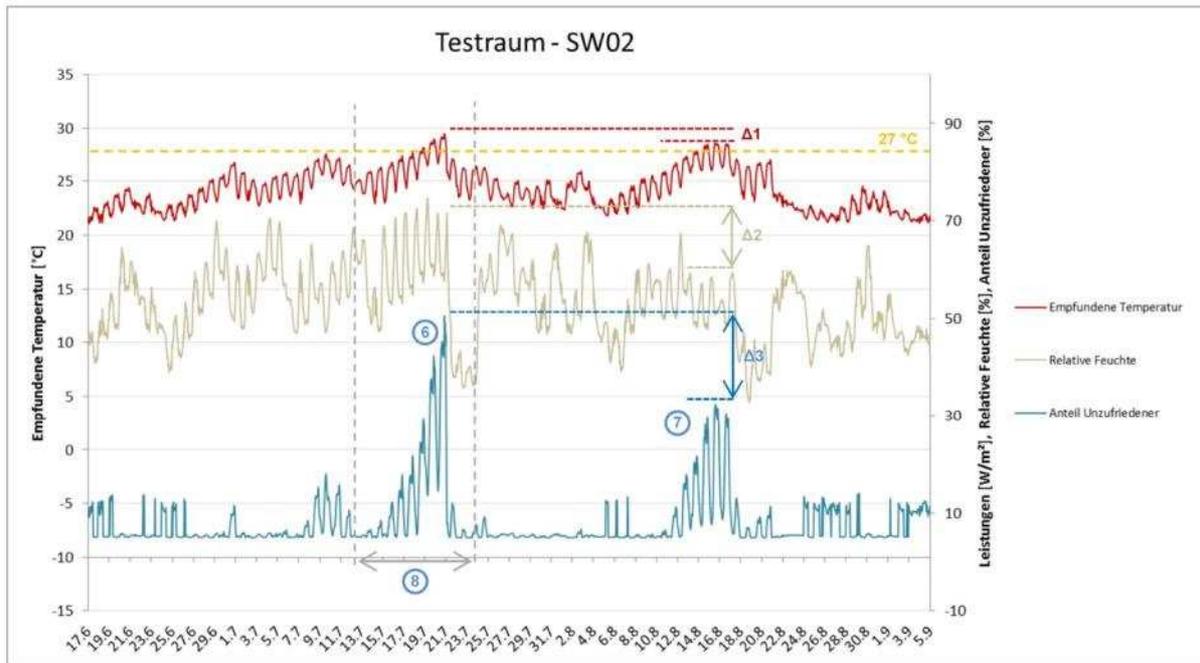


Abbildung 30 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD), Zeitraum 17.6 bis 5.9, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.

Anhand von Abbildung 31 wird eine Abschätzung der Zunahme Unzufriedener mit zunehmender empfundener Temperatur für den für sommerliche Überwärmung relevanten Temperaturbereich von 25 °C bis 30 °C vorgenommen. Während bei 25 °C der Anteil Unzufriedener beim Basisniveau von 5 % liegt, steigt dieser bei Erreichen der Grenztemperatur von 27 °C bereits auf 20 % Unzufriedene. Eine Steigerung um weitere 3 °C auf 30 °C führt zu einem Anstieg auf 50 %. Daraus lässt sich vereinfacht eine lineare Zunahme von 10 % an Unzufriedenen pro Grad Celsius ableiten. Für die vergleichende Analyse der Sanierungsvarianten bietet sich folgende Angabe an, die für den Temperaturbereich oberhalb von 25 °C gilt:

„+ 1 % Unzufriedene je zusätzlichem zehntel Grad Celsius“.

Positiv ausgedrückt:

„+ 1 % Zufriedene je reduziertem zehntel Grad Celsius“.

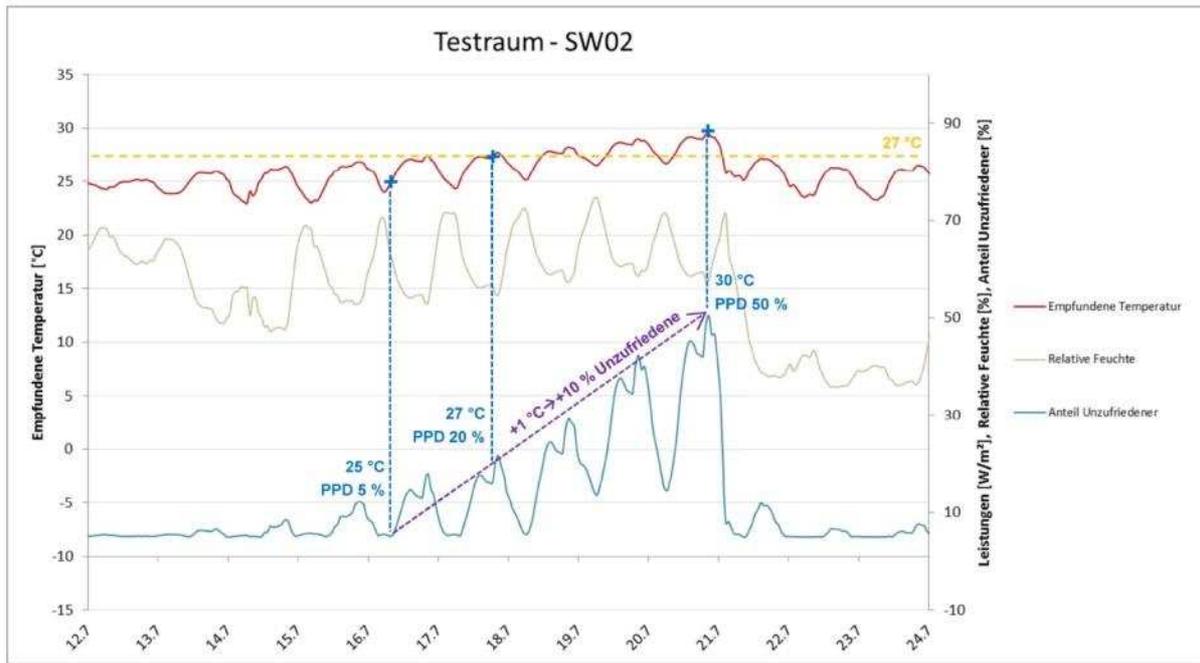


Abbildung 31 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD), Zeitraum 12.7 bis 24.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.

Die kontinuierliche Aufheizung des Modellraums „SW02“ (1 Fenster) in der Hitzeperiode für den Bestand „V1“ und die Sanierungsvarianten Minimal „V2“, OIB „V3“, und Enerphit „V5“ zeigt Abbildung 32. Für die detaillierte Analyse werden 2 Tage davon herausgegriffen. Als erster Tag wird Montag der 16.7. (9) gewählt, da an diesem Tag zum ersten Mal alle Varianten die Grenztemperatur von 27 °C überschreiten. Drei Tage später, am Donnerstag den 19.7. (10), sind die Temperaturen bereits so stark angestiegen, dass die Grenztemperatur von 27 °C auch bei Nacht nur noch geringfügig unterschritten wird. Gleichzeitig stellt der Donnerstag dabei den vorletzten Tag der Hitzeperiode dar und eignet sich damit besonders gut zur Beurteilung hinsichtlich Hitze, da noch keine Effekte der Abkühlung einfließen, wie das beim letzten Tag der Hitzeperiode bereits der Fall sein könnte. Eine Analyse des letzten Tages der Hitzeperiode (Freitag der 20.7.) erfolgt im Zuge der Untersuchung des Einflusses hoher Luftfeuchte auf den thermischen Komfort in Kapitel 1.2.3.6 „Relative Feuchte über empfundener Temperatur“.

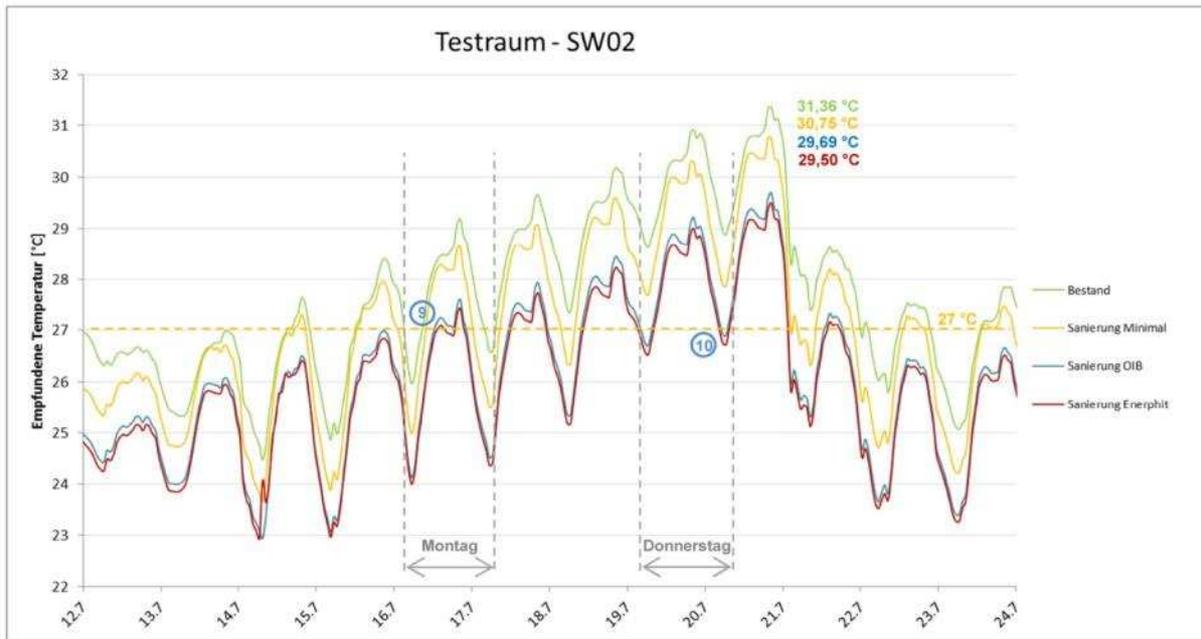


Abbildung 32 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur, Zeitraum 12.7 bis 24.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Zwischen Bestand „V1“ und Sanierung Minimal „V2“ beträgt der Temperaturunterschied am Montag im Minimum um 5 Uhr Früh (13) 0,98 °C (Abbildung 33). Demgegenüber beträgt der Unterschied im Maximum um 20 Uhr (14) mit 0,54 °C nur halb so viel. Der Temperaturunterschied zwischen den Varianten im Bereich der Minima und Maxima der empfundenen Temperatur nimmt mit zunehmendem Dämmstandard ab (Verhältnis V1:V2 = 2, V1:V3 = 1,33, V1:V5 = 1,29). Die Tagesmaxima der empfundenen Temperatur (11) am Montag den 16.7 betragen 29,18 °C für den ungedämmten Bestand „V1“, 28,64 °C für Sanierung Minimal „V2“, 27,61 °C für Sanierung OIB V3 und 27,77 °C für Sanierung Enerphit „V5“. Wird die Reduktion der Temperaturmaxima bezogen auf den ungedämmten Bestand als Zunahme von Zufriedenen ausgedrückt so ergibt das eine Steigerung von 5 % für Sanierung Minimal „V2“, 15 % für Sanierung OIB „V3“ und 17 % für Sanierung Enerphit „V5“ (15). Im Temperaturminimum (16) beträgt die Zunahme Zufriedener 10 % für „V2“, 20 % für „V3“ und 22 % für „V5“. Damit zeigt Abbildung 33 für den Bereich knapp über der Grenztemperatur von 27 °C eine signifikante Steigerung des thermischen Komforts durch Innendämmung.

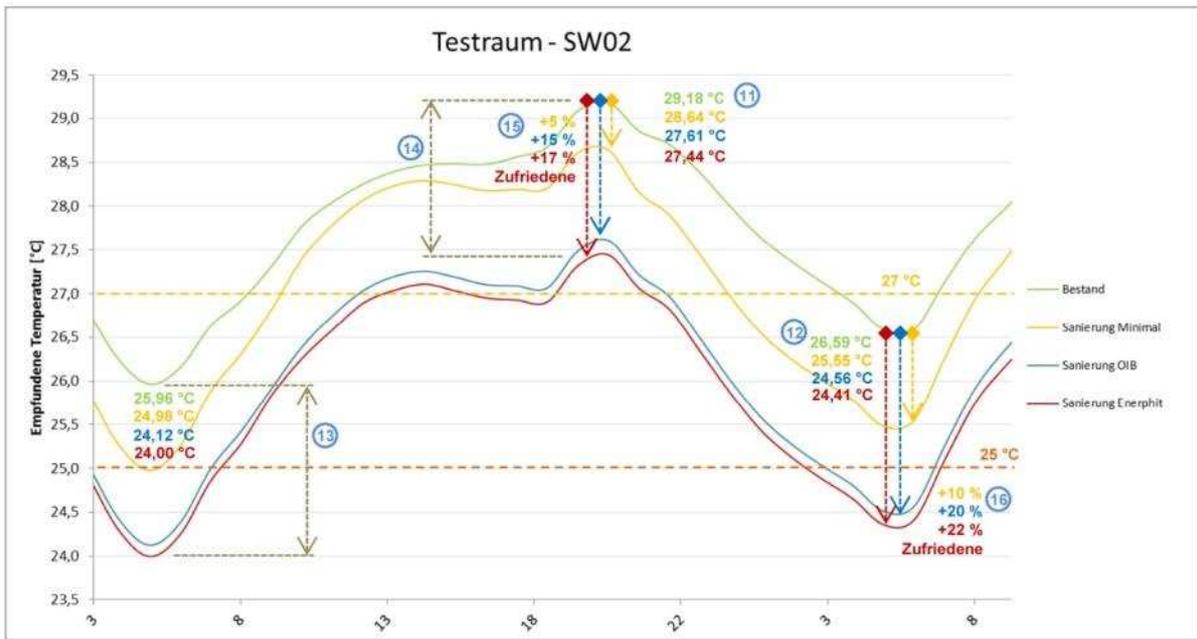


Abbildung 33 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Montag 16.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Bei hohem Temperaturniveau am Donnerstag (Abbildung 34) fällt die Reduktion der maximal empfundenen Temperatur noch etwas höher aus als am Montag. Die Temperaturmaxima liegen bei 30,92 °C für „V1“, 30,30 °C für „V2“, 29,21 °C für „V3“ und 29,01 °C für „V5“. Damit beträgt die Zunahme Zufriedener im Temperaturmaximum (21) 6 %, 17 % und 19 %. Im Minimum ist die Zunahme (22) mit 10 %, 20 % und 22 % mit Montag ident.

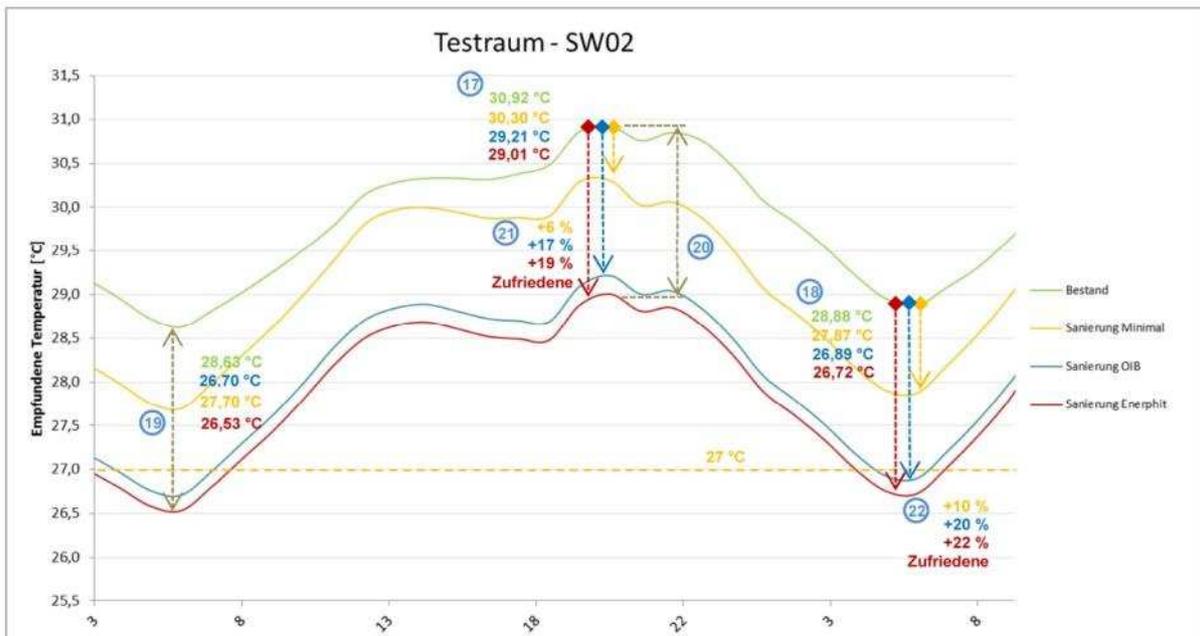


Abbildung 34 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Donnerstag 19.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Gegenüber Modellraum „SW02“ (1 Fenster) liegen die Spitzentemperaturen bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) etwa 1 °C tiefer (Abbildung 35). Für die Analyse werden wieder Montag (23) und Donnerstag (24) gewählt.

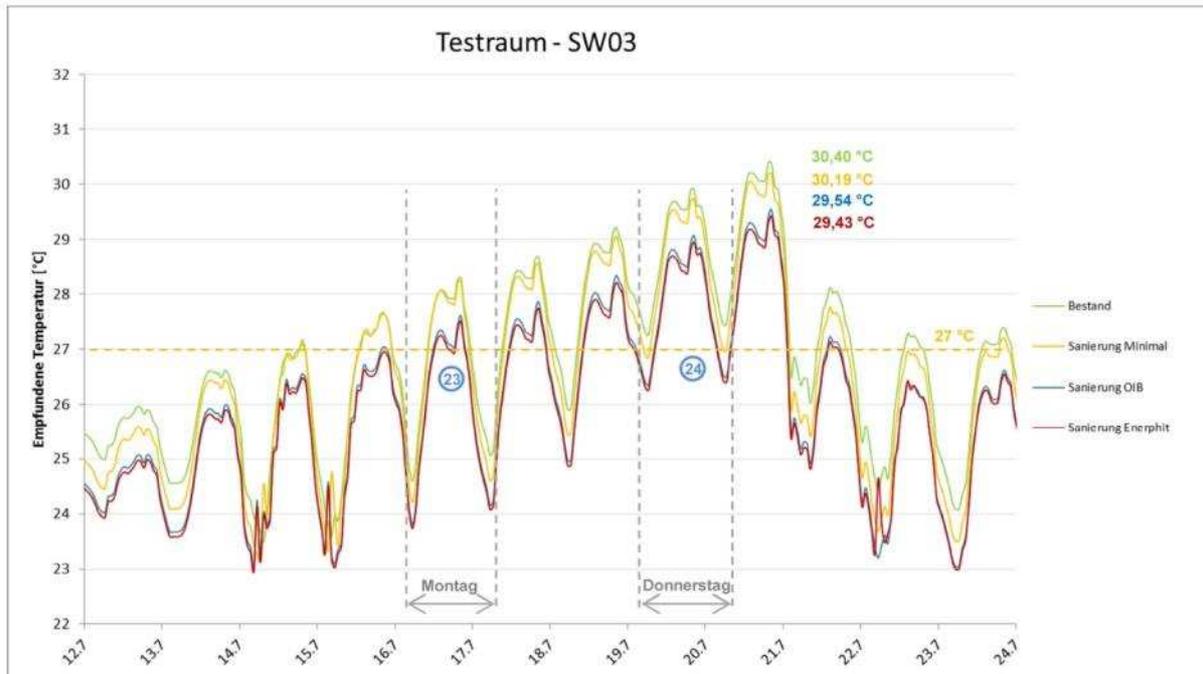


Abbildung 35 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur, Zeitraum 12.7 bis 24.7, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Die Temperaturmaxima (25) liegen am Montag bei 28,29 °C für „V1“, 28,23 °C für „V2“, 27,60 °C für „V3“ und 27,50 °C für „V5“ Abbildung 36. Im Tiefpunkt (26) betragen Sie 25,06 °C, 24,60 °C, 24,16 °C und 24,08 °C. Der Temperaturunterschied zwischen Bestand „V1“ und Sanierung Enerphit „V5“ fällt mit 0,79 °C (27) und 0,98 °C (28) deutlich geringer aus als bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) mit 2,18 °C (13) und 1,74 °C (14).

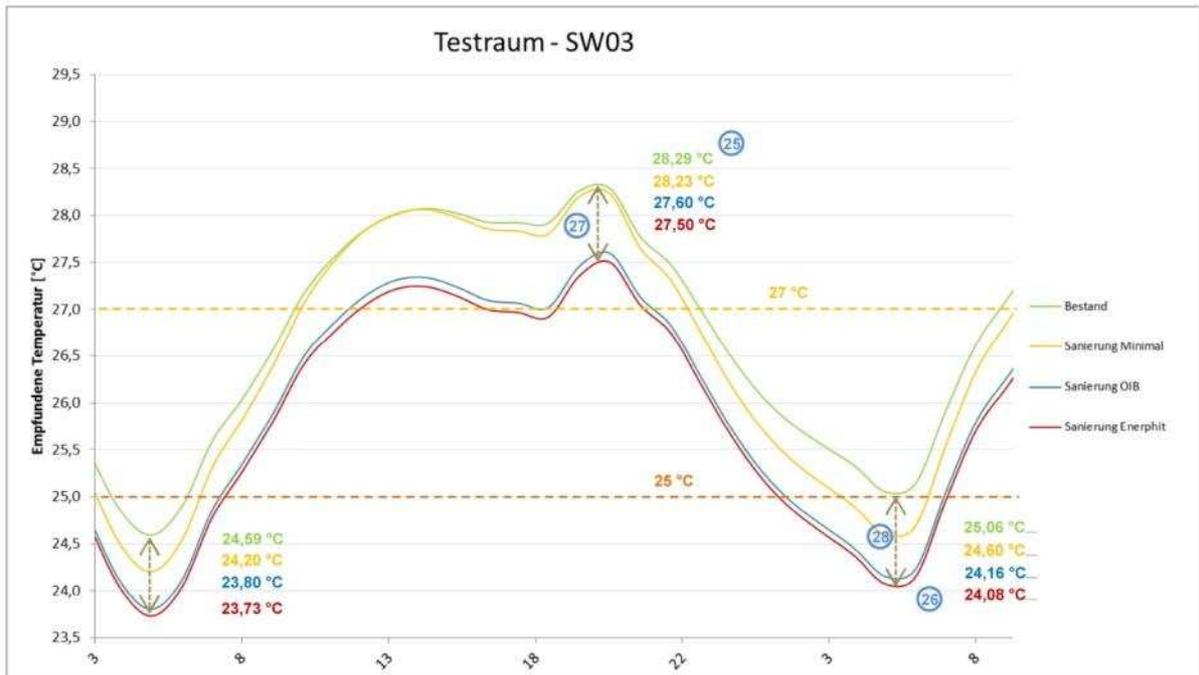


Abbildung 36 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Montag 16.7, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Wird die Zunahme an Zufriedenen auf die Dämmstoffdicke bezogen (31), so ergibt sich für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) (Abbildung 37) 1 % Zufriedene pro cm Dämmstoffdicke. Für den Modellraum „SW02“ (1 Fenster) ergibt sich eine Zunahme von 1,5 % bis 3 % Zufriedener pro cm Dämmstoffdicke (für die ersten 12 cm). Im Mittel über die beiden Modellräume und die untersuchten Varianten liegt die Zunahme an Zufriedenen pro cm Dämmstoffdicke bei 1,4 %.

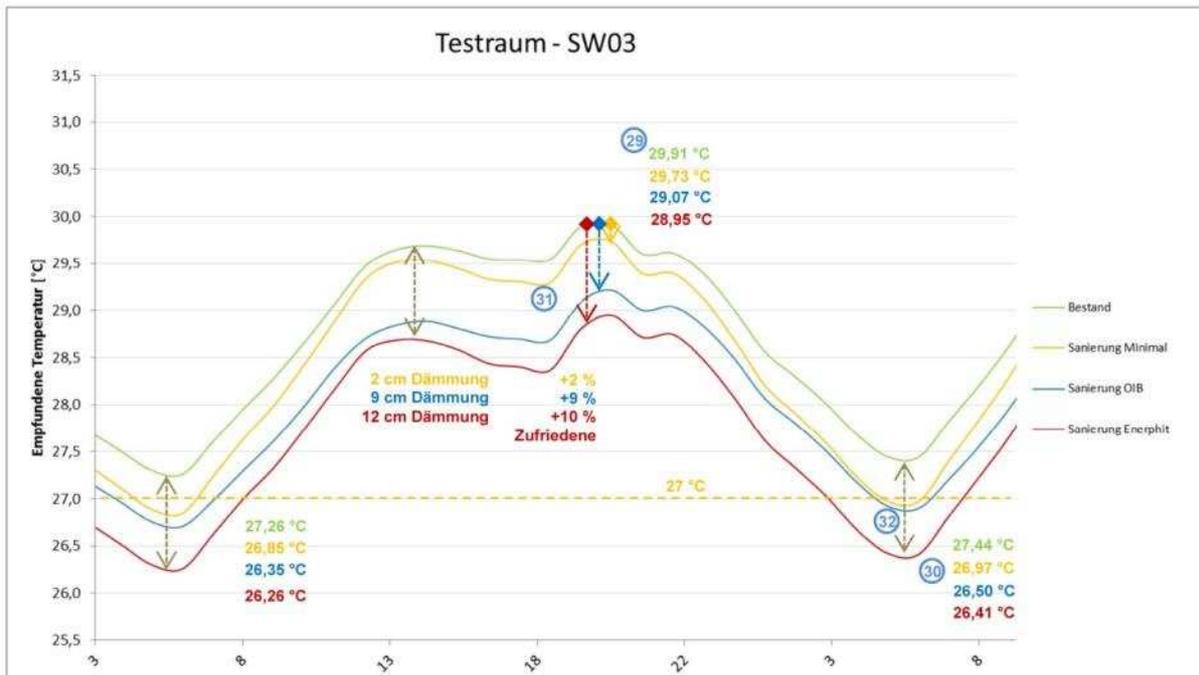


Abbildung 37 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Donnerstag 19.7, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Mit zunehmendem energetischem Standard nimmt der Einfluss der Raumgeometrie ab wie die vergleichende Darstellung anhand der kleiner werdenden ΔT (33) in Abbildung 38 zeigt. Das bedeutet weiter, dass durch Innendämmung der Komfort besonders kritischer kleiner Räume (SW02) im Sommer auf das Niveau größerer Räume (SW03) angehoben wird. Neben den Temperaturmaxima kann auch die Dauer kritischer Temperaturzustände für eine Bewertung herangezogen werden. So beträgt die Dauer der Überschreitung der Grenztemperatur von 27 °C für den Bestand „V1“ und Sanierung Minimal „V2“ (bei „SW02“) am Donnerstag den 19.7 noch 24 von 24 Stunden, nimmt aber mit zunehmendem energetischem Standard auf 16 von 24 Stunden ab (34). Für die Auswertung der Dauer kritischer Zustände ist die Darstellung im Zeitverlauf allerdings aufwändig und nur bedingt geeignet. Für die weitere Auswertung bietet sich deshalb die Analyse von Verteilung und Häufigkeit an.

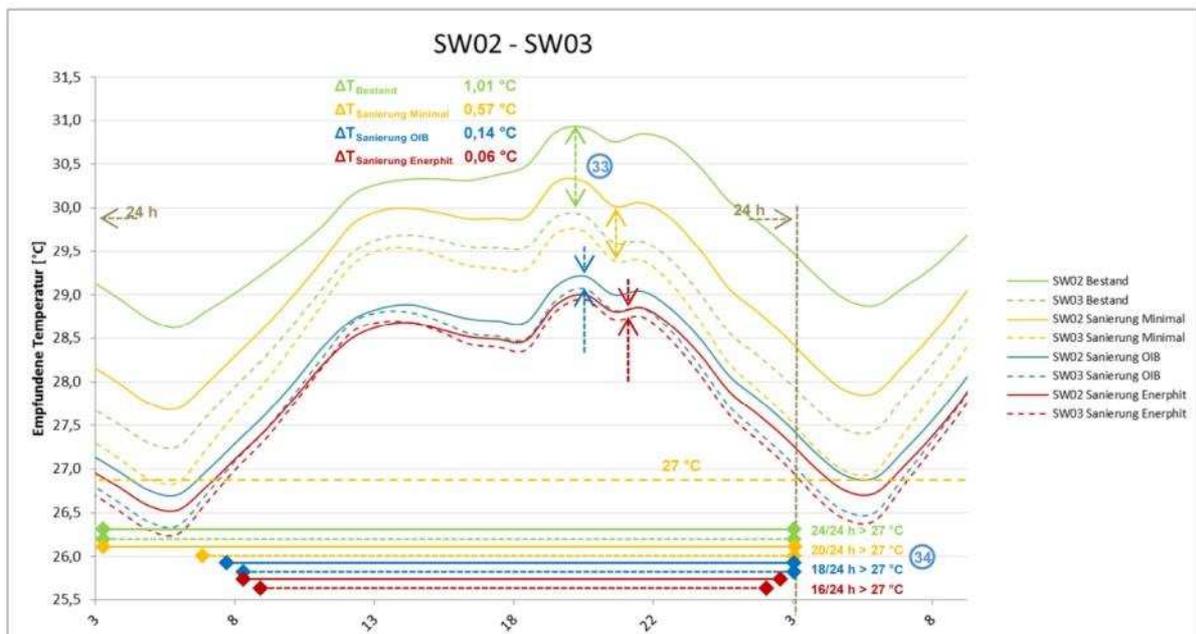


Abbildung 38 Einfluss Raumeigenschaften auf empfundene Temperatur am Donnerstag 19.7

Conclusio

1. Die Anzahl Unzufriedener bzw. der thermische Diskomfort im Sommer nimmt mit steigendem energetischem Standard deutlich ab.
2. In Winter, Frühling und Herbst zeigen sich gegenüber dem ungedämmten Bestand glattere Kurvenverläufe von PMV- und PPD-Index und damit eine Verbesserung des thermischen Komforts.
3. Anhand des Überblicks über das Jahr ist eine erste grobe Einschätzung des thermischen Komforts möglich.

4. Es liegen zwei Hitzeperioden vor, in denen die empfundene Raumtemperatur die Grenztemperatur von 27 °C überschreitet und jeweils zu einem hohen Anteil Unzufriedener (hoher PPD) führt.
5. Bei ähnlichem Temperaturniveau zweier Hitzeperioden stellt diejenige mit höherer relativer Feuchte der Raumluft ein höheres Risiko für Diskomfort dar.
6. Bei 25 °C liegt der Anteil Unzufriedener beim Basisniveau von 5 %. Bei der Grenztemperatur von 27 °C liegt der Anteil Unzufriedener bei 20 %. Bei 30 °C liegt der Anteil Unzufriedener bei 50 %.
7. Es lässt sich vereinfacht eine lineare Zunahme von 10 % an Unzufriedenen pro Grad Celsius ableiten. Für die vergleichende Analyse der Sanierungsvarianten bietet sich folgende Angabe an: „+ 1 % Unzufriedene je zusätzlichem zehntel Grad Celsius“. Anders ausgedrückt auch: „+ 1 % Zufriedene je reduziertem zehntel Grad Celsius“. Beides gilt nur für den Temperaturbereich oberhalb von 25 °C.
8. Der Temperaturunterschied zwischen den Varianten im Bereich der Minima und Maxima der empfundenen Temperatur nimmt mit zunehmendem Dämmstandard ab (Verhältnis V1:V2 = 2, V1:V3 = 1,33, V1:V5 = 1,29).
9. Wird die Reduktion der Temperaturmaxima bezogen auf den ungedämmten Bestand als Zunahme von Zufriedenen ausgedrückt so ergibt das eine Steigerung von 5 % für Sanierung Minimal „V2“, 15 % für Sanierung OIB „V3“ und 17 % für Sanierung Enerphit „V5“. Im Temperaturminimum beträgt die Zunahme Zufriedener 10 % für „V2“, 20 % für „V3“ und 22 % für „V5“.
10. Bei hohem Temperaturniveau (30 °C) fällt die Reduktion der maximal empfundenen Temperatur durch thermische Sanierung höher aus als bei gemäßigttem Temperaturniveau (25 °C).
11. Die Zunahme Zufriedener im Temperaturmaximum durch Steigerung des energetischen Standard im Modellraum „SW03“ beträgt 6 % für Sanierung Minimal „V2“, 17 % für Sanierung OIB „V3“ und 19 % für Sanierung Enerphit „V5“. Im Temperaturminimum beträgt die Zunahme Zufriedener 10 %, 20 % und 22 %.
12. Gegenüber Modellraum „SW02“ (1 Fenster) liegen die Spitzentemperaturen bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) etwa 1 °C tiefer.
13. Der Temperaturunterschied zwischen den Bestand „V1“ und Sanierung Enerphit „V5“ fällt bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) deutlich geringer aus als bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster).

14. Für den Modellraum „SW03“ (2 Fenster) ergibt sich eine Zunahme von 1 % Zufriedene pro cm Dämmstoffdicke.
15. Für den Modellraum „SW02“ (1 Fenster) ergibt sich eine Zunahme von 1,5 % bis 3 % Zufriedener pro cm Dämmstoffdicke.
16. Im Mittel über beide Modellräume „SW02“ und „SW03“ und alle untersuchten Varianten liegt die Zunahme an Zufriedenen pro cm Dämmstoffdicke bei 1,4 %.
17. Die Zunahme an Zufriedenen nimmt mit zunehmender Dämmstoffdicke ab.
18. Mit zunehmendem energetischem Standard nimmt der Einfluss der Raumgeometrie auf den thermischen Komfort ab.
19. Durch Innendämmung wird der Komfort besonders kritischer kleiner Räume (SW02) auf das Komfortniveau größerer Räume angehoben.
20. Neben der Reduktion der Temperaturmaxima wird mit zunehmendem energetischem Standard auch die Dauer kritischer Temperaturzustände reduziert.
21. Für die Auswertung der Dauer kritischer Zustände ist die Darstellung im Zeitverlauf aufwändig und nur bedingt geeignet, weil es schwierig ist Zeitpunkte exakt aus dem Diagramm abzulesen.

2.2.4.4 Verteilung und Kategorisierung

Für die Beurteilung der Komfortbedingungen über einen längeren Zeitraum werden die in der dynamischen Gebäudesimulation berechneten Ergebnisse der Raumklimabedingungen zusammengefasst. Wie in Tabelle 12 gezeigt beschreiben Anhang H der ÖNorm EN ISO 7730 und Anhang F der ÖNorm EN 15251 dazu jeweils fünf – sehr ähnliche – Verfahren. Nachfolgend kommt – da für eine detaillierte Analyse am besten geeignet – Verfahren A zur Anwendung in dem die Anzahl bzw. der prozentuale Anteil der Stunden in denen die empfundene Temperatur, die relative Feuchte der Raumluft, PMV oder PPD in festgelegten Bereichen liegen berechnet wird. Die Einteilung erfolgt anhand von Kategorien – auch als Klassen bezeichnet – wobei die Grenzwerte für die Beurteilung des thermischen Komforts in Wohngebäuden hinsichtlich Art der Lüftung und in Bezug auf die empfundene Temperatur (T_{op}) abhängig von der Jahreszeit definiert werden (Tabelle 13).

Nachfolgend werden für den Bestand „V1“ die Verteilung von empfundener Temperatur, relativer Feuchte der Raumluft, PMV und PPD für die süd-west orientierte Modellwohnung dargestellt. Analog dazu erfolgt eine detaillierte Analyse inklusive Kategorisierung für Modellraum „SW02“ (1 Fenster) mit den Sanierungsvarianten „V1“ bis „V5“ gefolgt von einem Vergleich mit der Verteilung der empfundenen Temperatur und PPD in Modellraum „SW03“ (2 Fenster).

Bestand

Empfundene Temperatur

Die empfundene Raumtemperatur sinkt nicht unter 19 °C (1). Modellraum „SW02“ (1 Fenster) ist mit 2637 h bei 19 °C (2) deutlich kühler als Modellraum „SW03“ (2 Fenster) bei dem die Anzahl der Stunden bei 19 °C lediglich bei 43 (3) liegt. Auch im Sommer (4) zeigt die Verteilung der empfundenen Temperatur mit 399 h über 27 °C (5) bei Modellraum „SW02“ einen höheren Diskomfort. Bei Modellraum „SW03“ liegt die Anzahl der Stunden über 27 °C mit 210 (6) etwa bei der Hälfte. Im Bereich zwischen 22 °C und 25 °C (7) zeigt sich eine ähnliche Temperaturverteilung für Modellraum „SW02“ und „SW03“.

Tabelle 15 Verteilung der empfundenen Temperatur, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung

Empfundene Temperatur				
Bestand				
		Empfundene Temperatur		
	Außenluft- temperatur [°C]	Modellraum SW01	Modellraum SW02	Modellraum SW03
Min.	-18,2	18,9	18,8	19,5
Max.	34,3	31,3	31,4	30,4
T [°C]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
<16	6131	0	0	0
16	313	0	0	0
17	295	0	0	0
18	289	0 (1)	0 (1)	0 (1)
19	292	2493	2637 (2)	43 (3)
20	227	2395	1908	4030
21	241	304	607	1132
22	175	696	1227	1338
23	185	825	703	762
24	138	340	422	467
25	95	424	336	314
26	99	178	269	242
27	88	229	252	222
28	61	307	212	133
29	41	387	113	55
>30	90	182	74	22
Stunden über 25 °C		1283	920	674
Stunden über 26 °C		1105	651	432
Stunden über 27 °C		876	399 (5)	210 (6)

Relative Feuchte der Raumluf

Tabelle 16 zeigt dass die relative Feuchte der Raumluf oft unter 30 % (8) liegt, was Kategorie C und D entspricht. Modellraum „SW03“ (2 Fenster) schneidet mit 1965 h (9) – 187 h (10) davon in Kategorie D (< 20 %) – gegenüber Modellraum „SW02“ mit 1833 h (11) – 173 h (12) davon in Kategorie D – hinsichtlich der relativen Feuchte der Raumluf etwas schlechter ab. Gleiches betrifft die Anzahl der Stunden über 60 % die bei Modellraum „SW03“ mit 310 h (13) – 6 h (14) davon in Kategorie D (> 70 %) – höher ausfällt als bei Modellraum „SW02“ mit 172 h in Kategorie C. Insgesamt fallen 79 % der Stunden (15) bei Modellraum „SW02“ in Kategorie A und B. Bei Modellraum „SW03“ sind es 78 % (16).

Tabelle 16 Verteilung relative Feuchte der Raumluf, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung

Relative Feuchte der Raumluf			
Bestand			
	relative Feuchte der Raumluf		
	Modellraum SW01	Modellraum SW02	Modellraum SW03
Min.	16,0	16,0	15,4
Max.	59,5	67,6	73,4
rel.F [%]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
< 20	171	173 (12)	187 (10)
20 - 25	585	549	598
25 - 30	1081	1111	1180
30 - 35	1612	1582	1569
35 - 40	1265	1369	1338
40 - 45	1383	1178	1032
45 - 50	1660	1129	1012
50 - 55	747	957	939
55 - 60	256	540	595
60 - 65	0	166	207
65 - 70	0	6	97
70 - 75	0	0	6 (14)
75 - 80	0	0	0
80 - 85	0	0	0
85 - 90	0	0	0
>90	0	0	0
Anzahl Stunden unter 30 %	1837	1833 (11)	1965 (9)
Anzahl Stunden über 60 %	0	172	310 (13)
Stunden zwischen 30 und 60 %	79%	79% (15)	78% (16)



Thermischer Komfort - PMV

Für den ungedämmten Bestand unerwartet fallen bei der Kategorisierung keine Stunden in die Bewertung $B < -0,2$ oder schlechter (17), obgleich die Winter-Temperaturen zwischen $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ und 20 ° bei der Bewertung der Temperatur Kategorie C zugeordnet werden. Während sich die Verteilung in Kategorie A und B bei den Modellräumen „SW02“ und „SW03“ ähnelt (18), zeigt sich bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) eine stärkere Ausprägung in Kategorie D hinsichtlich Überwärmung (19). Für die Analyse bzw. Optimierung des sommerlichen Temperaturverhaltens hat es sich als zielführend erwiesen in der Kategorie D eine weitere Unterteilung in D1 (20), D2 (21) und D3 (22) vorzunehmen.

Tabelle 17 Verteilung Thermischer Komfort, dargestellt als PMV, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung

Thermischer Komfort			
Bestand			
	PMV		
	Modellraum SW01	Modellraum SW02	Modellraum SW03
Min.	-0,1	-0,1	-0,1
Max.	2,0	2,1	1,8
	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
Kategorie D3 < -2	0	0	0
Kategorie D2 < -1	0	0	0
Kategorie D1 < -0,7	0	0	0
Kategorie C < -0,5	0	0	0
Kategorie B < -0,2 (17)	0	0	0
Kategorie A < 0,2 ; > -0,2	6226	5950	5446
Kategorie B > 0,2	1214	1502	2022
Kategorie C > 0,5	394	886	1044
Kategorie D1 > 0,7 (20)	301	186 (18)	138
Kategorie D2 > 1 (21)	624	232 (18)	110
Kategorie D3 > 2 (22)	1	4 (18)	0

Thermischer Komfort - PPD

Das Minimum bzw. Basisniveau an Unzufriedenen liegt stets bei 5 % (23). Modellraum „SW02“ (1 Fenster) zeigt mit einem PPD von 79,4 % (24) den Höchstwert an Unzufriedenen. Dahingegen liegt das Maximum an Unzufriedenen bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) mit 65,2 % (25) um 14,2 % deutlich tiefer. Würde man die Beurteilung des thermischen Komforts im Vergleich der beiden Modellräume „SW02“ und „SW03“ allein auf die Überwärmung, stützen so wäre gegenüber Modellraum „SW02“ mit seiner hohen Anzahl von 435 h in Kategorie D (26) Modellraum „SW03“ mit lediglich 257 h (27) der Vorzug zu geben. Die Betrachtung über das Jahr zeigt aber, dass diese Beurteilung nicht ohne Weiteres getroffen werden kann, da trotz hohen Diskomfort, auf Grund von Überwärmung, bei Modellraum „SW02“ mit 6095 h der Anteil in Kategorie A (28) deutlich höher ausfällt als bei Modellraum „SW03“ mit 5646 h (29).

Tabelle 18 Verteilung Thermischer Komfort, dargestellt als PPD, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung

Thermischer Komfort			
Bestand			
	PPD		
	Modellraum SW01	Modellraum SW02	Modellraum SW03
Min.	5,0 (23)	5,0 (23)	5,0 (23)
Max.	78,6	79,4 (24)	65,2 (25)
	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
Kategorie A < 6	6381	6095 (28)	5646 (29)
Kategorie B 6 - 10	1007	1288	1714
Kategorie C 10 - 15	432	940	1141
Kategorie D > 15	938	435 (26)	257 (27)

Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Empfundene Temperatur

Tabelle 19 zeigt die Zunahme des Temperaturniveaus im Winter mit zunehmendem energetischem Standard (30→31→32) und die Reduktion der Stunden mit Übertemperatur im Sommer (33→34→35→36). Temperaturspitzen über 30 °C – im Bestand in 74 h der Fall (37) – werden durch die Steigerung des energetischen Standards nahezu ausgeschlossen (38).

Tabelle 19 Einfluss energetischer Standard auf Verteilung empfundene Temperatur, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Empfundene Temperatur						
Modellraum SW02 (1 Fenster)						
		Empfundene Temperatur				
	Außenlufttemperatur [°C]	V1 Bestand	V2 Sanierung Minimal	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Min.		18,8	19,3	19,7	19,7	19,7
Max.		31,4	29,7	29,7	29,5	29,5
T [°C]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
<16	6131	0	0	0	0	0
16	313	0	0	0	0	0
17	295	0	0	0	0	0
18	289	0	0	0	0	0
19	292	2637 (30)	667	0	0	0
20	227	1908	3605 (31)	3724 (32)	3580	3355
21	241	607	791	1181	1293	1415
22	175	1227	1568	1700	1750	1834
23	185	703	720	790	814	830
24	138	422	445	495	492	494
25	95	336	321	318	308	309
26	99	269	265	242	255	255
27	88	252	241	199	171	171
28	61	212	90	68	67	67
29	41	113	45	41	30	30
>30	90	74 (37)	2 (38)	2 (38)	0 (38)	0 (38)
Stunden über 25 °C		920	643	552	523	523
Stunden über 26 °C		651	378	310	268	268
Stunden über 27 °C		399 (33)	137 (34)	111 (35)	97 (36)	97

Relative Feuchte der Raumluft

Tabelle 20 zeigt dass die Anzahl an Stunden in Kategorie A mit zunehmendem energetischem Standard deutlich abnimmt (39→40→41→42→43). Dabei kommt es sowohl zu einer Verschiebung in Richtung niedrigerer (44) wie auch hoher (45) relativer Feuchte. Während die Anzahl von Stunden zwischen 30 % und 60 % relativer Feuchte der Raumluft bei Bestand „V1“ noch 79 % (46) beträgt sinkt dieser Anteil auf 76 % (47) bei Sanierung Enerphit „V5“ ab, was umgekehrt eine Zunahme von 3 % (48), das sind insgesamt 263 h, in Kategorie C und D bedeutet, wie auch Abbildung 39 zeigt. Eine Analyse eines konkreten Zeitpunkts hoher relativer Feuchte und dessen Einfluss auf den thermischen Komfort erfolgt in Kapitel „Relative Feuchte der Raumluft über empfundener Temperatur“.

Tabelle 20 Einfluss energetischer Standard auf die Verteilung relative Feuchte der Raumluft, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Relative Feuchte der Raumluft					
Modellraum SW02 (1 Fenster)					
	relative Feuchte				
	V1 Bestand	V2 Sanierung Minimal	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Min.	16,0	16,0	15,4	15,2	15,2
Max.	67,6	72,4	74,0	74,6	74,6
rel.F [%]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
< 20	173	173	189	190	192
20 - 25	549	554	597	604	618
25 - 30	1111	1118	1185	1206	1271
30 - 35	1582	1530	1587	1591	1586
35 - 40	1369	1393	1357	1318	1267
40 - 45	1178 (39)	1074 (40)	944 (41)	929 (42)	903 (43)
45 - 50	1129	977	972	958	966
50 - 55	957	950	982	988	1004
55 - 60	540	710	589	595	572
60 - 65	166	202	236	246	246
65 - 70	6	75	102	111	111
70 - 75	0	4	20	24	24
75 - 80	0	0	0	0	0
80 - 85	0	0	0	0	0
85 - 90	0	0	0	0	0
>90	0	0	0	0	0
Anzahl Stunden unter 30 %	1833	1845	1971	2000	2081
Anzahl Stunden über 60 %	172	281	358	381	381
Stunden zwischen 30 und 60 %	79% (46)	79%	77%	77%	76% (47)

↑ (44)
↑ (45)
↑ (48)
 + 3 % in Kategorie C und D

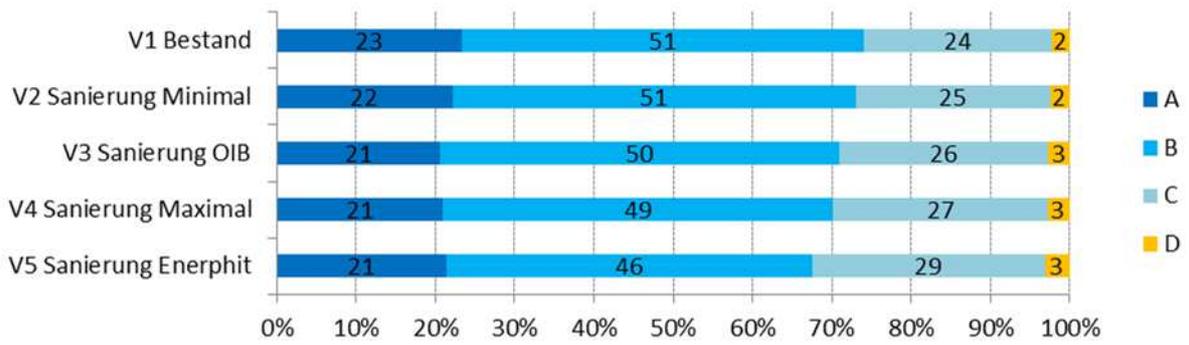


Abbildung 39 Relative Feuchte der Raumluft nach Kategorien für „SW02“ (1 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Thermischer Komfort - PMV

Das Minimum der PMV-Bewertung, liegt – wie auch in Tabelle 17 für den Bestand gezeigt – für alle Sanierungsvarianten bei -0,1 in der Kategorie A (Tabelle 21). Das Raumklima wird demnach im schlechtesten Fall als „etwas kühl“, aber nie als „kühl“ oder „kalt“ empfunden. Der Maximalwert des PMV von 2,1 Kategorie D3 bei Bestand „V1“ (49) wird bei Sanierung Minimal auf 1,6 – und damit von „heiß“ auf „warm“ – reduziert (50). Als Resultat des Anstiegs der empfundenen Temperaturen, von 20 °C Richtung 22 °C, mit zunehmendem energetischem Standard, kommt es zu einer Abnahme von bis zu 12,4 % der Gesamtstunden in Kategorie A (51). Die starke Neigung des Modellraums „SW02“ (1 Fenster) zu sommerlicher Überwärmung im Bestand „V1“ mit 422 h in Kategorie D, von denen 4 Stunden sogar in Kategorie D3 fallen nimmt um 2,7 % bei „V2“ bis 3,2 % bei „V5“ (52) – jeweils bezogen auf die Gesamtstundenzahl – ab, wobei besonders hohe PMV-Bewertungen nach Kategorie D3 („heiß“) durch Steigerung des energetischen Standards ausgeschlossen werden können (53→54). Abbildung 40 zeigt die Zunahme in Kategorie B mit steigendem energetischem Standard.

Tabelle 21 Einfluss energetischer Standard auf den thermischen Komfort, dargestellt als PMV, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Thermischer Komfort					
Modellraum SW02 (1 Fenster)					
	PMV				
	V1 Bestand	V2 Sanierung Minimal	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Min.	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Max.	2,1 ⁴⁹	1,6 ⁵⁰	1,6	1,5	1,5
	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
Kategorie D3 < -2	0	0	0	0	0
Kategorie D2 < -1	0	0	0	0	0
Kategorie D1 < -0,7	0	0	0	0	0
Kategorie C < -0,5	0	0	0	0	0
Kategorie B < -0,2	0	0	0	0	0
Kategorie A < 0,2 ; > -0,2	5950	5693	5211	5022	4868
Kategorie B > 0,2	1502	1718	2308	2506	2650
Kategorie C > 0,5	886	1163	1082	1093	1103
Kategorie D1 > 0,7	186	110	89	80	80
Kategorie D2 > 1	232	76	70	59	59
Kategorie D3 > 2	4 ⁵³	0 ⁵⁴	0	0	0
Angabe in %					
Kategorie A	67,9	65,0	59,5	57,3	55,6
Kategorie B	17,1	19,6	26,3	28,6	30,3
Kategorie C	10,1	13,3	12,4	12,5	12,6
Kategorie D	4,8	2,1	1,8	1,6	1,6
Differenz bezogen auf den nächst niedrigeren Dämmstandard [%]					
Kategorie A	-	-2,9	-5,5	-2,2	-1,8
Kategorie B	-	2,5	6,7	2,3	1,6
Kategorie C	-	3,2	-0,9	0,1	0,1
Kategorie D	-	-2,7	-0,3	-0,2	0,0
Differenz bezogen auf den Bestand [%]					
Kategorie A	-	-2,9	-8,4	-10,6	-12,4 ⁵¹
Kategorie B	-	2,5	9,2	11,5	13,1
Kategorie C	-	3,2	2,2	2,4	2,5
Kategorie D	-	-2,7	-3,0	-3,2	-3,2 ⁵²

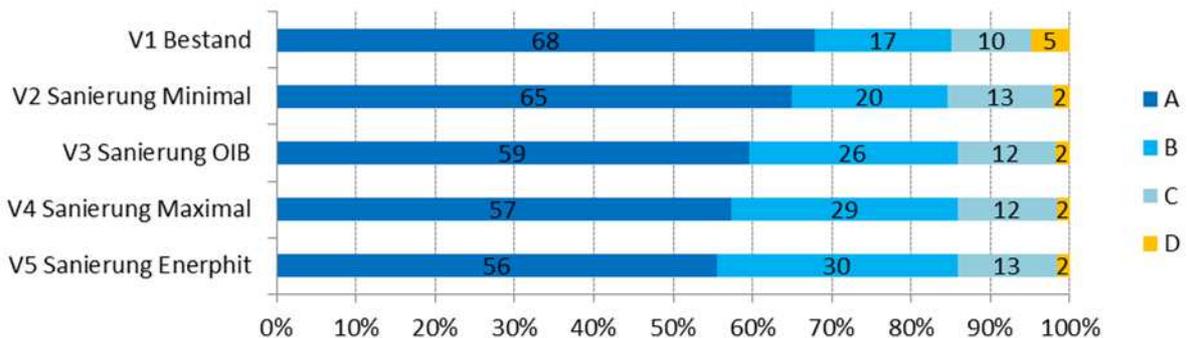


Abbildung 40 Thermischer Komfort PMV nach Kategorien für „SW02“ (1 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Thermischer Komfort - PPD

Mit zunehmendem energetischem Standard zeigt sich eine Verschiebung von Stunden aus Kategorie A in Kategorie B (55), aber auch eine Reduktion kritischer Stunden aus Kategorie D (56). Ab Sanierung OIB „V3“ ist dieser Effekt besonders stark ausgeprägt (57). Bezogen auf den Bestand „V1“ beträgt die Differenz in den Kategorien für Sanierung Enerphit „V5“ für Kategorie A -8,8 % (58), Kategorie B +9,0 % (59), Kategorie C +3,2 % (60) und Kategorie D -3,3 % (61), jeweils bezogen auf die Gesamtstundenzahl. Abbildung 41 zeigt die Verschiebung in den Kategorien mit zunehmendem energetischem Standard, wobei bereits bei Sanierung Minimal „V2“ eine deutliche Reduktion von 2,8 % der Gesamtstunden in Kategorie D (62) vorliegt.

Tabelle 22 Einfluss energetischer Standard auf den thermischen Komfort, dargestellt als PPD-Index, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Thermischer Komfort					
Modellraum SW02 (1 Fenster)					
	PPD				
	V1 Bestand	V2 Sanierung Minimal	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Min.	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Max.	79,4	53,9	53,8	50,5	50,5
	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
Kategorie A < 6	6095	5873	5572	5462	5321
Kategorie B 6 - 10	1288	1428	1830	1952	2078
Kategorie C 10 - 15	940	1266	1190	1201	1216
Kategorie D > 15	435	191	166	143	143
Angabe in %					
Kategorie A	69,6	67,0	63,6	62,4	60,7
Kategorie B	14,7	16,3	20,9	22,3	23,7
Kategorie C	10,7	14,5	13,6	13,7	13,9
Kategorie D	5,0	2,2	1,9	1,6	1,6
Differenz bezogen auf den nächst niedrigeren Dämmstandard [%]					
Kategorie A	-	-2,5	-3,4	-1,3	-1,6
Kategorie B	-	1,6	4,6	1,4	1,4
Kategorie C	-	3,7	-0,9	0,1	0,2
Kategorie D	-	-2,8	-0,3	-0,3	0,0
Differenz bezogen auf den Bestand [%]					
Kategorie A	-	-2,5	(57) -6,0	(57) -7,2	(57) -8,8 (61)
Kategorie B	-	1,6	(57) 6,2	(57) 7,6	(57) 9,0 (61)
Kategorie C	-	3,7	2,9	3,0	3,2 (60)
Kategorie D	-	-2,8 (62)	-3,1	-3,3	-3,3 (61)

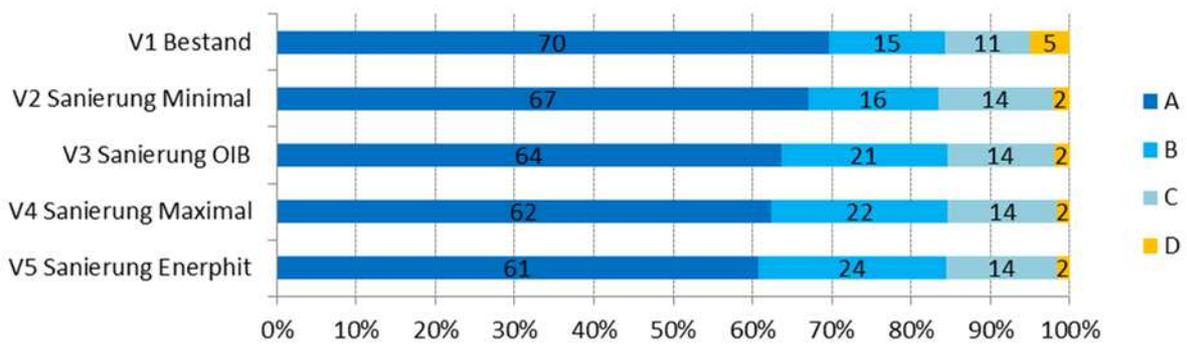


Abbildung 41 Thermischer Komfort PPD nach Kategorien für „SW02“ (1 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Empfundene Temperatur

Tabelle 23 zeigt die Zunahme der Temperaturniveaus im Winter mit zunehmendem energetischem Standard (63→64) und die Reduktion der Stunden mit Übertemperatur im Sommer (65→66→67→68). Von Sanierung Maximal „V4“ hin zu Sanierung Enerphit „V5“ kommt es zu keiner Verbesserung hinsichtlich der Übertemperaturstunden mehr (69). Temperaturspitzen über 30 °C werden für Sanierung Minimal „V2 und Sanierung OIB „V3“ nahezu (70), bei Sanierung Maximal „V4“ und Sanierung Enerphit „V5“ gänzlich ausgeschlossen (71).

Tabelle 23 Einfluss energetischer Standard auf die Verteilung der empfundenen Temperatur, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Empfundene Temperatur						
Modellraum SW03 (2 Fenster)						
		Empfundene Temperatur				
	Außenlufttemperatur [°C]	V1 Bestand	V2 Sanierung Minimal	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Min.		19,5	19,5	19,8	19,8	19,9
Max.		30,4	29,6	29,5	29,4	29,4
T [°C]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]	Std. [h]
<16	6131	0	0	0	0	0
16	313	0	0	0	0	0
17	295	0	0	0	0	0
18	289	0	0	0	0	0
19	292	43 (63)	0	0	0	0
20	227	4030	3966 (64)	3129 (65)	3005 (63)	2236
21	241	1132	1187 (64)	1615 (64)	1659 (64)	2013 (64)
22	175	1338	1535	1788	1883	2211
23	185	762	744	908	907	976
24	138	467	467	491	490	507
25	95	314	302	304	313	314
26	99	242	250	259	254	254
27	88	222	201	164	156	156
28	61	133	76	68	67	67
29	41	55	30	33	26	26
>30	90	22	2 (70)	1 (70)	0 (71)	0 (71)
Stunden über 25 °C		674	559	525	503	503
Stunden über 26 °C		432	309	266	249	249
Stunden über 27 °C		(65) 210	(66) 108	(67) 102	(68) 93	(69) 93

Thermischer Komfort - PPD

Der Maximalwert Unzufriedener (72) liegt beim Bestand „V1“ bei Modellraum „SW03“ mit 65,2 % (Tabelle 24) deutlich tiefer als bei Modellraum „SW02“ mit 79,4 %. Bei beiden Modellräumen sinkt der Maximalwert Unzufriedener hin zu Sanierung Enerphit „V5“ auf 50 % (73). Mit zunehmendem energetischem Standard zeigt sich – im Vergleich zu Modellraum „SW02“ – erst ab Sanierung OIB „V3“ eine deutliche Verschiebung von Stunden aus Kategorie A in Kategorie B (74→75). Hingegen steigt der thermische Komfort mit der Reduktion kritischer Stunden aus Kategorie D (76), was auch für Sanierung Minimal „V2“ gilt. Bezogen auf den Bestand „V1“ beträgt die Differenz in den Kategorien für Sanierung Enerphit „V5“ für Kategorie A -13,9 % (77), Kategorie B +13,9 % (78), Kategorie C +1,3 % (79) und Kategorie D -1,4 % (80), jeweils bezogen auf die Gesamtstundenzahl. Die Steigerung des thermischen Komforts kritischer Raumklimabedingungen durch Steigerung des energetischen Standards geht demnach auf Kosten von Qualitätseinbußen in Kategorie A wie auch Abbildung 42 zeigt. Wird allein der thermische Komfort, ausgedrückt in PPD, als Kriterium für eine Sanierungsentscheidung herangezogen und sind weitere Bewertungskriterien wie Energieeffizienz nicht relevant, so bietet sich für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) die Sanierung Minimal „V2“ an, bei der die Anteile in Kategorie D um 1,1 % (81) gesenkt werden, der Effekt der Verschiebung von Kategorie A in B mit -0,1 % (82) aber sehr gering ausfällt.

Tabelle 24 Einfluss energetischer Standard auf den thermischen Komfort, dargestellt als PPD, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

Thermischer Komfort					
Modellraum SW03 (2 Fenster)					
	PPD				
	V1 Bestand	V2 Sanierung Minimal	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Min.	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Max.	65,2 ⁽⁷²⁾	51,9	51,3	49,4	49,4 ⁽⁷³⁾
	Std. [h]				
Kategorie A < 6	5646	5633	5016	4929	4432
Kategorie B 6 - 10	1714	1745	2433	2500	2932
Kategorie C 10 - 15	1141	1219	1160	1193	1258
Kategorie D > 15	257	161	149	136	136
Angabe in %					
Kategorie A	64,5	64,3	57,3	56,3	50,6
Kategorie B	19,6	19,9	27,8	28,5	33,5
Kategorie C	13,0	13,9	13,2	13,6	14,4
Kategorie D	2,9	1,8	1,7	1,6	1,6
Differenz bezogen auf den nächst niedrigeren Dämmstandard [%]					
Kategorie A	-	⁽⁸²⁾ -0,1	-7,0	-1,0	-5,7
Kategorie B	-	0,4	7,9	0,8	4,9
Kategorie C	-	0,9	-0,7	0,4	0,7
Kategorie D	-	⁽⁶¹⁾ -1,1	-0,1	-0,1	0,0
Differenz bezogen auf den Bestand [%]					
Kategorie A	-	-0,1	⁽⁷⁴⁾ -7,2	⁽⁷⁴⁾ -8,2	⁽⁷⁵⁾ -13,9 ⁽⁷¹⁾
Kategorie B	-	0,4	⁽⁷³⁾ 8,2	⁽⁷³⁾ 9,0	⁽⁷⁵⁾ 13,9 ⁽⁷³⁾
Kategorie C	-	0,9	0,2	0,6	1,3 ⁽⁷³⁾
Kategorie D	-	⁽⁷⁶⁾ -1,1	⁽⁷⁶⁾ -1,2	⁽⁷⁶⁾ -1,4	⁽⁷⁶⁾ -1,4 ⁽⁸⁰⁾

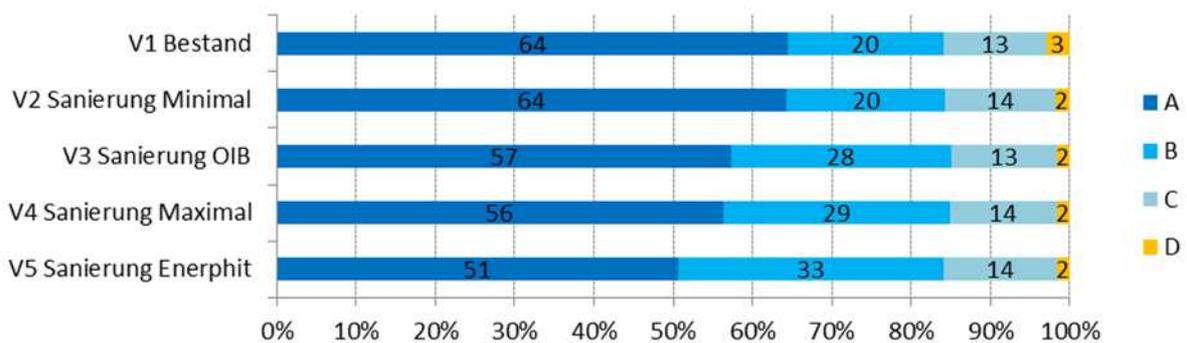


Abbildung 42 Thermischer Komfort PPD nach Kategorien für „SW03“ (2 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet

Conclusio

1. Die empfundene Raumtemperatur im Bestand sinkt nicht unter 19 °C.
2. Modellraum „SW02“ (1 Fenster) ist mit 2637 h bei 19 °C deutlich kühler als Modellraum „SW03“ (2 Fenster)
3. Im Sommer zeigt die Verteilung der empfundenen Temperatur bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) einen höheren Diskomfort. Bei „SW03“ (2 Fenster) liegt die Anzahl der Stunden über 27 °C etwa bei der Hälfte.
4. Im Bereich zwischen 22 °C und 25 °C zeigt sich eine ähnliche Temperaturverteilung bei den Modellräumen „SW02“ und „SW03“.
5. Die relative Feuchte der Raumluft liegt oft unter 30 %, was Kategorie C und D entspricht.
6. Modellraum „SW03“ (2 Fenster) schneidet bei der Beurteilung der relativen Feuchte schlechter ab als Modellraum „SW02“.
7. Die Anzahl der Stunden über 60 % fällt bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) höher aus als bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster).
8. Es gibt kritische Feuchtezustände, die in Kategorie D (> 70 %) fallen.
9. Insgesamt fallen 79 % der Stunden bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) in Kategorie A und B. Bei Modellraum „SW03“ sind es 78 %.
10. Für den ungedämmten Bestand „V1“ unerwartet, fallen bei der Kategorisierung keine Stunden in die Bewertung $B < -0,2$ oder schlechter.
11. Während sich die Verteilung in Kategorie A und B bei den Modellräumen „SW02“ und „SW03“ ähnelt, zeigt Modellraum „SW02“ (1 Fenster) eine stärkere Ausprägung in Kategorie D hinsichtlich Überwärmung.
12. Für die Analyse bzw. Optimierung des sommerlichen Temperaturverhaltens hat es sich als zielführend erwiesen, in der Kategorie D eine weitere Unterteilung in D1, D2 und D3 vorzunehmen.
13. Das Minimum bzw. Basisniveau an Unzufriedenen liegt stets bei 5 %.
14. Modellraum „SW02“ (1 Fenster) zeigt mit 79,4 % den Höchstwert an Unzufriedenen.
15. Das Maximum an Unzufriedenen bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) liegt mit 65,2 % um 14,2 % deutlich tiefer als bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster).
16. Eine Beurteilung des thermischen Komforts allein auf die Beurteilung der Überwärmung zu stützen ist nicht ohne weitere Überlegungen zielführend, da trotz hohem Diskomfort im Sommer der Anteil von Stunden hoher thermischen Komforts (Kategorie A) über das Jahr sehr hoch ausfällt.
17. Mit zunehmendem energetischem Standard steigt das Temperaturniveau im Winter.
18. Mit zunehmendem energetischem Standard reduzieren sich die Stunden mit Übertemperatur im Sommer.
19. Temperaturspitzen über 30 °C werden durch Steigerung des energetischen Standards nahezu ausgeschlossen.
20. Zwischen Sanierung Maximal „V4“ und Sanierung Enerphit „V5“ kommt es zu keiner Verbesserung hinsichtlich der Übertemperaturstunden mehr.

21. Die Anzahl an Stunden in Kategorie A, bezogen auf die Bewertung der relativen Feuchte der Raumluft, nimmt mit zunehmendem energetischem Standard deutlich ab, wobei es sowohl zu einer Verschiebung in Richtung niedrigerer wie auch höherer relativer Feuchte kommt.
22. Die Anzahl von Stunden zwischen 30 % und 60 % relativer Feuchte sinkt mit zunehmendem energetischem Standard, was eine Zunahme in Kategorie C und D und damit höheren Diskomfort bedeutet.
23. Das Minimum der PMV-Bewertung, liegt bei allen Varianten nicht unter -0,2 und damit in Kategorie A. Das Raumklima wird demnach im schlechtesten Fall als „etwas kühl“, aber nie als „kühl“ oder „kalt“ empfunden.
24. Der Maximalwert des PMV von 2,1 (Kategorie D3) bei Bestand „V1“ wird bei Sanierung Minimal „V2“ auf 1,6 – und damit von „heiß“ auf „warm“ – reduziert.
25. Als Resultat des Anstiegs der empfundenen Temperaturen, von 20°C Richtung 22 °C mit zunehmendem energetischem Standard, kommt es zu einer Abnahme von bis zu 12,4 % der Gesamtstunden in Kategorie A.
26. Die starke Neigung des Modellraums „SW02“ zu sommerlicher Überwärmung im Bestand „V1“ nimmt um 2,7 % bei Sanierung Minimal „V2“ bis hin zu 3,2 % bei Sanierung Enerphit „V5“, bezogen auf die Gesamtstunden ab.
27. Besonders hohe PMV-Bewertungen nach Kategorie D3 („heiß“) können durch Steigerung des energetischen Standards ausgeschlossen werden.
28. Mit zunehmendem energetischem Standard zeigt sich bei der PPD-Bewertung eine Verschiebung von Stunden aus Kategorie A in Kategorie B, aber auch eine Reduktion kritischer Stunden aus Kategorie D, wobei ab Sanierung OIB „V3“ dieser Effekt besonders stark ausgeprägt ist.
29. Bereits Sanierung Minimal „V2“ führt zu einer deutliche Reduktion des PPD von 2,8 % der Gesamtstunden in Kategorie D.
30. Der Maximalwert Unzufriedener liegt beim Bestand „V1“ bei Modellraum „SW03“ mit 65,2 % deutlich tiefer als bei Modellraum „SW02“ mit 79,4 %.
31. Bei beiden Modellräumen sinkt der Maximalwert Unzufriedener hin zu Sanierung Enerphit „V5“ auf 50 %.
32. Mit zunehmendem energetischem Standard zeigt sich bei Modellraum „SW03“ (2 Fenster) – im Vergleich zu Modellraum „SW02“ (1 Fenster) – erst ab Sanierung OIB „V3“ eine deutliche Verschiebung von Stunden aus Kategorie A in Kategorie B.
33. Die Steigerung des thermischen Komforts kritischer Raumklimabedingungen durch Steigerung des energetischen Komforts geht auf Kosten von Qualitätseinbußen in Kategorie A.
34. Wird allein der thermische Komfort, ausgedrückt in PPD, als Kriterium für eine Sanierungsentscheidung herangezogen und sind weitere Bewertungskriterien wie Energieeffizienz nicht relevant, so bietet sich für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) die Sanierung Minimal „V2“ an, bei der die Anteile in Kategorie D um 1,1 % gesenkt

werden, der Effekt der Verschiebung von Kategorie A in B mit -0,1 % aber sehr gering ausfällt.

2.2.4.5 Übertemperaturgradstunden

Für dynamisch-thermische Simulationsrechnung kann die Bewertung der thermischen Behaglichkeit in Innenräumen nach DIN 4108-2 *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz* [42] anhand von Übertemperaturgradstunden dargestellt werden. Für die in Tabelle 25 dargestellten Ergebnisse ist der Bezugswert der empfundenen Innentemperatur mit 27 °C festgelegt, wobei für Wohnnutzung eine Anwesenheitszeit von 24 h/d als Bezugswert für den zu bestimmenden Übertemperaturgradstundenwert zugrunde gelegt wird.

Tabelle 25 Übertemperaturgradstunden für die süd-west-orientierte Wohnung (SW) im Modellgebäude Mehrfamilienwohnhaus

Übertemperaturgradstunden [Kh/a] bezogen auf Grenztemperatur von 27 °C					
	V1 Bestand	V2 Minimal Sanierung	V3 Sanierung OIB	V4 Sanierung Maximal	V5 Sanierung Enerphit
Testraum SW02	1311	564	466	395	395
Testraum SW03	741	451	403	368	368

Mit zunehmendem energetischen Standard werden die Übertemperaturgradstunden (Tabelle 25) der nach süd-west orientierten Wohnung gegenüber dem ungedämmten Bestand „V1“ im Modellraum „SW03“ (2 Fenster) bei Sanierung Minimal „V2“ um 24 %, bei Sanierung OIB „V3“ um 45 %, bei Sanierung Maximal „V4“ und bei Sanierung EnerPhit „V5“ um 50 % reduziert. Modellraum „SW02“ (1 Fenster) zeigt gegenüber Modellraum „SW03“ (2 Fenster) für den ungedämmten Bestand „V1“ fast doppelt so viele Übertemperaturgradstunden. Gegenüber dem ungedämmten Bestand „V1“ reduziert sich bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster) die Anzahl der Übertemperaturgradstunden bei Sanierung Minimal „V2“ um 57 %, bei Sanierung OIB „V3“ um 65 %, bei Sanierung Maximal „V4“ und bei Sanierung EnerPhit „V5“ um 70 % und gleicht sich mit zunehmendem energetische Standard jenen von Modellraum „SW03“ (2 Fenster) an.

Conclusio

1. Mit zunehmendem energetischem Standard kommt es zu einer deutlichen Reduktion der Übertemperaturgradstunden und damit zu einer Steigerung des thermischen Komforts.
2. Mit zunehmendem energetischem Standard nimmt der Einfluss der Raumgeometrie und direkt davon abhängigen Größen wie Verglasungsanteil und Raumvolumen auf die Anzahl der Übertemperaturgradstunden ab.
3. Bei kleinen und deshalb besonders kritischen Räumen wird die Anzahl der Übertemperaturgradstunden durch Steigerung des energetischen Standards um bis

zu 70 %, reduziert, wobei bereits eine Sanierung Minimal „V2“ zu einer Reduktion von Übertemperaturgradstunden von mehr als 50 % führt.

- Bei etwas größeren Räumen wie Modellraum „SW03“ (2 Fenster) beträgt die Reduktion der Übertemperaturgradstunden je nach energetischem Standard ca. 25 % bis 50 %.

2.2.4.6 Relative Feuchte der Raumluft über empfundener Temperatur

Neben zeitlichen Verläufen der Ergebnisgrößen aus der Simulation oder Angaben zu Verteilung und Kategorien in tabellarischer Form erlaubt die Darstellung von relativer Feuchte der Raumluft über empfundener Temperatur eine rasche qualitative Aussage und anschauliche Vergleiche zum thermischen Raumverhalten, insbesondere wenn die Komfortbereiche hinterlegt sind und Jahreszeiten farblich getrennt dargestellt werden. Abbildung 43 zeigt, dass im Winter eine große Anteil an Stunden außerhalb der Komfortzone und sowohl hinsichtlich relativer Feuchte der Raumluft (1) und empfundener Temperatur (2) außerhalb des Mindestkomfortbereichs liegen. Gleiches gilt für den Sommer (3).

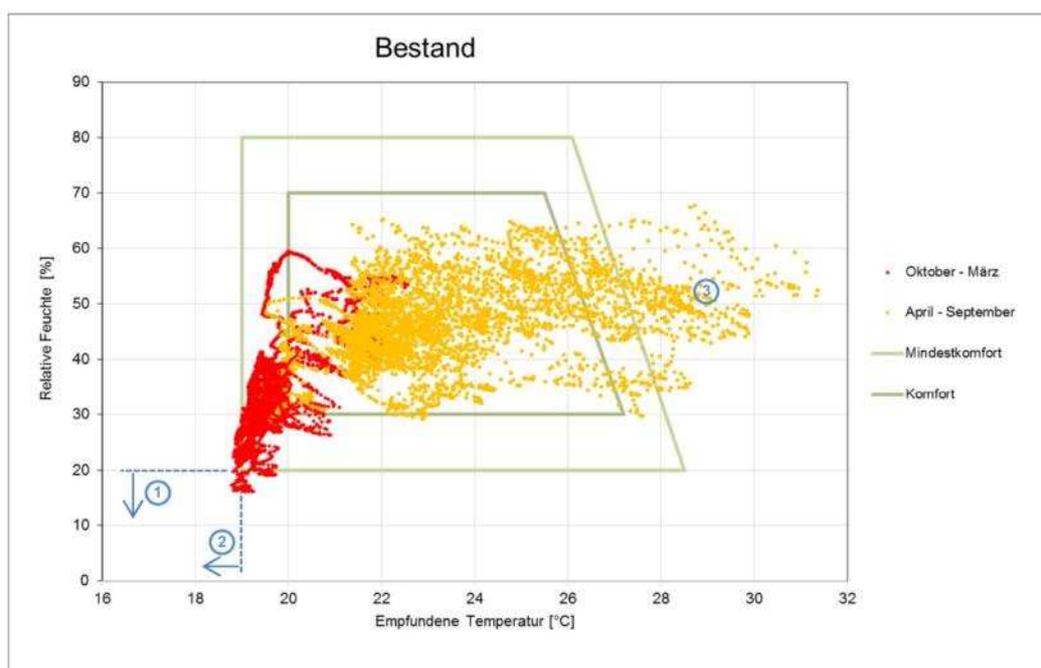


Abbildung 43 Verteilung der Raumklimadaten Temperatur und relative Feuchte der Raumluft über das Jahr, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Variante Bestand, Komfortbereiche in grün, Winter in rot, Sommer in orange, 8760 Stundenwerte

Abbildung 44 zeigt, dass bereits durch die Applikation einer geringen Wärmedämmung (Sanierung Minimal „V2“) die empfundene Temperatur im Winter bis in den Mindestkomfortbereich (4), mit Sanierung Enerphit „V5“, (Abbildung 45) beinahe in den Komfortbereich (8) angehoben wird, wobei die relative Feuchte der Raumluft gering bleibt. Die relative Feuchte der Raumluft im Winter ist bei niedrigen Außenlufttemperaturen gering und beträgt beispielsweise am 6. Jänner um 18:00 bei einer Außenlufttemperatur von -2,3 °C und einer empfundenen Temperatur im Innenraum von 19,98 °C lediglich 22,82 % (5). Das

Maximum der relativen Feuchte der Raumluft im Betrachtungszeitraum Oktober bis März liegt im Oktober, wo am 17. Oktober bei 17,4 °C Außenlufttemperatur, die empfundene Temperatur im Raum bei 21,75 °C und die relative Feuchte der Raumluft bei 54 % liegen.

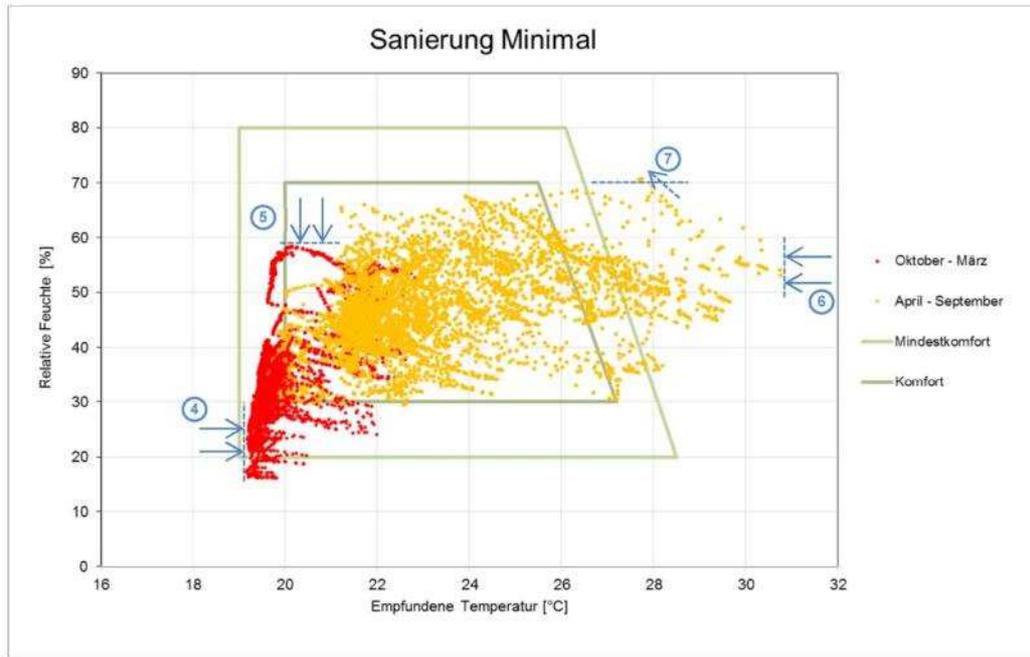


Abbildung 44 Verteilung der Raumklimadaten Temperatur und relative Feuchte der Raumluft über das Jahr, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Variante Minimal, Komfortbereiche in grün, Winter in rot, Sommer in orange, 8760 Stundenwerte

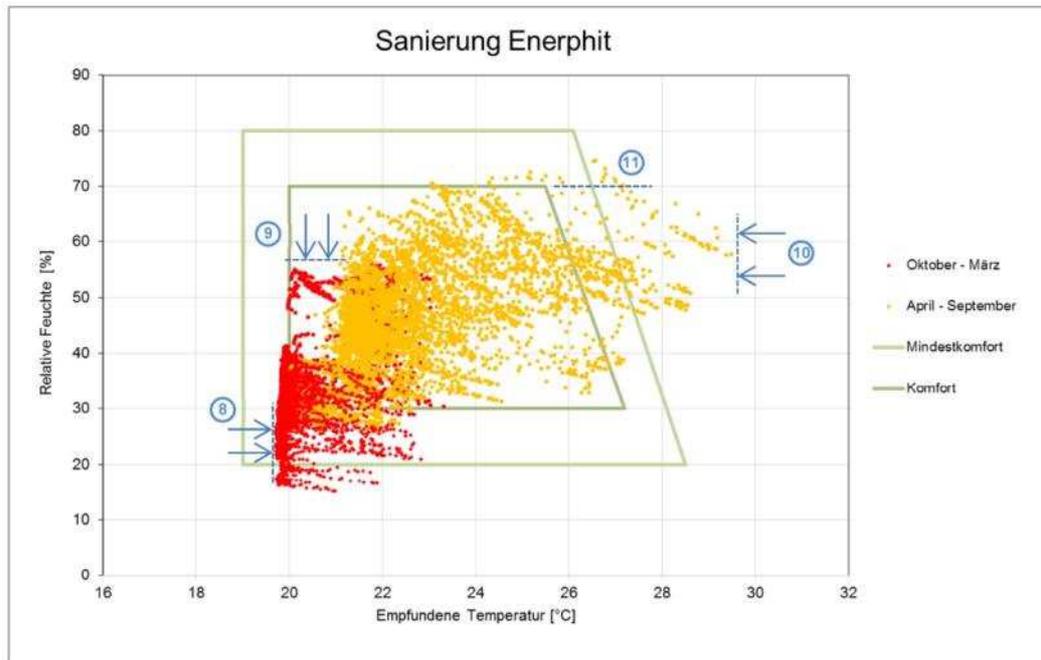


Abbildung 45 Verteilung der Raumklimadaten Temperatur und relative Feuchte der Raumluft über das Jahr, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Variante Enerphit, Komfortbereiche in grün, Winter in rot, Sommer in orange, 8760 Stundenwerte

Durch die Absenkung der maximalen Temperatur (6→10) (Abbildung 44 und Abbildung 45) mit zunehmendem energetischem Standard kommt es bei den vorliegenden identen absoluten Feuchtegehalten der Raumluft (nicht dargestellt) zu einem Anstieg der relativen Feuchte der Raumluft (7→11). Da hohe Luftfeuchte in der Regel als schwül und unangenehm empfunden wird, ist zu untersuchen, wie sich dieser Anstieg der relativen Feuchte der Raumluft auf den thermischen Komfort auswirkt. Es ist zu erwarten, dass der Anstieg der relativen Feuchte der Raumluft den durch Absenkung der maximal empfundenen Temperatur erwirkten Komfortgewinn kompensiert bzw. sogar zu einer Verschlechterung des thermischen Komforts führt. Zur Klärung dieser Frage wird PMV und PPD für den Tag mit den höchsten Werten relativer Feuchte, den 20. Juli, analysiert.

Abbildung 49 zeigt für den PPD-Index, dass zum kritischen Zeitpunkt hoher relativer Feuchte der Raumluft bis auf Sanierung Enerphit, die in Kategorie C fällt (1), alle Varianten nach Tabelle 12 Kategorie D zugeordnet werden. Zu beachten ist dabei – wie Abbildung 47 zeigt – dass gerade die Variante Sanierung Enerphit mit 71,54 % die höchste relative Feuchte der Raumluft aufweist (2), wobei die Werte höchster relativer Feuchte der Raumluft nur knapp über dem Grenzwert von 70 % für Kategorie D liegen. Zum Zeitpunkt höchster Temperatur (3) fallen die Werte für die relative Feuchte der Raumluft sogar in Kategorie B. Die Gesamtbewertung des Komforts (1) (Abbildung 49) wird durch die hohe relative Feuchte der Raumluft nicht negativ beeinflusst. In der Bewertung (Abbildung 48) dominiert die empfundene Temperatur (4) (Abbildung 46), wie die Bewertung (1) mit Kategorie C beim PPD-Index (Abbildung 49) trotz Kategorie D (2) (Abbildung 47) bei hoher relativer Feuchte der Raumluft zeigt. Grund dafür ist, dass der personenbezogene Einfluss des Wärmeverlusts durch Verdunstung – welcher durch die absolute Luftfeuchte beeinflusst wird – auf die allgemeine thermische körperliche Behaglichkeit einer Person bei gemäßigten Temperaturen (< 26 °C) sehr begrenzt ist. In einem gemäßigten Umgebungsklima hat die Luftfeuchte nur eine geringe Auswirkung auf das Wärmeempfinden. Üblicherweise wird eine um 10 % höhere relative Feuchte der Raumluft als genauso warm empfunden wie eine um 0,3 °C höhere empfundene Temperatur. Sofern der Luftfeuchte annehmbare thermischer Bedingungen zugrunde liegen, welche lediglich auf Überlegungen hinsichtlich der Behaglichkeit, einschließlich Wärmeempfinden, Feuchtigkeit und Trockenheit der Haut sowie Reizung der Augen, basieren, ist ein weiter Bereich für die Luftfeuchte annehmbar. (vgl. [32], Anhang F)

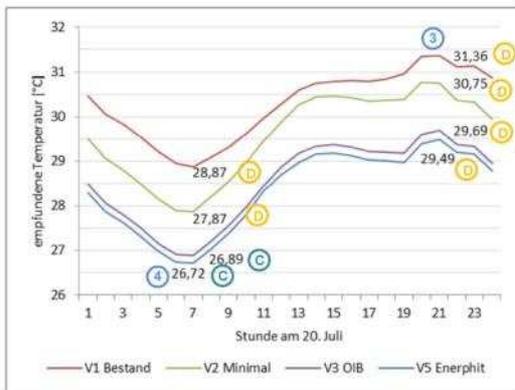


Abbildung 46 empfundene Temperatur am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12

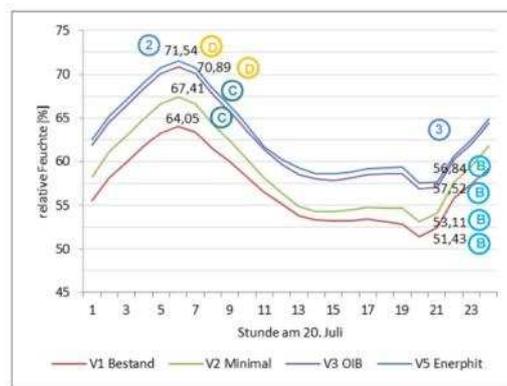


Abbildung 47 relative Feuchte der Raumluft am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12

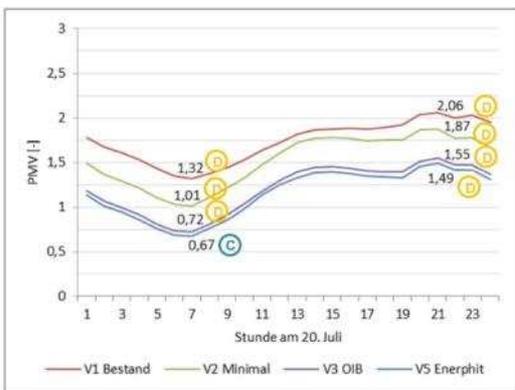


Abbildung 48 PMV am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12

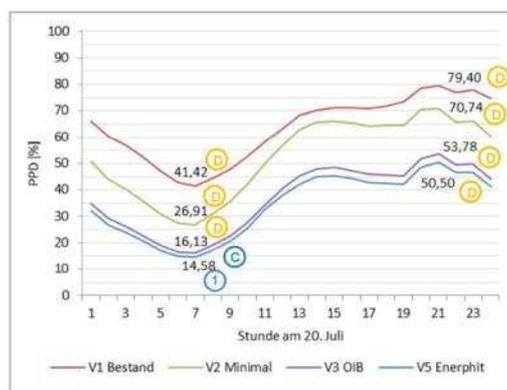


Abbildung 49 PPD am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12

Conclusio

1. Darstellung von relativer Feuchte der Raumluft über empfundener Temperatur erlaubt rasch qualitative Aussagen und anschauliche Vergleiche zum thermischen Raumverhalten, insbesondere wenn die Komfortbereiche hinterlegt sind und Jahreszeiten farblich getrennt dargestellt werden.
2. Bei Bestand „V1“ liegt ein großer Anteil an Stunden außerhalb des Mindestkomfortbereichs.
3. Die Applikation einer geringen Wärmedämmung hebt die empfundenen Temperaturen im Winter bis in den Mindestkomfortbereich
4. Ausführung einer Sanierung entsprechend Anforderungen OIB Richtlinie 6 oder Enerphit-Standard hebt die empfundenen Temperaturen im Winter in den Komfortbereich.
5. Der Anteil von Stunden mit geringer relativer Feuchte der Raumluft im Winter steigt mit zunehmendem energetischem Standard.
6. Der Maximalwert der relativen Feuchte der Raumluft im Winter liegt unter 60 % und nimmt mit zunehmendem energetischem Standard ab.

7. Durch die Absenkung der maximalen Temperaturen im Sommer mit steigendem energetischem Standard kommt es zu einem Anstieg der relativen Feuchte der Raumluft.
8. Die Gesamtbewertung des thermischen Komforts wird durch hohe relative Feuchte der Raumluft nicht negativ beeinflusst, da der Einfluss des personenbezogenen Wärmeverlusts durch Verdunstung – welcher durch die absolute Luftfeuchte beeinflusst wird – auf die allgemeine thermische körperliche Behaglichkeit einer Person bei gemäßigten Temperaturen begrenzt ist.
9. Die Luftfeuchte hat nur eine geringe Auswirkung auf das Wärmeempfinden. Eine um 10 % höhere relative Feuchte der Raumluft wird als genauso warm empfunden wie eine um 0,3 °C höhere empfundene Temperatur. Beispielsweise 20 °C empfundene Temperatur, 40 % + 10 % relative Feuchte der Raumluft wird gleich warm empfunden wie 20,3 °C empfundene Temperatur bei 40 % relativer Feuchte der Raumluft.

2.2.4.7 Adaptives Komfortmodell

Wesentlich an dem in EN 15251 *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik* [34] beschriebenen adaptiven Modell ist der Ansatz, dass das Empfinden von thermischem Komfort nicht nur von klimatischen Bedingungen des Innenraums, Aktivität und Kleidung abhängt, sondern auch von den klimatischen Bedingungen der Außenluft, genauer gesagt dem exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert des Tagesmittelwertes der Außenlufttemperatur nach [34]). Die empfundene Temperatur wird über dem gleitenden Mittelwerte der Außentemperatur (Mittelwertbildung über 7 Tage) dargestellt, wobei exemplarisch sowohl die Modellräume „SW02“ (Abbildung 50) und „SW03“ (Abbildung 51) für den Bestand „V1“, wie auch die Sanierungen Minimal „V1“ (Abbildung 52) und Enerphit „V5“ (Abbildung 53) gegenübergestellt sind.

Die Abbildungen zeigen dass sich ab Sanierung Minimal „V2“ die maximal empfundenen Temperaturen im Sommer bei der Beurteilung über dem gleitenden Mittelwert von Kategorie 3 und darüber in Kategorie 2 verschieben. Alle Sanierungsvarianten zeigen im Vergleich zum Bestand „V1“ eine günstigere, das bedeutet eine zentral in den Komfortbereichen liegende, Temperaturverteilung. Im Winter erfolgt erwartungsgemäß eine Anhebung der empfundenen Temperaturen mit zunehmendem energetischem Standard. Die Auswertung über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur erlaubt in einem nächsten Schritt die Kategorisierung nach EN ISO 15251 [34].

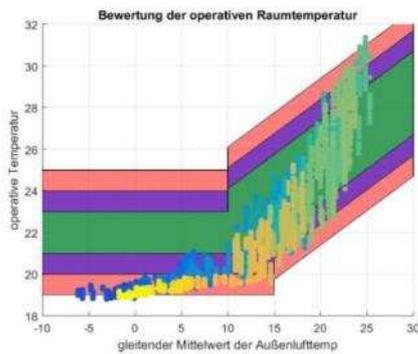


Abbildung 50 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Bestand „V1“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

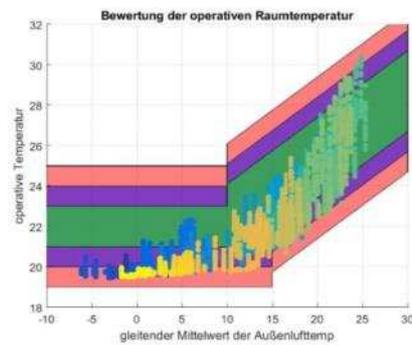


Abbildung 51 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Bestand „V1“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)

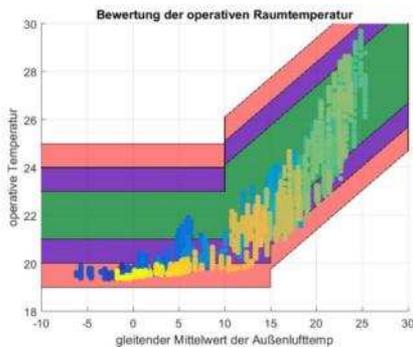


Abbildung 52 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Sanierung Minimal „V2“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

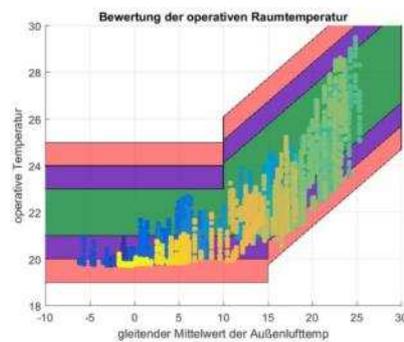


Abbildung 53 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Sanierung Enerphit „V5“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Im Anschluss an die Mittelwertbildung werden die Datensätze nach EN ISO 15251 Anhang A ohne Kühlung und Anhang F nach Verfahren A, B und C bewertet, wobei die Grenzwerte für Kategorie 1 von 21 bis 23 °C, für Kategorie 2 von 20 bis 24 °C und für Kategorie 3 von 19 bis 25 °C festgelegt werden.

Sanierung Minimal „V2“ (Abbildung 56 und Abbildung 57) führt im Sommer im Vergleich zum Bestand „V1“ (Abbildung 54 und Abbildung 55) zu einer Reduktion der Klassen 3 und 4 bei Modellraum „SW02“ (1 Fenster). Modellraum „SW03“ (2 Fenster) zeigt diesbezüglich keine Veränderung. Sowohl für Modellraum „SW02“ (1 Fenster), wie auch für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) ist erkennbar, dass die Komfortklasse 1 im Sommer reduziert wird und dafür die Komfortklasse 2 zunimmt. Alle sanierten Varianten liegen im Sommer in den Komfortklassen 1-3 (Abbildung 56 bis Abbildung 59). Mit zunehmendem energetischem Standard nimmt im Sommer die Komfortklasse 1 ab und Komfortklasse 2 zu. In den Übergangszeiten (Frühling und Herbst) ist mit zunehmendem energetischem Standard eine deutliche Steigerung des Komforts erkennbar. Über das Jahr betrachtet zeigt Sanierung Enerphit „V5“ den höchsten thermischen Komfort.

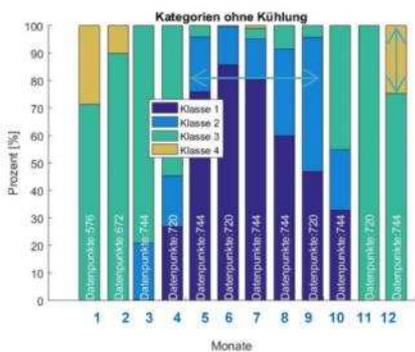


Abbildung 54 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Bestand „V1“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Darstellung in Monaten

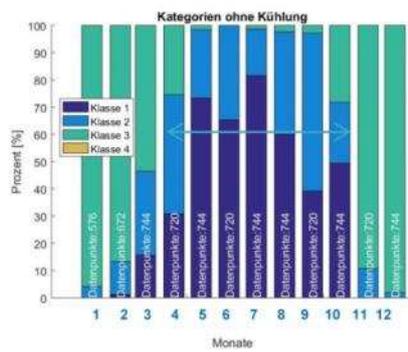


Abbildung 55 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Bestand „V1“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Darstellung in Monaten



Abbildung 56 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Minimal „V2“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Darstellung in Monaten

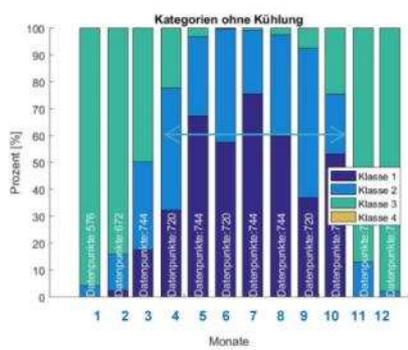


Abbildung 57 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Minimal „V2“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Darstellung in Monaten



Abbildung 58 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Enerphit „V5“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Darstellung in Monaten



Abbildung 59 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Enerphit „V5“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Darstellung in Monaten

Conclusio

1. Bereits die Darstellung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur erlaubt eine Einschätzung hinsichtlich des Einflusses des energetischen Standards bzw. der Innendämmung auf den thermischen Komfort.
2. Qualitative Aussagen sind anhand der Kategorisierung bzw. Einteilung in Klassen, wie hier auf Monatsbasis, möglich. Bereits mit Sanierung minimal „V3“ kann ein

Diskomfort der Klasse 4, wie er im Bestand „V1“ sowohl im Winter wie auch im Sommer anzutreffen ist, unterbunden werden.

3. Mit weiter zunehmendem energetischem Standard nimmt der Anteil von Klasse 1 und 2 im Winter, aber auch in Herbst und Frühling deutlich zu.
4. Grundsätzlich gilt dies auch für den Sommer obgleich hier bei Sanierung Enerphit „V5“ in Mai, Juni, Juli und August der Anteil von Stunden in Klasse 3 gegenüber Sanierung im Bereich von bis zu 10 % zunimmt.

2.2.5 Resümee und Empfehlungen

Im Zuge der Analyse haben sich einige wichtige und zum Teil auch unerwartete Punkte herauskristallisiert. Nachfolgend werden Planungsempfehlungen auf Basis der in 1.2.4 zusammengestellten Ergebnisse für Projekte mit Innendämmung gegeben. Diese Empfehlungen beziehen sich zum einen auf die Auswahl und Anwendung geeigneter Analysewerkzeuge und -methoden zum Anderen beziehen sie sich auf die Optimierung des thermischen Komforts und die Vermeidung kritischer Raumklimasituationen im Jahresverlauf. Die Empfehlungen dienen der Auswahl, Bemessung und Beurteilung von Innendämmsystemen hinsichtlich der Optimierung des thermischen Komforts.

Empfehlungen zu Auswahl und Anwendung von Analysewerkzeugen und -methoden

1. Es wird empfohlen, bei der Analyse in der Darstellung der Ergebnisse zwischen Zeitverläufen, Punktwolken, tabellarischen Aufstellungen über Häufigkeit und Verteilung sowie Kategorisierungen anhand von Klassen und Grenzwerten zu variieren.
2. Es wird empfohlen, die Analysetiefe zu variieren und die Untersuchung sowohl auf Jahres-, Monats-, Wochen-, Tages- oder Stundenbasis durchzuführen da jede dieser Ebenen für die Optimierung des Thermischen Komforts einen erheblichen Erkenntnisgewinn mit sich bringt.
3. Es wird empfohlen, den Einfluss von Innendämmung auf den thermischen Komfort anhand
 - a) der empfundenen Temperatur,
 - b) der relativen Feuchte der Raumluft,
 - c) dem vorausgesagten mittleren Votums (PMV),
 - d) dem vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD),
 - e) der Übertemperaturhäufigkeit und
 - f) der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur

zu bewerten, wobei sowohl die Angabe von Rohdaten, der Bezug auf Grenzwerte wie auch eine Klassifizierung bzw. Kategorisierung zielführend ist.

4. Es wird empfohlen, die Beurteilung des thermischen Komforts in Anlehnung an die Normen

- a. ÖNorm B 8110-3 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung* [3],
- b. ÖNorm EN ISO 7730 *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit* [32]
- c. ÖNorm EN 15251 *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik* [34].

Vorzunehmen, wobei zugunsten der Verständlichkeit oder Nachvollziehbarkeit die Darstellung der Ergebnisse an die individuelle Fragestellung angepasst werden kann.

5. Die Auswertung der Dauer kritischer Zustände wird anhand tabellarischer Darstellungen der Verteilung und Häufigkeit empfohlen.
6. Die Darstellung von relativer Feuchte der Raumluft über empfundener Temperatur erlaubt rasch qualitative Aussagen und anschauliche Vergleiche zum thermischen Raumverhalten, insbesondere wenn die Komfortbereiche hinterlegt sind und Jahreszeiten farblich getrennt dargestellt werden.
7. Für die Analyse bzw. Optimierung des sommerlichen Temperaturverhaltens wird empfohlen bei PMV in der Kategorie D eine weitere Unterteilung in D1, D2 und D3 vorzunehmen.
8. Es wird empfohlen zugunsten eines hohen Anwendungsgrads der Ergebnisse in der Planung aus den Ergebnissen vereinfachte Planungskennzahlen und Richtwerte abzuleiten.

Empfehlungen zu Optimierung des thermischen Komforts und zu Vermeidung kritischer Raumklimasituationen im Jahresverlauf

Empfundene Temperatur

Für die Optimierung des thermischen Komforts sind folgende planungsrelevante Punkte hinsichtlich der empfundenen Temperatur zu beachten.

- a) Mit zunehmendem energetischem Standard steigt das Temperaturniveau im Winter.
- b) Im Bestand liegt die empfundene Raumtemperatur nicht unter 19 °C, wobei kleine Räume mit großem Außenwandanteil im Winter am kühlfsten sind.
- c) Die Applikation einer geringen Wärmedämmung von 2 cm hebt die empfundenen Temperaturen im Winter bereits in den Mindestkomfortbereich.
- d) Die Ausführung einer Sanierung entsprechend den Anforderungen der OIB Richtlinie 6 oder entsprechend Enerphit-Standard hebt die empfundenen Temperaturen im Winter in den Komfortbereich.
- e) Unterschiedliche Raumgeometrie führt bei der Bewertung der empfundenen Temperatur zu einer ähnlichen Verteilung in Kategorie A und B.
- f) Im Sommer zeigen kleine Räume eine starke Ausprägung des Anteils an Stunden in Kategorie D und damit einen erhöhten Diskomfort, wobei die Anzahl der Stunden über 27 °C etwa doppelt so hoch ist wie bei größeren Räumen.

- g) Spitzentemperaturen im Sommer liegen bei kleinen Räumen etwa 1 °C höher als bei größeren Räumen.
- h) Eine Steigerung des energetischen Standards wirkt sich bei kleinen Räumen besonders stark auf die Temperaturreduktion im Sommer aus.
- i) Die Steigerung des energetischen Standards bewirkt bei hohem Temperaturniveau (30 °C) eine höhere Reduktion der maximal empfundenen Temperatur als bei gemäßigttem Temperaturniveau (25 °C).
- j) Eine Steigerung des energetischen Standards führt zu einer deutlichen Reduktion der Übertemperaturgradstunden und damit zu einer Steigerung des thermischen Komforts, wobei eine Steigerung von Sanierung Maximal „V4“ hin zu Sanierung Enerphit „V5“ zu keiner weiteren Verbesserung hinsichtlich der Übertemperaturstunden führt.
- k) Bei kleinen und deshalb besonders kritischen Räumen wird die Anzahl der Übertemperaturgradstunden durch Steigerung des energetischen Standards um bis zu 70 %, reduziert, wobei bereits eine Sanierung Minimal „V2“ zu einer Reduktion von Übertemperaturgradstunden von mehr als 50 % führt.
- l) Mit zunehmendem energetischem Standard nimmt der Einfluss der Raumgeometrie und direkt davon abhängigen Größen wie Verglasungsanteil und Raumvolumen auf die Anzahl der Übertemperaturgradstunden ab.
- m) Bei etwas größeren Räumen wie Testraum „SW03“ (2 Fenster) beträgt die Reduktion der Übertemperaturgradstunden je nach energetischem Standard noch ca. 25 % bis 50 %.
- n) Temperaturspitzen der empfundenen Temperatur von über 30 °C werden durch eine Steigerung des energetischen Standards nahezu ausgeschlossen.

Relative Feuchte der Raumluft

In Hinblick auf die relative Feuchte der Raumluft als wesentliches Komfortkriterium sind folgende Punkte zu beachten.

- a) Bei ähnlichem Temperaturniveau zweier Hitzeperioden stellt die Hitzeperiode mit höherer relativer Feuchte der Raumluft ein höheres Risiko für den Diskomfort dar.
- b) Die relative Feuchte der Raumluft liegt im Bestand oft unter 30 % was einem hohen Diskomfort entspricht. Größere Räume schneiden hinsichtlich des Anteils niedriger relativer Feuchte der Raumluft, aber auch hinsichtlich des Anteils hoher relativer Feuchte der Raumluft von über 60 % schlechter ab als kleine Räume.
- c) Der Maximalwert der relativen Feuchte der Raumluft im Winter liegt unter 60 % und nimmt mit zunehmendem Dämmstandard ab.
- d) Kritische Feuchtezustände, die mit mehr als 70 % relative Feuchte der Raumluft in Kategorie D fallen sind selten, bedürfen aber einer detaillierten Analyse.
- e) Die Anzahl an Stunden in Kategorie A und B, also im Bereich von 30 % - 60 % relative Feuchte der Raumluft nimmt mit zunehmendem energetischem Standard deutlich ab was eine Zunahme in Kategorie C und D, also einen steigenden

Diskomfort bedeutet. Dabei kommt es sowohl zu einer Verschiebung in Bereiche niedrigerer wie auch hoher relativer Feuchte der Raumluft.

- f) Durch die Absenkung der maximalen empfundenen Temperaturen (bei gleichbleibender absoluter Feuchte) im Sommer mit zunehmendem energetischem Standard kommt es zu einem Anstieg der relativen Feuchte der Raumluft.
- g) Die Gesamtbewertung des thermischen Komforts wird durch hohe relative Feuchte der Raumluft nicht negativ beeinflusst, da der Einfluss des personenbezogenen Wärmeverlusts durch Verdunstung – welcher durch die absolute Luftfeuchte beeinflusst wird – auf die allgemeine thermische körperliche Behaglichkeit einer Person bei gemäßigten Temperaturen begrenzt ist. Eine um 10 % höhere relative Feuchte der Raumluft wird als genauso warm empfunden wie eine um 0,3 °C höhere empfundene Temperatur.

Vorausgesagtes Mittleres Votum (PMV)

Erfolgt die Optimierung des thermischen Komforts anhand des Vorausgesagten Mittleren Votums (PMV) sind folgende Punkte zu beachten.

- a) In Winter, Frühling und Herbst führt eine Steigerung des energetischen Standards gegenüber dem ungedämmten Bestand zu glatteren Kurvenverläufe von PMV- und PPD-Index und damit zu einer Verbesserung des thermischen Komforts.
- b) Das Raumklima wird im schlechtesten Fall als „etwas kühl“, aber nie als „kühl“ oder „kalt“ empfunden, da das Minimum der PMV-Bewertung bei keiner der Varianten unter -0,2 liegt.
- c) Durch Sanierung Minimal „V2“ kann der Maximalwert des PMV von 2,1 (Kategorie D3) bei Bestand „V1“ auf 1,6 – und damit von „heiß“ auf „warm“ – reduziert werden.
- d) Als Resultat des Anstiegs der empfundenen Temperaturen von 20 °C Richtung 22 °C mit zunehmendem energetischem Standard kommt es zu einer deutlichen Abnahme von bis zu 12,4 % der Gesamtstunden in Kategorie A.
- e) Die Neigung kleiner Räume zu sommerlicher Überwärmung kann gegenüber dem Bestand „V1“ um 2,7 % bei Sanierung Minimal „V2“ bis hin zu 3,2 % bei Sanierung Enerphit „V5“ bezogen auf die Gesamtstundenzahl reduziert werden.
- f) Besonders hohe PMV-Bewertungen nach Kategorie D3 („heiß“) können durch Steigerung des energetischen Standards ausgeschlossen werden.

Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Wird der vorausgesagte Prozent Unzufriedener (PPD) für die Optimierung des thermischen Komforts innen gedämmter Räume herangezogen, so können dafür folgende Punkte und Kennzahlen herangezogen werden.

- a) Durch eine Steigerung des energetischen Standards wird die Anzahl Unzufriedener bzw. der thermische Diskomfort im Sommer deutlich reduziert.
- b) Eine Überschreitung der Grenztemperatur von 27 °C führt zu einem hohen Anteil Unzufriedener (hoher PPD).

- a. Bei 25 °C liegt der Anteil Unzufriedener beim Basisniveau von 5 %.
 - b. Bei der Grenztemperatur von 27 °C liegt der Anteil Unzufriedener bei 20 %.
 - c. Bei 30 °C liegt der Anteil Unzufriedener bei 50 %.
- c) Pro Grad Celsius nimmt die Anzahl Unzufriedener um 10 % zu. Für den Vergleich von Sanierungsvarianten bietet sich folgende Angabe an, die ab einer Temperatur oberhalb von 25 °C gilt:
- a. „+ 1 % Unzufriedene je zusätzlichem zehntel Grad Celsius“,
 - b. „+ 1 % Zufriedene je reduziertem zehntel Grad Celsius“.
- d) Bezogen auf den ungedämmten Bestand ergibt sich folgende Steigerung von Zufriedenen in der Hitzeperiode
- a. 5 % - 10 % bei Sanierung Minimal „V2“,
 - b. 15 % - 20 % bei Sanierung OIB „V3“,
 - c. 17 % - 22 % bei Sanierung Enerphit „V5“.
- e) Pro cm Dämmstoffdicke beträgt die Zunahme an Zufriedenen
- a. 1,5 - 3 % bei kleinen Räumen,
 - b. 1 % bei größeren Räumen,
 - c. 1,4 % im Mittel über alle untersuchten Varianten.
- f) Mit zunehmender Dämmstoffdicke nimmt deren Einfluss auf die Zunahme an Zufriedenen ab.
- g) Das Minimum bzw. Basisniveau an Unzufriedenen liegt stets bei 5 %.
- h) Der Höchstwert an Unzufriedenen beträgt
- a. 80 % bei kleinen Räumen
 - b. 65 % bei etwas größeren Räumen
- i) Eine negative Beurteilung des thermischen Komforts kleiner Räume allein auf die sommerliche Überwärmung zu stützen ist nicht ohne weiteres zulässig, da trotz hohem Diskomfort im Sommer der Anteil von Stunden hohen thermischen Komforts (Kategorie A) über das Jahr ebenfalls sehr hoch ist.
- j) Ein steigender energetischer Standard führt bei der PPD-Bewertung zu einer Verschiebung von Stunden aus Kategorie A in Kategorie B, aber auch zu einer Reduktion kritischer Stunden aus Kategorie D
- k) Bereits Sanierung Minimal „V2“ führt zu einer deutliche Reduktion des PPD von 2,8 % in Kategorie D bezogen auf die Gesamtstundenanzahl.
- l) Der Maximalwert Unzufriedener liegt beim Bestand „V1“ mit 65 % bei kleinen Räumen deutlich tiefer als bei größeren Räumen mit 80 %.
- m) Unabhängig von der Raumgeometrie sinkt der Maximalwert Unzufriedener hin zu Sanierung Enerphit „V5“ auf 50 %.
- n) Der Einfluss der Raumgeometrie auf den thermischen Komfort nimmt mit zunehmendem energetischem Standard ab.
- o) Durch Innendämmung wird der Komfort besonders kritischer kleiner Räume auf das Komfortniveau größerer Räume angehoben.

- p) Durch eine Steigerung des energetischen Standards werden sowohl Temperaturmaxima wie auch die Dauer kritischer Temperaturzustände reduziert.
- q) Die Steigerung des thermischen Komforts kritischer Raumklimabedingungen durch thermische Sanierung geht auf Kosten von Qualitätseinbußen in Kategorie A.
- r) Wird allein der thermische Komfort, ausgedrückt in PPD, als Kriterium für eine Sanierungsentscheidung herangezogen und sind weitere Bewertungskriterien wie Energieeffizienz nicht relevant, so bietet sich für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) die Sanierung Minimal „V2“ an, bei der die Anteile in Kategorie D um 1,1 % bezogen auf die Gesamtstundenzahl gesenkt werden der Effekt der Verschiebung von Kategorie A in B mit -0,1 % aber sehr gering ausfällt.

3 Einfluss des Raumklimas auf die Innendämmung

3.1 Einleitung

Die dauerhafte und schadfreie Funktionstüchtigkeit – also die Gebrauchstauglichkeit – einer Innendämmung wird maßgeblich durch das Innenraumklima beeinflusst. Deshalb ist das Verständnis dieser Beziehung zwischen Innendämmung und Innenraumklima von besonderer Bedeutung. Der Einfluss des Innenraumklimas auf die Gebrauchstauglichkeit von Innendämmung wird untersucht und die Frage beantwortet welche Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von Simulationsberechnungen mit Innendämmung bzw. welche Empfehlungen für die Bemessung und Beurteilung einer Innendämmung hinsichtlich des Innenraumklimas formuliert werden können. Kritische, mit großer Wahrscheinlichkeit zu Schäden führende Rahmenbedingungen werden identifiziert und Grenzen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit aufgezeigt. Die Untersuchungen werden für Bestandsgebäude mit Vollziegelmauerwerk und Wohnnutzung durchgeführt.

3.2 Vorbemerkung

3.2.1 Allgemein

Mit dem Fokus auf ‚Erkenntnisgewinn durch Erklärung und Prognose‘ [43] wird die forschungsleitende Frage (B) nach dem Einfluss des Raumklimas auf die Innendämmung untersucht, wobei die Gebrauchstauglichkeit einer Innendämmung als Ziel definiert wird. Als theoretische Grundlage werden dafür die wesentlichen Einflussfaktoren und maßgeblichen Ursachen-Wirkungs-Beziehungen identifiziert, um sie so zu gestalten, dass das gesteckte Ziel realisiert werden kann.

Es wird auf der Untersuchung realisierter und messtechnisch begleiteter Projekte aufgebaut. Erkenntnisse werden in dieser Arbeit anhand von hygrisch-thermischen Simulationsberechnungen gewonnen. Hierzu werden Parameterstudien durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgen unter Zuhilfenahme des Softwarepakets Delphin. Die Berechnungsergebnisse werden außerhalb dieser Arbeit anhand von Messungen am eigenen Prüfstand – in dem seit 2014 kontinuierlich 4 Innendämmsysteme messtechnisch erfasst werden – validiert.

Als wesentliche Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen des Untersuchungsgegenstands sind Außenklima, Innenraumklima und die Innendämmung zu nennen.

Wärme- und Feuchteprozesse werden durch Baustoffkenndaten (wie Wärmeleitfähigkeit, Feuchteleitfähigkeit, Diffusionswiderstand, hygroskopisches Verhalten und spezifische Wärmekapazität) – sowohl der Bestandskonstruktion, wie auch der Innendämmung

bestimmt. Wirkungsgrößen sind Außen- und Innenraumklima, Orientierung und direkte solare Einstrahlung. Lufttemperatur und Luftfeuchte definieren durch Temperatur- und Dampfdruckdifferenz zwischen Innen- und Außenraum maßgeblich die Wärme- und Feuchteströme in der Konstruktion. Aus diesen resultieren die sich in der Konstruktion und auf deren Oberflächen einstellenden Temperatur- und Feuchtezustände.

Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit erfolgt die Analyse des hygrothermischen Verhaltens ausgewählter Konstruktionen mit hoher Relevanz für den Sanierungsbereich, wobei die Parameter Dämmsystem und Dämmstoffdicke, Außenklima bzw. Standort, Orientierung sowie Schlagregenbelastung und Verschattung für unterschiedliche Innenraumklimata untersucht werden. Ziel der Simulationsberechnungen ist die Beurteilung des langfristigen Verhaltens der Temperatur- und Feuchtezustände im und am Bauteil. Für beeinflussbare Variablen wie Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte werden Grenzwerte definiert und damit die Frage beantwortet, bei welchen Innenraumluftkonditionen bzw. ‚inneren Lasten‘ Schäden an und in der Konstruktion ausgeschlossen werden können. Weiter wird die Frage beantwortet, bis zu welchen Dämmstoffdicken die untersuchten Innendämmsysteme ohne Bedenken eingesetzt werden können bzw. ab wann eine detaillierte Betrachtung jedenfalls erforderlich ist.

Basis für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der Innendämmsysteme bilden die angeführten Normen sowie die Merkblätter der WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V..

- WTA Merkblatt 6-1-01 *Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen* [44]
- WTA Merkblatt 6-2-01 *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse* [45]
- WTA Merkblatt 6-3-05 *Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos* [46]
- WTA Merkblatt 6-4-09 *Innendämmung nach WTA I – Planungsleitfaden* [47]
- WTA Merkblatt 6-4-16 *Innendämmung nach WTA I – Planungsleitfaden* [48]
- ÖNorm B 8110-2 *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz* [49]
- ÖNorm EN ISO 13788 *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren Berechnungsverfahren* [50]
- ÖNorm EN 15026 *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation* [51]

3.2.2 Dokumentation

Das WTA Merkblatt 6-2-14 *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse* [52] fordert die ausführliche Dokumentation von numerischen Simulationsberechnungen als Voraussetzung zur Beurteilung und Überprüfung der erzielten Ergebnisse. Als Grundregel ist dabei zu beachten, dass die Dokumentation so ausführlich gehalten wird, dass einem Dritten aufgrund der getätigten Angaben eine Nachrechnung ermöglicht wird. Eine derartige Dokumentation nach [52] wird im Rahmen dieser Arbeit realisiert, wobei folgende Punkte enthalten sind:

Beschreibung des behandelten Problems

- Die Problemstellung und die angestrebten Ziele der Simulationsrechnungen werden beschrieben (siehe Kapitel 1.1, 1.2.1 und 1.3) und eine Skizze des diskretisierten Modells (siehe Abbildung 60 und Kapitel 1.2.5) zur Veranschaulichung des Problems wird beigefügt.
- Die Angabe der Anfangsbedingungen, insbesondere der anfänglichen Temperaturverteilung, der Wassergehalte (siehe Kapitel 1.2.7) und des Betrachtungszeitraums (siehe Kapitel 1.2.6).
- Die Angaben der angesetzten Randbedingungen, insbesondere während des Berechnungszeitraums maßgebenden Temperatur- und Feuchtezustände, der Bauteilorientierung, der Strahlung und der Schlagregelmengen (siehe Kapitel 1.2.9.)
- Die Angabe der verwendeten Stoff- und Transportkennwerte der gewählten Materialien und der zugehörigen Bezugsquellen (siehe Kapitel 1.2.8).

Beschreibung des eingesetzten Berechnungswerkzeugs.

- Angabe des für die Berechnung herangezogenen Programms. Berücksichtigte Transportphänomene und gewählter Aufbau des numerischen Gitters und gewählte Größe der Zeitschritte (siehe Kapitel 1.2.3).

Charakteristische Zusammenfassung der Ergebnisse

- Erläuterung des Bauteilaufbaus und der zugehörigen Materialkenndaten (siehe Kapitel 1.2.4, 1.2.5 und 1.2.8).
- Zusammenstellung der an den Bauteilgrenzen maßgeblichen Klimadaten (siehe Kapitel 1.2.9).
- Zusammenstellung der für die Bewertung wichtigen Ergebnisse, wie z.B. Temperaturfelder und Feuchtefelder zu ausgewählten Zeitpunkten und/oder deren zeitlichen Verläufe (siehe Kapitel 1.4.1).
- Bewertung der Ergebnisse (siehe Kapitel 1.4) unter Angabe der angelegten Bewertungskriterien (siehe Kapitel 1.2.10).
- Angabe der Gültigkeitsgrenzen der Berechnungsergebnisse (siehe Kapitel 1.5).

3.2.3 Berechnungswerkzeug

Durch die in den Simulationsberechnungen berücksichtigten Feuchte- und Wärmetransportprozesse können quantitative Aussagen zum hygrisch-thermischen Verhalten von Bauteilen unter definierten Klimabedingungen getroffen werden. Die Berechnungen werden mit dem Programmpaket DELPHIN 5.8.3 [53] durchgeführt. Das DELPHIN-Programm verwendet das Modell des gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Lufttransports in kapillarporösen Baustoffen, was bedeutet, dass sich der Wärme- und Feuchtetransport durch die Konstruktion sowie die Feuchtespeicherung in der Konstruktion durch die Lösung von Bilanzgleichungen numerisch analysieren lassen.

Der Berechnung werden Klimabedingungen in detaillierter Form zu Grunde gelegt, d.h. die Klimakomponenten Temperatur, relative Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung und Niederschlag, Windrichtung und Windgeschwindigkeit kommen als Jahresverläufe auf Stundenbasis zur Anwendung (siehe Kapitel 1.2.9). Das Berechnungsverfahren, die theoretischen Grundlagen zur Simulationssoftware sowie Vereinfachungen und Einschränkungen sind in [54] beschrieben.

3.2.4 Varianten und Parameter

Bei Simulationsberechnungen wie sie in dieser Arbeit durchgeführt werden, führt die Untersuchung mehrere Parameter rasch zu einer Vielzahl von Varianten. Da die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse nur einen Auszug der sehr umfangreichen Simulationsberechnungen darstellen (z.B. dargestellt: Vollziegelmauerwerk „VZ4830“, nicht dargestellt z.B.: Stahlbeton „SB2012“) und die Untersuchung künftig auch auf weitere Parameter (z.B. weitere Bestandskonstruktionen, Standorte, Innenraumklimata) ausgeweitet werden soll wird für die Bezeichnung der Simulationsdateien eine eindeutige Schreibweise erforderlich. Aus diesem Grund wird für die Bezeichnung der Varianten eine Zusammensetzung von Kürzeln gewählt, welche die wesentlichen Simulationsparameter wiedergeben. Diese wird nachfolgend beschrieben. Dadurch wird eine eindeutige Zuordnung sichergestellt und eine automationsgestützte Auswertung möglich die zu jedem Zeitpunkt nachvollzogen, reproduziert und auf weiterführende Simulationsberechnungen ausgeweitet werden kann. Zur Unterstützung bei der Beurteilung der Ergebnisse dient „Lesezeichen B“ mit einer Legende.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Variante Vollziegelmauerwerk „VZ4830“ betrachtet, da diese derzeit einen der häufigsten Anwendungsfälle von Innendämmung darstellt und deshalb von besonderer Bedeutung ist. Darüber hinaus enthält Anhang X auf einem Datenträger eine Übersicht aller durchgeführten Simulationsberechnungen und analysierten Varianten sowie die vollständige Zusammenstellung der Simulationsfiles, der Klimadatenfiles, der Ergebnisfiles und der Arbeitsanweisungen der für die Auswertung und Analyse entwickelten R- und VBA-Code.

Die Bezeichnung der Varianten wird folgend anhand eines Beispiels erläutert, wobei auf die einzelnen Kürzel nachfolgend näher eingegangen wird.

Bestandskonstruktion_Innendämmsystem_**Dämmstoffdicke**_Aussenklima_**Innenklima**_Schlagregen und Solarstrahlung

VZ4830_ID01_06_AK01_IK01_SR01.dpj

Kürzel „VZ4830“ steht für die untersuchte Bestandskonstruktion Vollziegel, mit einer Wanddicke von 48 cm Richtung Westen und 30 cm Richtung Norden. Als Kennzeichnung für weiterführende Studien werden die Kürzel „HZ“ Hohlziegel, „SZ“ Sichtziegelmauerwerk, „SB“ Stahlbeton und „NS“ Naturstein für Bestandskonstruktionen festgelegt.

Kürzel „ID“ beschreibt das Innendämmsystem. „ID00“ steht für die nicht gedämmte Bestandswand, „ID01“ für das Innendämmsystem Mineralfaserplatte, „ID02“ für das Innendämmsystem Calciumsilikatplatte.

Auf die Beschreibung der Art des Innendämmsystems folgt die Angabe der Dämmstoffdicke. Bei der ungedämmten Bestandswand steht hier folglich „00“. Für das Innendämmsystem „ID01“ wurden beispielsweise Dämmstoffdicken mit 3 cm („03“), 6 cm („06“), 9 cm („09“) und 12 cm („12“) festgelegt.

Kürzel „AK“ Nachfolgend wird das berücksichtigte Aussenklima benannt. Zur Anwendung kommen halbsynthetische Klimadatensätze (HSKD), wobei „AK03“ für HSKD_{Wien,mittel}, „AK05“ für HSKD_{Klagenfurt,kalt} und „AK16“ für HSKD_{Wien,kalt} steht. Detailliert wird auf die Klimadaten im Kapitel Außenklima eingegangen.

Kürzel „IK“ beschreibt das für die Berechnungen festgelegte Innenraumklima. Für die Berechnungen wurden mehrere Datensätze für das Innenraum-Klima festgelegt. Eine Übersicht sowie eine detaillierte Beschreibung der Innenraumklimata „IK01“ bis „IK26“ gibt Kapitel Innenraumklima 3.2.9.2.

Kürzel „SR“ Im Kürzel „SR“ wird in der ersten Zahl der Parameter Schlagregen und in der zweiten Zahl der Parameter direkte Solarstrahlung beschrieben. Wobei „0“ jeweils für „nicht berücksichtigt“ und „1“ für „berücksichtigt“ steht. Es ist also wie folgt zu lesen:

- „SR00“ ist eine Variante ohne Schlagregen, ohne direkte Solarstrahlung,
- „SR01“ ist eine Variante ohne Schlagregen, mit direkter Solarstrahlung,
- „SR11“ ist eine Variante mit Schlagregen, mit direkter Solarstrahlung und
- „SR10“ ist eine Variante mit Schlagregen, ohne direkte Solarstrahlung.

Da diesen beiden Parametern hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit von Innendämmung eine besondere Bedeutung beizumessen sind, wird in Kapitel Schlagregen und Direkte Solarstrahlung nochmals darauf eingegangen.

3.2.5 Untersuchte Bereiche und Größen

Als mögliche Ausgaben für die Auswertung werden in WTA Merkblatt 6-5-14 [55] unter 2.6 folgende mögliche kritische Positionen aufgezählt.

- die kalte Seite der Dämmung
- der Klebemörtel
- der Bestandsinnenputz
- die innere Wandoberfläche
- die Bestandskonstruktion.

Nach WTA Merkblatt 6-5-14 [55] ist vorrangig die Nord- und die Hauptschlagregenseite zu berücksichtigen. Auf Basis dieser Vorgaben wird die Orientierung der Konstruktion mit den nachfolgend beschriebenen Positionen (Abbildung 60) und Bereichen (Abbildung 61) für die Ausgabe festgelegt. Für diese, in Abbildung 60 und Abbildung 61, beschriebenen Positionen

und Bereiche werden jeweils die Zeitverläufe Temperatur, relative Feuchte, Wassergehalt, Frost-Tauwechsel, Feuchtesättigungsgrad sowie das Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen als Ergebnisgrößen der Simulationsberechnungen erfasst.

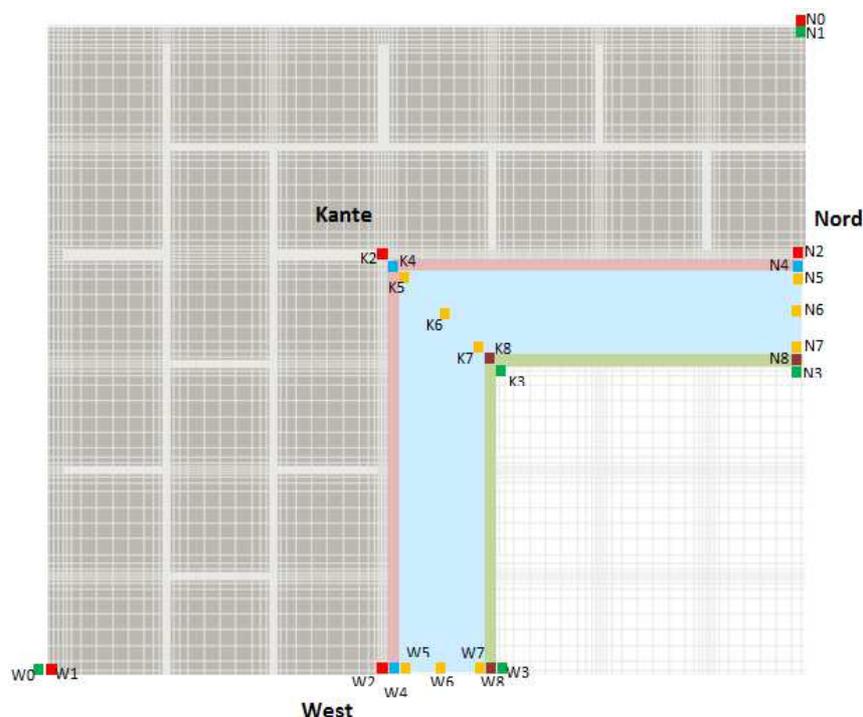


Abbildung 60 Untersuchte Positionen (ohne Maßstab)

„N0“ Nord Außen-Oberfläche (oberste Materialschicht)	„W0“ West Außen-Oberfläche (oberste Materialschicht)	
„N1“ Nord Außen-Putz	„W1“ West Außen-Putz	
„N2“ Nord Innen-Putz	„W2“ West Innen-Putz	„K2“ Kante Innen-Putz
„N3“ Nord Innen-Oberfläche (oberste Materialschicht)	„W3“ West Innen-Oberfläche (oberste Materialschicht)	„K3“ Kante Innen-Oberfläche (oberste Materialschicht)
„N4“ Nord Klebeschicht	„W4“ West Klebeschicht	„K4“ Kante Klebeschicht
„N5“ Nord Dämmstoffbereich auf der Seite zum Mauerwerk (1. cm)	„W5“ West Dämmstoffbereich auf der Seite zum Mauerwerk (1. cm)	„K5“ Kante Dämmstoffbereich auf der Seite zum Mauerwerk (1. cm)
„N6“ Nord Dämmstoffbereich in Dämmstoffmitte	„W6“ West Dämmstoffbereich in Dämmstoffmitte	„K6“ Kante Dämmstoffbereich in Dämmstoffmitte
„N7“ Nord Dämmstoffbereich auf der Seite zum Innenraum	„W7“ West Dämmstoffbereich auf der Seite zum Innenraum	„K7“ Kante Dämmstoffbereich auf der Seite zum Innenraum
„N8“ Nord Finish	„W8“ West Finish	„K8“ Kante Finish

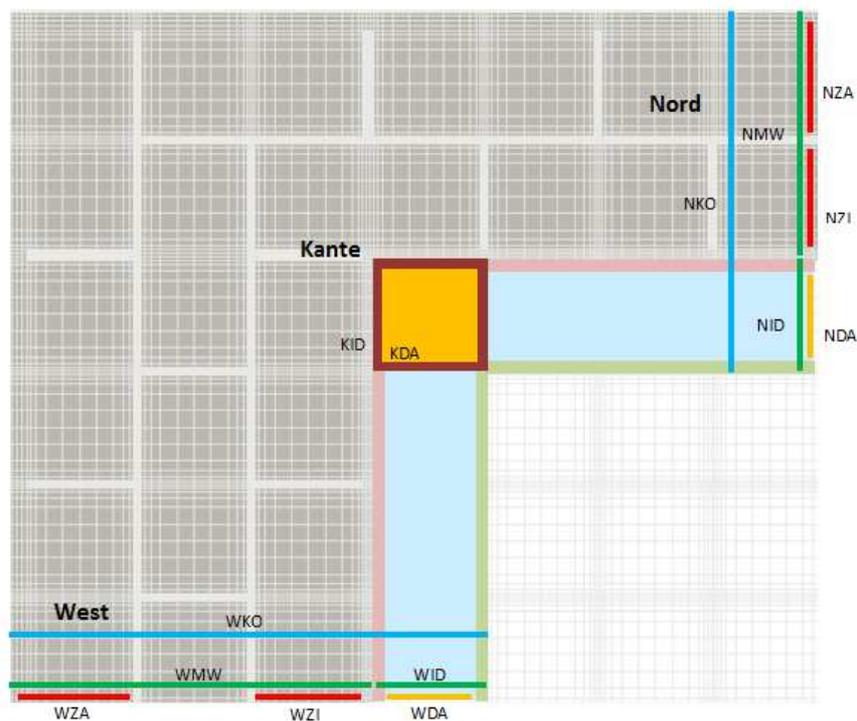


Abbildung 61 Untersuchte Bereiche (ohne Maßstab)

- „**NKO**“ Nord Konstruktion gesamt (Mauerwerk + Innendämmsystem)
- „**NMW**“ Nord Mauerwerk gesamt (Ziegel, Mörtel + Putz)
- „**NZA**“ Nord außenliegender Ziegel
- „**NZI**“ Nord innenliegender Ziegel
- „**NID**“ Nord Innendämmsystem
- „**NDA**“ Nord Dämmstoff
- „**WKO**“ West Konstruktion gesamt (Mauerwerk + Innendämmsystem)
- „**WMW**“ West Mauerwerk gesamt (Ziegel, Mörtel + Putz)
- „**WZA**“ West außenliegender Ziegel
- „**WZI**“ West innenliegender Ziegel
- „**WID**“ West Innendämmsystem (gleiche Dämmstoffdicke wie „NID“)
- „**WDA**“ West Dämmstoff
- „**KID**“ Kante Innendämmsystem
- „**KDA**“ Kante Dämmstoff

3.2.6 Startzeitpunkt und Dauer der Simulation

Die Simulationsberechnungen starten jeweils mit 1. Jänner. Nach WTA Merkblatt 6-5 [55] wird eine Simulationsdauer über mindestens 3 Jahre, vorzugsweise bis zum Erreichen des „eingeschwungenen Zustands“ gefordert. Auf Grund des geplanten Umfangs der Studie wird auf Basis der Ergebnisse erster Testrechnungen wie sie in WTA Merkblatt 6-1-01 [44] empfohlen werden – als Kompromiss zwischen der Forderung nach einem „Eingeschwungenen Zustand“ entsprechend WTA Merkblatt 6-5 [55] und der prognostizierten Rechenzeit und den damit einhergehenden erforderlichen Ressourcen – die Simulationsdauer mit 5 Jahren festgelegt.

3.2.7 Anfangsbedingungen

Zu Beginn der Berechnungen werden die Anfangsbedingungen für Feuchte und Temperatur nach WTA Merkblatt 6-5 [55] mit einer einheitlichen Anfangstemperatur von 10 °C als Mitteltemperatur zwischen Innen- und Außenklima sowie unter der Annahme lufttrockener Verhältnisse eine Gleichgewichtsfeuchte bei 80 % relativer Feuchte für alle Bauteilschichten entsprechend WTA Merkblatt 6-5 [55] festgelegt.

3.2.8 Materialdaten

Die Simulationsberechnung erfolgt unter Verwendung von Materialfunktionen, die in der Materialdatenbank des Programmpakets enthalten sind und am Bauphysikalischen Forschungs- und Entwicklungslabor in Dresden gemessen wurden.

3.2.9 Klimadaten

3.2.9.1 Außenklima

Die äußeren Klimawirkungen auf die Gebäudehülle werden durch die Außenlufttemperatur, die Strahlung, die relative Feuchte der Außenluft und den Niederschlag beschrieben. Für Berechnungen, bei denen Strahlung und Niederschlag berücksichtigt werden, sind aufgrund des nichtlinearen Einflusses dieser beiden Größen meteorologische Daten in Form von Stundenmittelwerten erforderlich. [56]

Als gut gesicherte Datengrundlage können hierfür sog. „halbsynthetische Klimadatensätze“ (HSKD) [57] herangezogen werden. Im Normalfall werden für wärme- und feuchtigkeitstechnische Simulationsberechnungen sog. „mittlere Jahre“ verwendet. Diese sind dadurch charakterisiert, dass die Monatsmittelwerte der HSKD aller meteorologischen Größen mit den im langjährigen Schnitt am Gebäudestandort auftretenden Monatsmittelwerten übereinstimmen [58]. Diese Klimadatensätze erfüllen grundsätzlich die Anforderungen nach WTA Merkblatt 6-5 [55] für instationäre Berechnungen.

Um das Verhalten einer Baukonstruktion oder Bauwerks unter extremen Bedingungen zu untersuchen, sind „mittlere Jahre“ (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) aber unmittelbar nicht geeignet, da sie extreme Wettersituationen – wenn überhaupt – nur eher zufällig enthalten [58].

Für den Standort Wien und Klagenfurt wurden deshalb von Ao. Univ. Prof. i. R. Dipl.-Ing. Klaus Kreč für die feuchtigkeitstechnischen Berechnungen Extremjahre für den Standort Wien mit $HSKD_{\text{Wien,kalt}}$ „AK16“ und den Standort Klagenfurt mit $HSKD_{\text{Klagenfurt,kalt}}$ „AK05“ konstruiert, wobei von den „mittleren Jahren“ (HSKD) ausgegangen wird, die Zuge des Forschungsprojekts GEBIN [8] entwickelt wurden.

Da die Klimawirkungen auf die Gebäudehülle maßgeblich für das Verhalten einer Baukonstruktion sind und damit letzten Endes die Gebrauchstauglichkeit definieren, wird nachfolgend die Vorgangsweise für die Konstruktion der Klimadatensätze aus der Arbeit ‚Konstruktion von "kalten Jahren" für feuchtigkeitstechnische Berechnungen‘ [58] zitiert:

Zum einen soll ein „kaltes Jahr“ eine Kälteperiode enthalten. Zum anderen wird gefordert, dass der Jahresgang außerhalb dieser Kälteperiode tunlichst mit dem „mittleren Jahr“ übereinstimmen soll. Letztere Forderung resultiert aus dem Wunsch, die Ergebnisse unter Zugrundelegung des „mittleren Jahrs“ gut mit jenen vergleichen zu können, die sich unter Zugrundelegung des „kalten Jahrs“ ergeben. [58]

Da ein halbsynthetischer Klimadatensatz – wie jedes Testreferenzjahr – durch Aneinanderreihung von geeigneten Monaten gebildet wird, ist die Einführung der Kälteperiode mit der Suche nach einem kalten Monat verknüpft. Da sowohl für Wien als auch für Klagenfurt der Januar der im langjährigen Schnitt kälteste Monat ist, werden bei der Bildung des kalten Jahrs die Vorgaben für Januar geändert und die Vorgaben für alle anderen Monate des Jahrs im Vergleich zum mittleren Jahr gleich gehalten. [58]

Bezüglich der Definition eines „kalten Jahrs“ erweist sich die Tabelle 28 der ÖNorm B 8110-2:2003 [49] geeignet. In dieser Tabelle sind „mittlere jährliche Tiefstwerte des Temperatur-Tagesmittels“ für ausgewählte Orte in Österreich aufgelistet. Eine Analyse der Bedeutung dieser Werte unter Zugriff auf die ÖNorm EN ISO 13788 [50] führt auf folgendes Ergebnis:

Unter Zugrundelegung einer 30-jährigen Datenreihe wird für jedes Jahr der kleinste Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur notiert. Die Mittelung über diese 30 Minimalwerte führt auf die in der Tabelle 28 der ÖNorm B 8110-2 [49] angeführten Werte. [58]

Unter Berücksichtigung des Umstands, dass das „mittlere“ HSKD auf 30-jährigen Monatsmittelwerten gegründet ist, ergibt sich für die Konstruktion des „kalten“ HSKD die Zusatzforderung, dass der in Tab. 3 der ÖNorm B 8110-2:2003 [49] angegebene Tagesmittelwert genau an einem Tag des Datensatzes erreicht wird. Dieser Forderung wird entsprochen, indem der Monatsmittelwert des Januar derart abgesenkt wird, dass der Tagesmittelwert des kältesten Januar-Tages mit dem in Tab. 3 der ÖNorm B 8110-2 [49] für den jeweiligen Standort angegebenen Wert übereinstimmt. Zudem kommen nur Monate in Frage, in denen der kälteste Tag innerhalb einer länger dauernden Kälteperiode liegt. [58]

Ergebnis

Sowohl für Wien als auch für Klagenfurt stellt sich heraus, dass die im Vorfeld für die Erzeugung der HSKD halbautomatisch erstellten Testreferenzjahre für das „mittlere“ und das „kalte“ Jahr identisch sind. Die Einhaltung der Anforderungen der ÖNorm B 8110-2 [49] für

das „kalte“ Jahr wird allein im Zuge der Anpassung des Monatsmittelwerts für Januar während der Transformation der HSKD aus den Testreferenzjahren erreicht. Dieser für Vergleichsrechnungen hoch willkommene Umstand ist u. a. dem Umstand geschuldet, dass bereits die „mittleren“ HSKD für beide Standorte im Januar ausgeprägte Kälteperioden enthalten. [58]

„Kaltes Jahr“ für Wien

Das im Rahmen des Forschungsprojekts GEBIN entwickelte HSKD fußt auf den langjährigen, im Zeitraum zwischen 1. 1. 1978 und 31. 12. 2007 an der Station Wien, Hohe Warte gemessenen meteorologischen Daten und ist Ausgangspunkt für die Entwicklung des „kalten Jahrs“. Gemäß Tab. 3 der ÖNorm B 8110-2 [49] hat das kalte Jahr einen Tag mit einem Tagesmittelwert von $-9,4\text{ °C}$ (Wien, 19. Bezirk) zu enthalten. Dieser Tagesmittelwert soll im Januar auftreten. [58]

Abbildung 62 zeigt die Tagesmaxima, Tagesmittelwerte und Tagesminima des erzeugten „kalten“ HSKD.

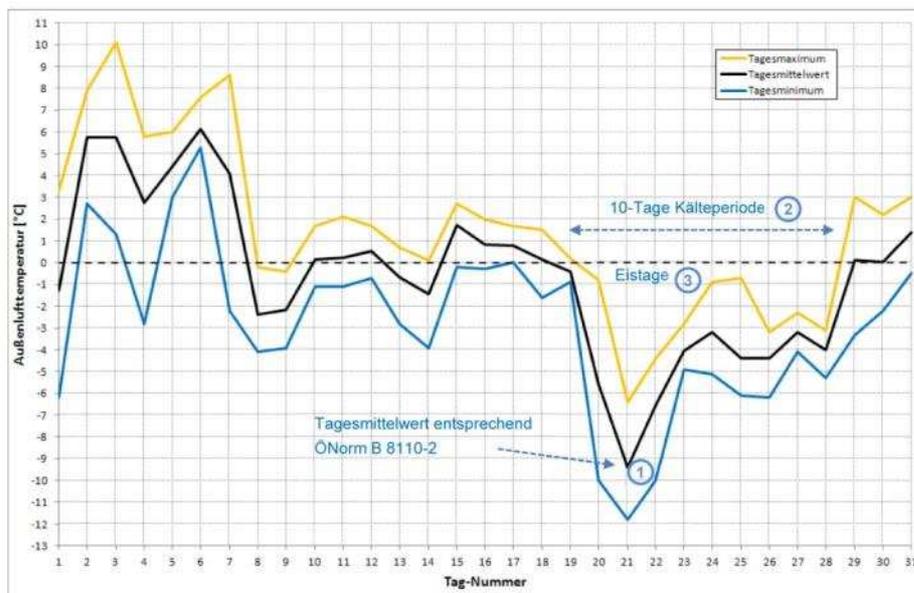


Abbildung 62 „kaltes Jahr“ für Wien; Tagesmaxima, Tagesmittelwerte und Tagesminima im Januar (Quelle: [58])

Der kälteste Tag des Januars tritt am 21. 1. mit einem Tagesmittelwert von $-9,4\text{ °C}$ (1) auf. Die Forderung der ÖNorm B 8110-2 [49] ist somit erfüllt. Der 21. Januar liegt in einer von 19. bis 28. Januar – also 10 Tage – andauernden Kälteperiode (2). Vom 20. bis zum 28. Januar handelt es sich dabei um Eistage (3), also Tage, deren Maximalwerte unter dem Gefrierpunkt liegen. [58]

Abbildung 63 zeigt den Vergleich des „kalten“ mit dem „mittleren“ Jahr anhand der Darstellung der Tagesmittelwerte.

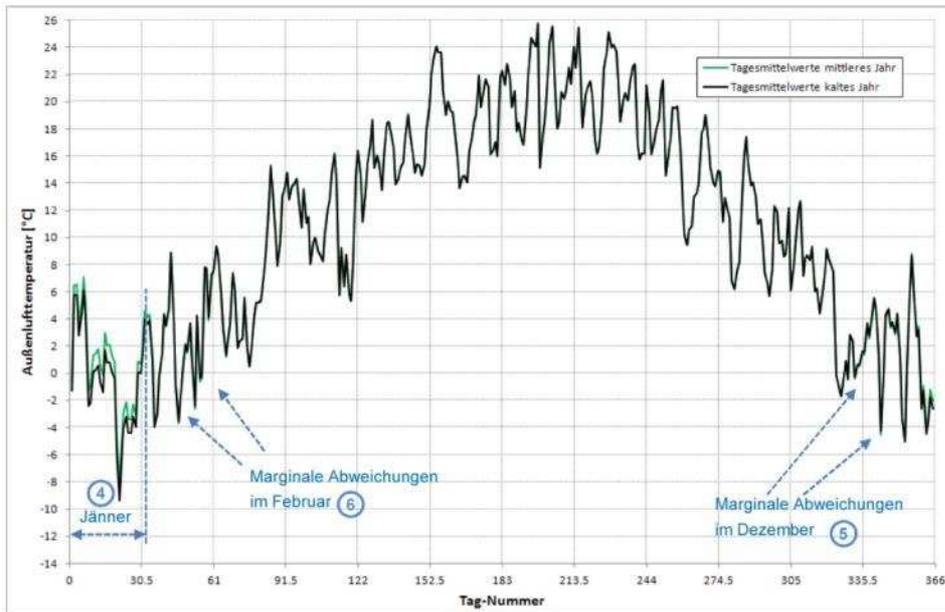


Abbildung 63 Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur für Wien; Vergleich „mittleres“ (grün) und „kaltes“ Jahr (schwarz) (Quelle: [58])

Es zeigt sich, dass sich das „kalte“ Jahr nur durch tiefere Temperaturen im Januar (4) vom „mittleren“ Jahr unterscheidet. Die übrigen Monate sind – abgesehen von marginalen Verschiebungen im Dezember (5) und Februar (6) – identisch. [58]

„Kaltes Jahr“ für Klagenfurt

Das im Rahmen des Forschungsprojekts GEBIN entwickelte HSKD fußt auf den langjährigen, im Zeitraum zwischen 1. 1. 1978 und 31. 12. 2007 an der Station Klagenfurt, Flughafen gemessenen meteorologischen Daten und ist Ausgangspunkt für die Entwicklung des „kalten Jahrs“. Gemäß Tab. 3 der ÖNorm B 8110-2 [49] hat das kalte Jahr einen Tag mit einem Tagesmittelwert von $-12,8\text{ °C}$ zu enthalten. Dieser Tagesmittelwert soll im Januar auftreten. [58] Die folgende Abbildung 64 zeigt die Tagesmaxima, Tagesmittelwerte und Tagesminima des erzeugten „kalten“ HSKD.



Abbildung 64 „kaltes Jahr“ für Klagenfurt; Tagesmaxima, Tagesmittelwerte und Tagesminima im Januar (Quelle: [58])

Der kälteste Tag des Januars tritt am 9. 1. mit einem Tagesmittelwert von $-12,8\text{ °C}$ (7) auf. Die Forderung der ÖNorm B 8110-2 [49] ist somit erfüllt. Der 9. Januar liegt in einer von 4. bis 30. Januar – also 27 Tage andauernden – Kälteperiode (8). Hierbei handelt es sich fast durchgehend um Eistage (9), also Tage, deren Maximalwerte unter dem Gefrierpunkt liegen. Lediglich am 15., 17. und 20. Januar wird der Gefrierpunkt vom Tagesmaximum geringfügig überschritten. [58] Die folgende Abbildung 65 zeigt den Vergleich des „kalten“ mit dem „mittleren“ Jahr anhand der Darstellung der Tagesmittelwerte.

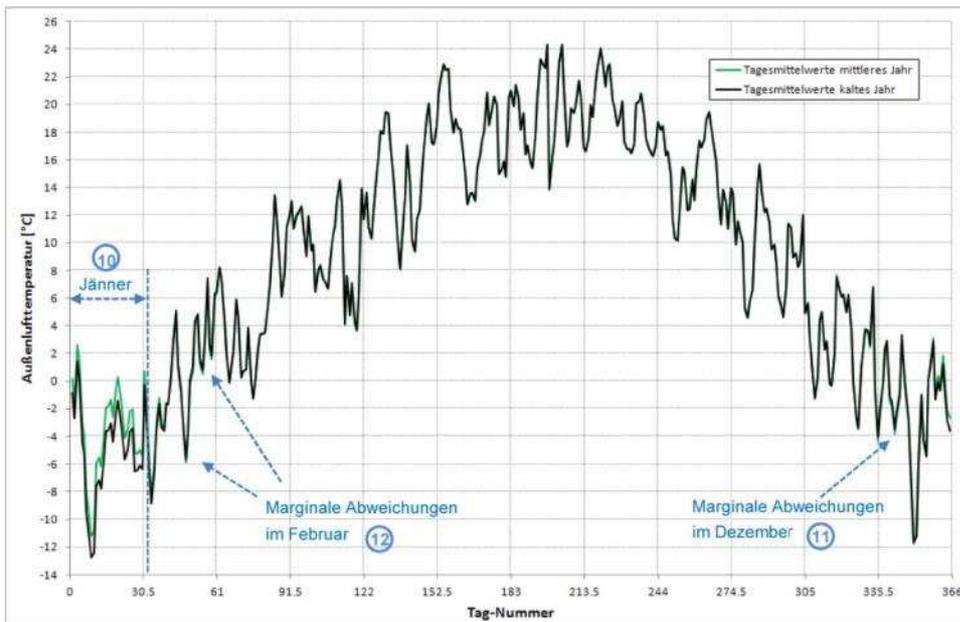


Abbildung 65 Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur für Klagenfurt; Vergleich „mittleres“ und „kaltes“ Jahr (Quelle: [58])

Es zeigt sich, dass sich das „kalte“ Jahr sich nur durch tiefere Temperaturen im Januar (10) vom „mittleren“ Jahr unterscheidet. Die übrigen Monate sind – abgesehen von marginalen Verschiebungen im Dezember (11) und Februar (12) – identisch. [58]

Schlagregen

Während die Außenlufttemperatur und –feuchte direkt aus den Klimadatenätzen übernommen werden kann, sind Strahlung und Niederschlag auf die Ausrichtung des betrachteten Bauteils umzurechnen. [45] Die Schlagregenbelastung von Fassaden hängt von den lokalen Verhältnissen (Bebauung und Umgebung, Geländetopographie etc.) und vom betrachteten Fassadenabschnitt ab. In einer ersten Näherung kann die Schlagregenbelastung aus Normalregen (Abbildung 66) und Windgeschwindigkeit (Abbildung 67) bestimmt werden. [45] Für die Berechnungen wird dafür auf das im Programmpaket implementierte „Standard Rain Model“ [59][59][59][59][59][59] zurückgegriffen, wobei die Hauptwindrichtung am Standort und die Orientierung des Bauteils berücksichtigt wird. Um den Einfluss des Schlagregens hinsichtlich der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit abschätzen zu können werden die Simulationsberechnungen sowohl „mit“ als auch „ohne“ Schlagregen durchgeführt.

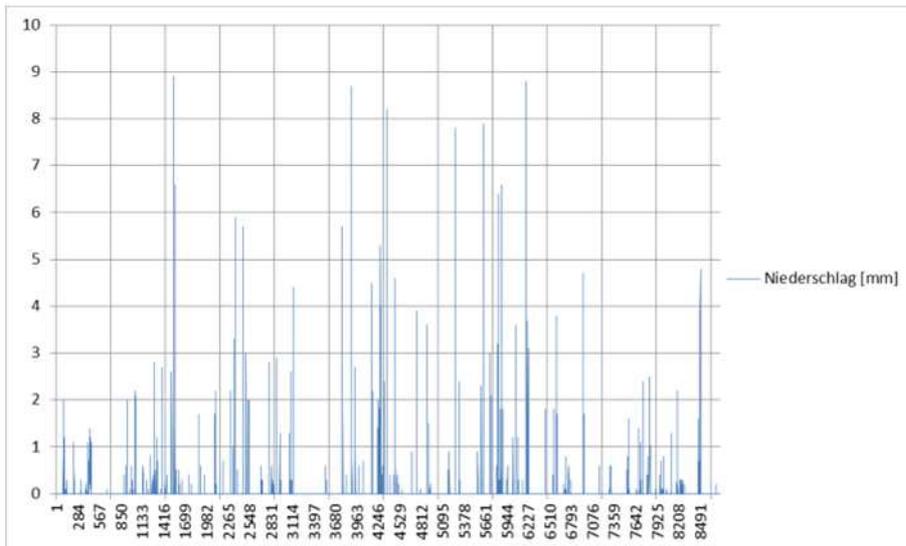


Abbildung 66 Niederschlag als Eingangsgröße für die Berechnung der Schlagregenbelastung

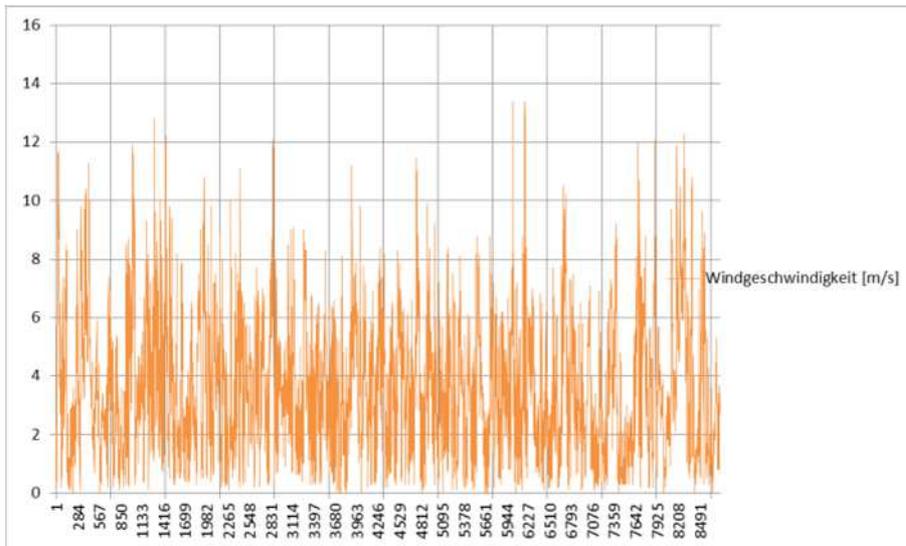


Abbildung 67 Windgeschwindigkeit als Eingangsgröße für die Berechnung der Schlagregenbelastung

Direkte Solarstrahlung

Sonneneinstrahlung auf die Außenoberfläche führt je nach Intensität, Ausrichtung, Farbgebung der Oberfläche und Wandaufbau zu einer Erwärmung des Bauteils. [47] Diese Erwärmung ermöglicht eine beschleunigte Trocknung von feuchten Bauteilen und spielt deshalb für das Feuchtemanagement bei Konstruktionen mit Innendämmung eine besondere Rolle. Um den Einfluss der Sonneneinstrahlung hinsichtlich der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit abschätzen zu können werden die Simulationsberechnungen sowohl mit als auch ohne direkte Solarstrahlung durchgeführt. Die kurzwellige Direktstrahlung wird dabei als Funktion von Azimut und Höhe des Sonnenstands für Orientierung und Neigung des Bauteils aus der Globalstrahlung umgerechnet. [59][59][59][59][59][59][59][59][59][59, 60]

3.2.9.2 Innenraumklima

Die Gebrauchstauglichkeit einer Innendämmung wird maßgeblich durch das Innenraumklima beeinflusst. ÖNorm EN 15026 [51], ÖNorm EN 13788 [50] sowie das WTA Merkblatt 6-2 in der Ausgabe von 2001 [45] und 2014 [52] gibt hierzu Empfehlungen. Die beiden WTA Merkblätter Innendämmung nach WTA I [47] und Innendämmung nach WTA II 6-5 [55] verweisen auf das WTA Merkblatt 6-2 Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse [52], wobei WTA Merkblatt 6-5 [55] auch Klimadatensätze für das Innenraumklima nach ÖNorm EN 15026 [51] nennt.

Hinsichtlich der Raumklimabedingungen unterteilt das WTA Merkblatt 6-2-14 [52] in 4 Feuchtelastgruppen:

- Messwerte für ein ähnliches Gebäude in einem ähnlichen Klima oder durch Raumlufttechnische Anlagen festgelegte und abgesicherte Sollwerte
- Ergebnisse aus der hygrothermischen Gebäudesimulation
- Ermittlung der Raumluftbedingungen aus festgelegten Feuchteproduktions- und Luftwechselraten

- d) Falls a-c nicht praktikabel sind, können Raumlufttemperatur und –feuchte auch in einfacher Weise aus den Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur abgeleitet werden, wobei nach Nutzung in 4 Feuchtelastgruppen unterteilt wird.
- Für den Regelfall (Wohnraum oder vergleichbar) ist die Funktion „normale Feuchtelast zu verwenden. Küchen und Bäder in Wohnungen sind hier eingeschlossen.
 - Werden im Rahmen einer feuchtetechnischen Bemessung zusätzliche Sicherheiten gewünscht, sollte die um 5 % relative Luftfeuchte erhöhte Funktion gewählt werden.
 - Ist bei einem Gebäude mit einer außergewöhnlich hohen Belegung zu rechnen, ist die Funktion „hohe Feuchtelast“ zu wählen.
 - Die Funktion „niedrige Feuchtelast“ betrifft nur Räume wie bspw. Büroräume, Klassenzimmer, Verkaufsräume. Dieser Ansatz enthält keine Sicherheiten und schränkt zukünftige Nutzungen ein.

WTA Merkblatt 6-2-14 [52] beschreibt in Punkt d) der Aufzählung, analog zur EN 15026 [51], wie in Abbildung 63 gezeigt, eine Abhängigkeit der Raumklimabedingungen von der Außenlufttemperatur.

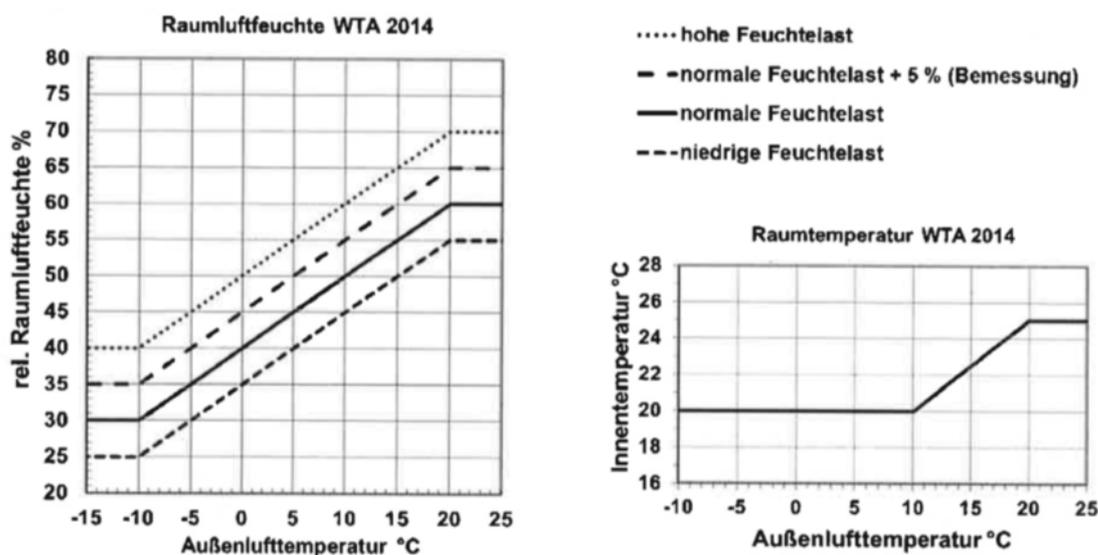


Abbildung 68 Ableitung der Raumlufttemperatur und -feuchte von Wohnräumen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur, jeweils Tagesmittel. (Quelle: WTA Merkblatt 6-2-14 [52])

Wohingegen in der vorangegangenen Ausgabe des WTA Merkblatts 6-2-01 [45] – unter der Argumentation dass das Raumklima im Gegensatz zum Außenklima stark durch das Nutzerverhalten bestimmt wird und die Wärmekapazität und Wasserdampfsorptionsfähigkeit von Innenbauteilen und Einrichtungsgegenständen für einen relativ gleichmäßigen Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte sorgen – feuchtelastabhängige sinusförmige Raumklimabedingungen mit einer Periodendauer von einem Jahr für „niedrig“, „normal“, „hoch“ entsprechend Tabelle 26 zur Anwendung kommen.

Tabelle 26 Raumklimabedingungen (feuchtelastabhängig, sinusförmig, Periodendauer 1 Jahr)
(Quelle: WTA Merkblatt 6-2-01 [45])

	Temperatur [°C]	Rel. Feuchte [%] Feuchtelast		
		Niedrig	Normal	Hoch
Mittelwert	21	45	50	55
Amplitude	1	15	10	5
Minimum	20	30	40	50
Maximum	22	60	60	60
Zeitpunkt des Maximums	Juni	August	August	August

Um die Vergleichbarkeit mit früher – anhand von Innenraumklima nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45] – durchgeführten Simulationsreihen zu ermöglichen werden für die Simulationsberechnungen daher auch Raumklimaparameter nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45] mit Innenraumklima „IK01“, „IK02“ sowie „IK03“ und Raumklimaparameter „IK06“, „IK07“, „IK08“ und „IK09“ entsprechend dem Aufzählungspunkt d) der Feuchtelastgruppen nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] untersucht, wobei „IK06“ und „IK07“ bereits die Raumklimaparameter nach EN 15026 [51] repräsentieren. Mit Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ wird analog zu den im Forschungsprojekt Schimmelampel [60] durchgeführten Simulationsberechnungen mit gegenüber dem „IK03“ (Feuchtelast „hoch“ nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45]) hinsichtlich Temperatur um +3 °C („IK04“) und relative Feuchte um +10 % („IK05“) erhöhten Profilen gerechnet. Mit „IK04“ und „IK05“ werden als „Worst-Case“-Szenario extreme Innenraumklimata definiert. Bei positiver Beurteilung hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit weisen diese zusätzliche Sicherheiten auf.

Weiter werden Raumklimadatensätze nach EN 13788 [50] Profil A „IK10“ und Profil B „IK11“ auf Basis von Monatsmittelwerten am Standort Wien generiert. Die EN 13788 [50] gibt vereinfachte Verfahren zum Zwecke der Beurteilung des Risikos der Tauwasserbildung im Bauteilinneren infolge von Wasserdampfdiffusion. Da bei den dabei angewendeten Verfahren eine Reihe wichtiger physikalischer Phänomene, wie die kapillare Saugwirkung und Transport von Feuchte in flüssiger Phase in Baustoffen nicht berücksichtigt wird, ist das Verfahren für die hier durchgeführten Simulationsberechnungen grundsätzlich nicht geeignet. Durch die Gegenüberstellung der Ergebnisse der vereinfachten Berechnung nach EN 13788 [50] mit jenen der Simulationsberechnungen bei gleicher Klimadatenbasis („IK10“ und „IK11“) soll geprüft werden, ob bzw. in wie weit eine Beurteilung nach EN 13788 [50] auch für Innendämmsysteme zulässig sein kann – bei denen über die Dampfdiffusion hinausgehende Feuchtetransportprozesse – eine Rolle spielen. Grundsätzlich sind für Raumklimabedingungen nach EN 13788 [61] Werte anzuwenden, die der erwarteten Nutzung des Gebäudes entsprechen. In Anhang A der Norm wird dazu ein Verfahren zur Abschätzung der raumseitigen Lufttemperatur auf der Grundlage der Außentemperatur beschrieben. Für Berechnungen mit „IK10“ und „IK11“ wird – da es sich in der EN 13788 [50]

um Verfahren handelt bei denen monatliche Klimadaten zum Einsatz kommen – das dazugehörige Außenklima „AK12“ ebenfalls mit Monatsmittelwerten, ohne direkte Solarstrahlung und ohne Schlagregen definiert.

Da die Auflistung von Feuchtelastgruppen in WTA Merkblatt 6-2-14 [52] in Punkt b) auch „Ergebnisse aus der hygrothermischen Gebäudesimulation“ als mögliche Raumklimabedingungen nennt, werden aus den in Teil A gewonnenen Berechnungsergebnissen der Gebäudesimulation raum- und variantenbezogene Raumklimadatensätze („IK12“ bis „IK26“) generiert, welche als Eingangsgröße für die Simulationsberechnungen am Bauteil dienen.

Innenraumklimata nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45]

- „**IK01**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit geringer Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2
- „**IK02**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit normaler Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2
- „**IK03**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2

Extreme Innenraumklimata auf Basis „hohe Feuchtelast“ nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45]

- „**IK04**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei die Temperaturkurve um 3 °C nach Oben verschoben wird (entspricht „IK03“ + 3 °C)
- „**IK05**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei auf die Feuchtwerte 10 % relative Feuchte addiert werden (entspricht „IK03“ + 10 % relative Feuchte)

Innenraumklimata nach EN 15026 [51] und WTA Merkblatt 6-2-14/D [52]

- „**IK06**“, Raumlufttemperaturen nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] und relative Feuchte der Raumluft nach EN 15026 [51] Profil A (entspricht auch WTA 6-2-14 „normale Feuchtelast“)
- „**IK07**“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte nach EN 15026 [51] Profil B (entspricht auch WTA 6-2-14 hohe Feuchtelast)
- „**IK08**“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „normale Belegung“ +5 % nach WTA 6-2-14 [52]
- „**IK09**“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „niedrige Belegung“ nach WTA 6-2-14 [52]

Raumklimabedingungen nach EN 13788 [61]

- „**IK10**“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil A

- „IK11“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil B

Raumklimabedingungen aus den Ergebnissen der Gebäudesimulation

Aus den in Teil A gewonnen Berechnungsergebnissen der Gebäudesimulation werden raum- und variantenbezogen die Klimadatensätze „IK12“ bis „IK26“ generiert, welche als Eingangsgröße für die Simulationsberechnungen am Bauteil dienen. Eine Beschreibung der Sanierungsvarianten gibt Kapitel 1.2.2.2 Varianten und Parameter in Teil A.

Bestand „V1“

- „IK12“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW01
- „IK13“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW02
- „IK14“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW03

Als Ergebnis der Gebäudesimulation zeigt Abbildung 69 die relative Feuchte der Raumluft über der Raumlufttemperatur und deren Verteilung über den Komfortbereichen für den Bestand „V1“, Modellraum SW01. Abbildung 70 zeigt gleiche Ergebnisse im Jahresverlauf. Auf Basis der raumklimatischen Kenngrößen werden die Klimadatensätze als Eingangsgrößen für die Bauteilsimulation aufbereitet. Aus dem Ergebnis der Variante Bestand „V1“, Modellraum SW01 wird beispielsweise der Klimadatensatz „IK12“ generiert.

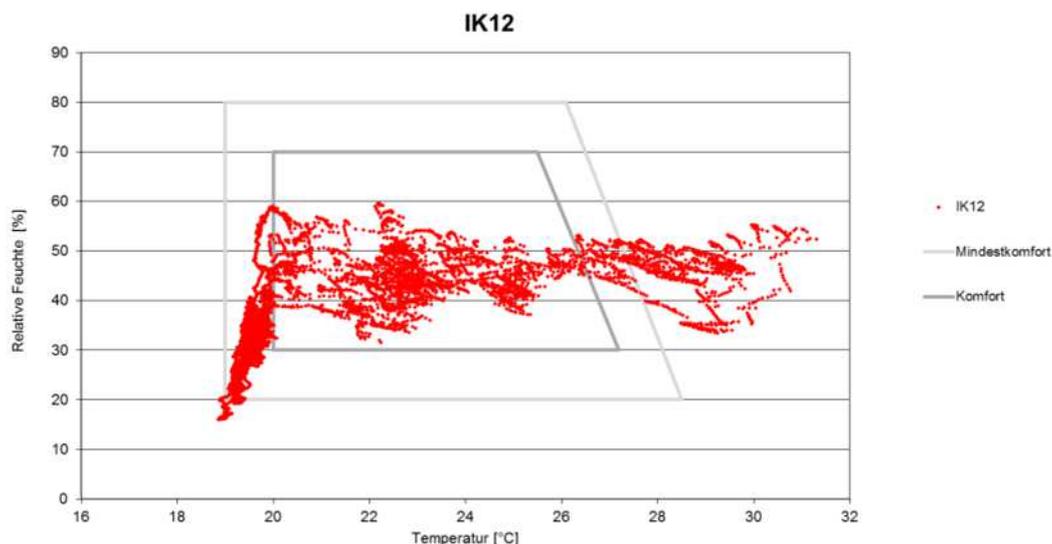


Abbildung 69 Ergebnis der Gebäudesimulation für Raumklimabedingungen Raumlufttemperatur und relative Feuchte der Raumluft für den Bestand „V1“, Modellraum SW01

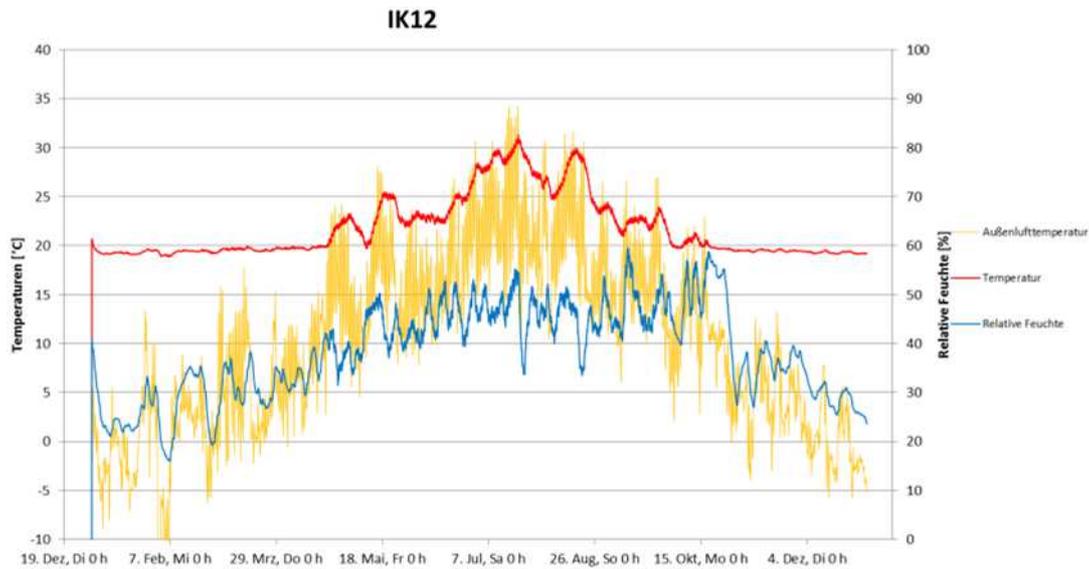


Abbildung 70 Ergebnis der Gebäudesimulation, Jahresverlauf von Raumlufttemperatur und relativer Feuchte der Raumluft für Bestand „V1“, Modellraum SW01 als Grundlage für Innenraumklima „IK12“ für Bauteilsimulation

Sanierung Minimal „V2“

- „IK15“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW01
- „IK16“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW02
- „IK17“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW03

Sanierung OIB „V3“

- „IK18“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW01
- „IK19“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW02
- „IK20“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW03

Sanierung Maximal „V4“

- „IK21“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW01
- „IK22“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW02
- „IK23“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW03

Sanierung Enerphit „V5“

- „IK24“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW01

- „IK25“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW02
- „IK26“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW03

Vergleichende Darstellung

Eine Übersicht der definierten Raumklimadaten im Jahresverlauf gibt Abbildung 71 für die Raumlufttemperatur und Abbildung 72 für die relative Feuchte der Raumluft. In grau dargestellt die Außenlufttemperatur am Standort.

Gezeigt wird in Abbildung 71 und Abbildung 72 zum einen der zeitliche Verlauf der Klimagrößen auf Stundenbasis, wobei die Innenraumklimagrößen nach EN 15026 [51] und WTA 6-2-14 [52] direkt über das Standortklima definiert werden, während für die Raumklimadaten nach WTA 6-2-01 [45] ein sinusförmige Verlauf mit Amplitude der Feuchte im August angenommen wird. Der treppenförmige Temperaturverlauf für Außen- und Raumlufttemperatur ergibt sich aus dem Verfahren nach EN 13788 [50] mit monatlichen Klimadaten.

Eine Zusammenstellung der Klimadaten, sowie deren statistische Analyse hinsichtlich Häufigkeit und Verteilung der einzelnen Klimagrößen enthält der beigefügte Datenträger.

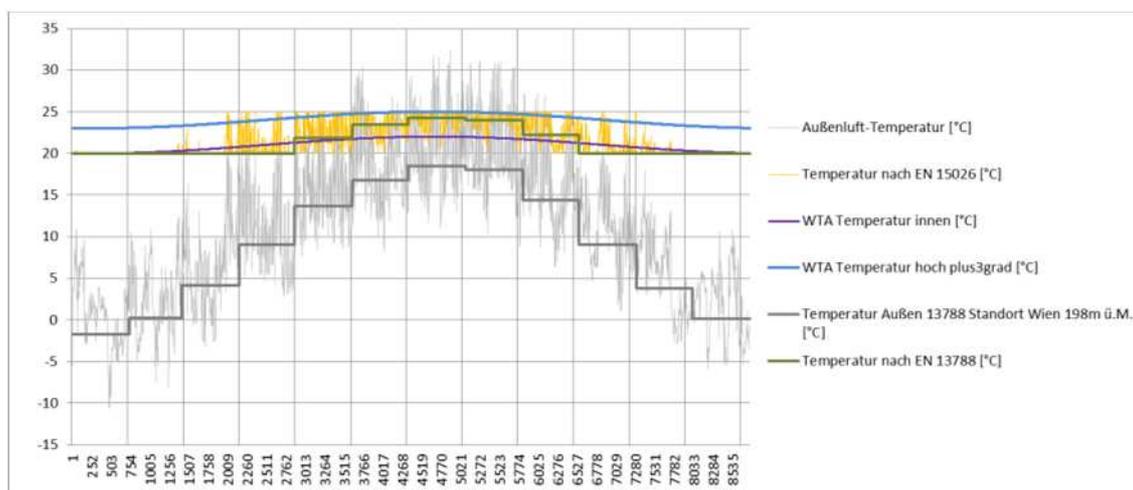


Abbildung 71 Lufttemperatur ausgewählter Klimadatensätze im Jahresverlauf, in hellgrau die Außenluft-Temperatur am Standort Wien

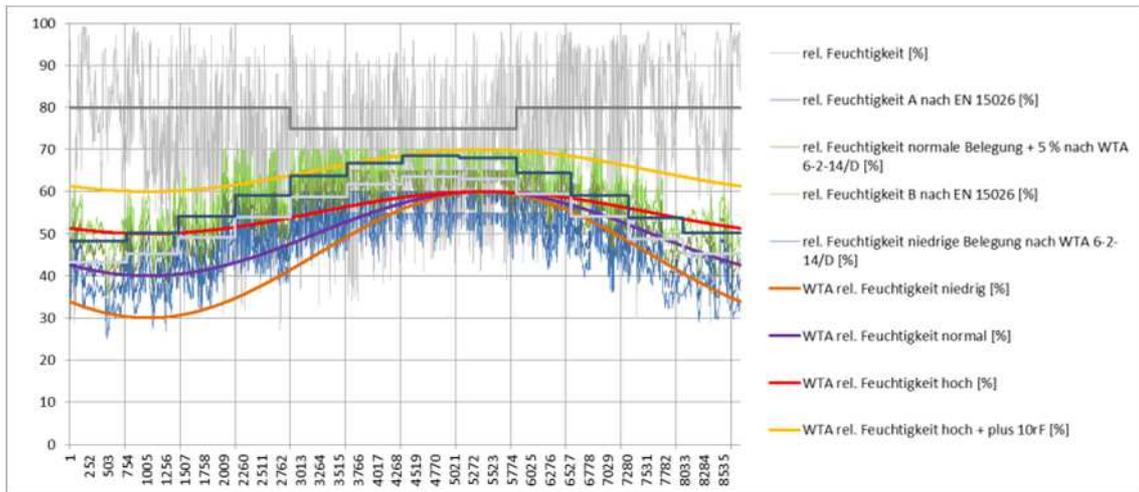


Abbildung 72 Relative Feuchte der Raumluft ausgewählter Innenraumklimadensätze im Jahresverlauf, in hellgrau die relative Feuchte der Außenluft am Standort Wien

Eine Gegenüberstellung der Raumlufttemperaturen im Februar zeigt Abbildung 73 und der relativen Feuchte der Raumluft im Jänner Abbildung 74. Abbildung 73 zeigt für die in der Gebäudesimulation untersuchten Testräume dass mit zunehmendem energetischem Standard „V1“ bis „V5“ erwartungsgemäß auch die Innenraumlufttemperaturen von Innenraumklima „IK12“ zu „IK26“ hin zunehmen. Es liegt damit bei den Ergebnissen der thermischen Gebäudesimulation eine deutliche Ausprägung der Temperaturniveaus auf Grund des energetischen Standards vor. Wohingegen die Temperaturen bei den über die Normen und Merkblätter definierten Innenraumklimata „IK01“ bis „IK11“ unabhängig vom energetischen Standard definiert sind.

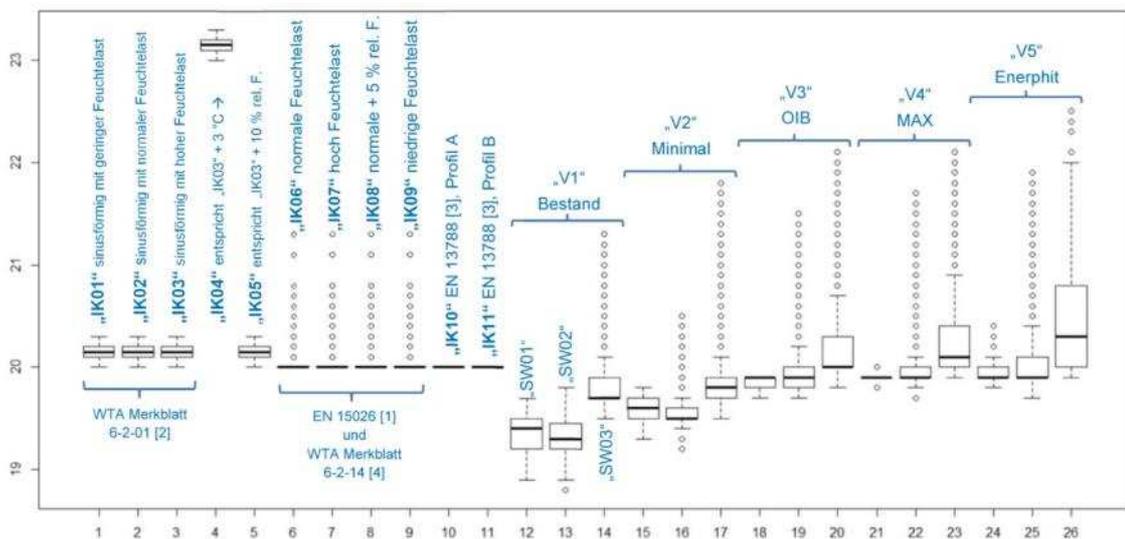


Abbildung 73 Temperatur der Raumluft für Innenraumklima „IK01“ bis „IK26“ im Februar

Hinsichtlich der relativen Feuchte der Raumluft ergibt sich ein anderes Bild, wie Abbildung 74 zeigt. Hier zeigt sich deutlich die bei den jeweiligen Feuchtelasten bzw. Nutzungen auftretende starke Spreizung zwischen den in den Normen und Merkblättern definierten Innenraumklimata „IK01“ bis „IK11“. Während die Innenraumklimata „IK12“ bis „IK26“ als Ergebnis der thermischen Gebäudesimulation eine sehr einheitliche Verteilung zeigen die, im Vergleich zu den Raumlufttemperaturen, nahezu unabhängig vom energetischen Standard ist.

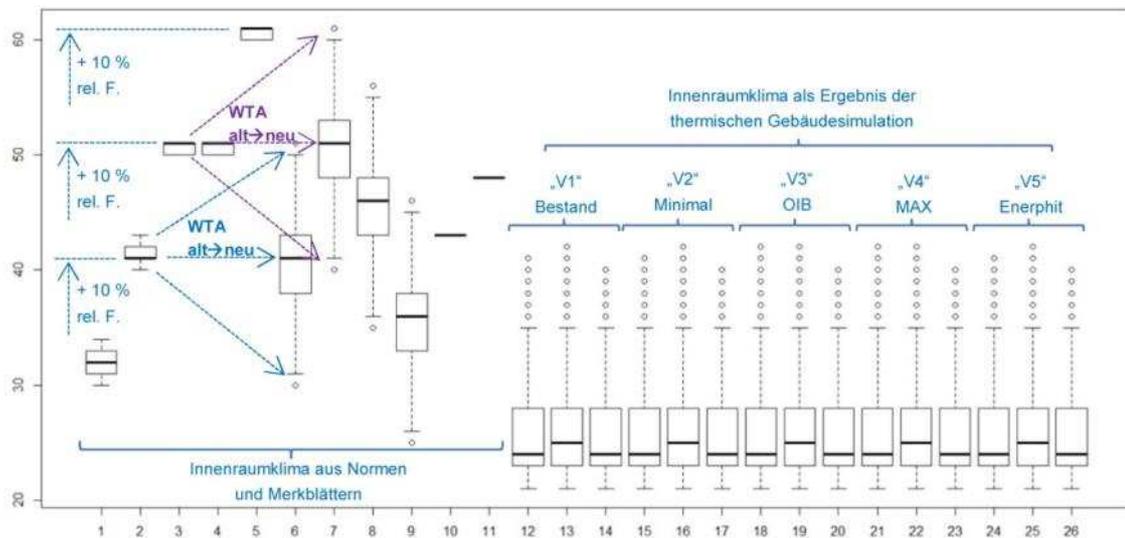


Abbildung 74 relative Feuchte der Raumluft für Innenraumklima „IK01“ bis „IK26“ im Jänner

Mit den hier zusammengestellten Datensätzen werden die Vorgaben der maßgebenden Normen und Richtlinien hinsichtlich Raumklimaparameter instationärer Simulationsberechnungen abgebildet. Darüber hinaus erlauben die Berechnungen mit den Innenraumklimata nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45] („IK01“, „IK02“ und „IK03“) einen Vergleich mit Ergebnissen vorangegangenen Studien (wie [60] und [62]) zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit.

3.2.10 Beurteilungskriterien

Zur Vermeidung von Schäden durch übermäßige Feuchte im Inneren und an der Oberfläche von Bauteilen, der dadurch geförderten Schimmelpilzbildung und damit verbundenen Funktionsminderung der Gebäude gibt die ÖNORM B 8110 Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz [49]

1. Planungsgrundlagen für den Entwurf von Baukonstruktionen,
2. Grundlagen zur Durchführung der rechnerischen Nachweise über die Gebrauchstauglichkeit von Baukonstruktionen unter Zugrundelegung von Innenluftbedingungen entsprechend der Raumwidmung sowie
3. Hinweise für die Vermeidung schädlicher, weil zu feuchter Innenluftbedingungen.

Grundlage für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion bildet demnach zum einen die Nichtüberschreitung einer definierten, maximal zulässigen

Feuchtigkeitsbelastung durch das Innenraumklima und zum anderen eine Beurteilung der feuchtigkeitstechnischen Belastbarkeit anhand von Nachweisen. Erfolgt der Nachweis – im Vergleich zu vereinfachten, stationären Verfahren – über instationäre hygrisch-thermische Simulationsberechnungen, eröffnet das die Möglichkeit einer umfassenden – und damit dem feuchteverhalten der Konstruktion angemessenen – Betrachtung und Beurteilung. Dies führt aber auch dazu, dass der Komplexitätsgrad der Beurteilung zunimmt. Zum einen bedingt durch die detaillierte – meist mehrdimensionale – Abbildung der Konstruktion, zum anderen resultiert er aus den zeitlichen Verläufen der Ausgabegrößen.

Um die Ergebnisse einer instationären hygrisch-thermischen Simulationsrechnung beurteilen zu können müssen also zuerst geeignete Positionen bzw. Bereiche der Konstruktion festgelegt werden, für die dann die zeitlichen Verläufe der Ausgabegrößen untersucht werden. Zeitabhängige Eigenschaften – mit wesentlichem Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit – können so anhand geeigneter Kriterien beurteilt werden.

Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit anhand der Ergebnisse der instationären hygrisch-thermischen Simulationsberechnungen werden in dieser Arbeit vier zeitabhängige Beurteilungskriterien herangezogen und untersucht.

1. Das Risiko von Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Vermeidung gesundheitsschädigender Wirkungen).
2. Der Wassergehalt in der Konstruktion bzw. im Dämmstoff als Kriterium für die technische Funktionalität.
3. Das Kriterium „Eingeschwungener Zustand“ als Indikator dafür, ob es zu einer kontinuierlichen Auffeuchtung der Konstruktion kommt.
4. Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, als Kriterium für die mechanische Belastung der Baustoffe.

3.2.10.1 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche

Das Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche wird in der ÖNorm B 8110-2 [49] unter Kondensationsschutz behandelt. Unter Kondensationsschutz versteht diese Norm bauliche Maßnahmen, die eine raumseitige Oberflächentemperatur sichern, bei der keine Wasserdampfkondensation erfolgt und Schimmelbildung hintangehalten wird. Weiter fordert diese Norm, dass eine schädliche Wasserdampfkondensation im Inneren von Außenbauteilen zu verhindern ist, was maßgebend für das Kriterium zur Beurteilung des Wassergehalts im Dämmstoff bzw. in der Konstruktion ist. Die ÖNorm B 8110-2 [49] beschränkt sich auf stationäre Zustände. Für die Beurteilung von Schimmelpilzbildung, wie auch für die Beurteilung des Feuchteverhaltens einer Konstruktion mit Innendämmung müssen die dort genannten Beurteilungs-Kriterien für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit angepasst bzw. ergänzt werden, da neben der Dampfdiffusion noch weitere Feuchtetransportprozesse eine Rolle spielen.

Zugunsten einer detaillierteren Betrachtung – bei der sowohl die Höhe als auch die Dauer kritischer Feuchtezustände sowie die Beschaffenheit des Materials eine Rolle spielen, erfolgt

die Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung deshalb entsprechend dem WTA Merkblatt 6-3-05 [46] anhand des Verallgemeinerten Isoplethenmodell für Sporenauskeimung bzw. Myzelwachstum, das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt.

Die Wachstumsvoraussetzungen hinsichtlich Temperatur und Feuchte können bei der Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung nicht getrennt voneinander betrachtet werden, da sich die Lage der minimalen und optimalen Feuchte bei unterschiedlichen Temperaturen verschieben kann. Die minimalen Werte der relativen Feuchtigkeit sind nur bei optimalen Temperaturen zu erreichen und umgekehrt. Eine Überlagerung der Einflüsse von Temperatur und relativer Feuchtigkeit ergibt, in einem Diagramm aufgetragen, Linien gleichen Wachstums (Isoplethen). Die unterste Kurve kennzeichnet die Bedingungen, unter denen keine Sporenkeimung bzw. kein Wachstum mehr feststellbar ist. [46]

Da beim Isoplethenmodell zur Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung sowohl die Überschreitung definierter Grenzkurven hinsichtlich Temperatur- und Feuchtezuständen als auch die Überschreitungsdauer zu berücksichtigen sind, erfolgt die Beurteilung sowohl hinsichtlich des Kriteriums „Grenze“ bei dem die Überschreitung der Grenzkurven, also das Vorliegen kritischer – mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Schimmelpilzbildung führender Zustände – untersucht wird, als auch hinsichtlich des Kriteriums „Dauer“, bei dem zusätzlich die zeitliche Abfolge und Dauer kritischer Zustände berücksichtigt wird. Die Auswertung erfolgt jeweils für die 8760 Stundenwerte des 5. Simulationsjahres.

Es hat sich gezeigt, dass die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen „Feuchte, Temperatur und Substrat“ über eine bestimmte Zeitperiode simultan vorhanden sein müssen, damit Schimmelpilzsporen keimen und anschließend Myzel wachsen kann. Das Isoplethenmodell ermöglicht auf der Basis von Isoplethensystemen die Ermittlung der Sporenauskeimungszeiten und des Myzelwachstums, wobei auch der Substrateinfluss bei der Beurteilung der Schimmelpilzbildung berücksichtigt wird. [63]

Für die Beurteilung im Rahmen dieser Arbeit kommt das Isoplethenmodell „Sporenauskeimung“ (1) zur Anwendung, da damit auch der Fall „Myzelwachstum“ (2) – wenn auch geringfügig zu streng beurteilt ($\Delta 1$) – abgedeckt wird. Die sich ergebenden untersten Grenzen möglicher Pilzaktivität werden LIM (Lowest Isopleth for Mould) genannt. Die links in Abbildung 75 dargestellten Isoplethensysteme zeigen die Wachstumsvoraussetzungen für optimalen Nährboden (3). Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrundes oder angenommener Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden im WTA Merkblatt 6-3-05 [46] Substratgruppen (Grenzkurve LIM_{Bau}) vorgeschlagen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet werden. Dazu wird eine Definition von Substratgruppen gegeben, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

Substratgruppe: 0

Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen die anspruchlosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten Werte für die relative

Feuchte. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die absolute untere Wachstumsgrenze (4).

Substratgruppe: 1

Baustoffe mit biologisch gut verwertbaren Substraten (5), wie Tapeten, Gipskarton, manche Holzwerkstoffe, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen oder verschmutztes Material.

Substratgruppe: 2

Baustoffe mit schlecht verwertbaren Substraten (6), wie Putze, mineralische Baustoffe sowie Hölzer die nicht unter Substratgruppe 1 fallen.

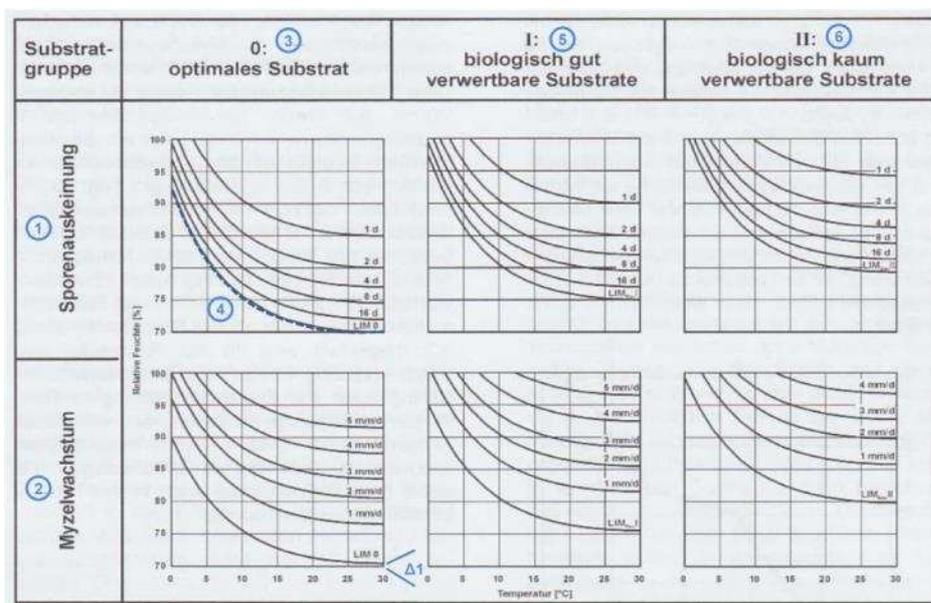


Abbildung 75 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (oben) und Myzelwachstum (unten), das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt. Die im Bild dargestellten Diagramme gelten für optimales Substrat (links), für Substratgruppe I (mitte) und für Substratgruppe II (rechts). (Quelle: WTA Merkblatt 6-3-05 [46] Bild 6.1)

Die Auswertung hinsichtlich des Risikos von Schimmelpilzbildung wird in dieser Arbeit für alle 3 Substratgruppen durchgeführt. Dabei wird der tatsächliche Anwendungsfall für Bestandsmauerwerk „ID00“, Innendämmung „ID01“ und „ID02“, jeweils mineralische Systeme (Substratgruppe 2) untersucht. Weiter wird mit Substratgruppe 1 eine angenommene Verschmutzung der Oberfläche berücksichtigt und mit Substratgruppe 0 die absolute Wachstumsgrenze aufgezeigt.

3.2.10.2 Wassergehalt in der Konstruktion bzw. im Dämmstoff

Für Außenbauteile ist der Wärmeschutz nach ÖNorm B 8110-2 [49] so zu bemessen, dass die Bedingungen zur Vermeidung von Schimmelbildung an der inneren Oberfläche erfüllt sind. Der Aufbau des Bauteils ist so zu bemessen, dass im Inneren des Bauteils keine schädliche Wasserdampfkondensation infolge Wasserdampfdiffusion auftritt.

Schädlich ist eine Wasserdampfkondensation nach ÖNorm B 8110-2 [49], wenn a) das Kondenswasser nicht gespeichert werden kann oder b) das Kondenswasser eine solche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts einer Bauteilschicht verursacht, dass der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils um 10 % oder mehr verringert wird.

Die Speicherung (a) bezieht sich auf das gesamte Bauteil – also Bestandsmauerwerk + Innendämmsystem. Geht man davon aus, dass es bei einer Auffeuchtung zu einer Verteilung im gesamten porösen kapillaren Bauteilquerschnitt kommt, so kann für dieses Kriterium als Grenzgröße der freie Wassergehalt u_f herangezogen werden. Als freier Wassergehalt wird nach WTA Merkblatt 4-11-16 [64] diejenige Wassermenge bezeichnet, die ein Baustoff aufnimmt, wenn er eine Zeit der Einwirkung von drucklosem Wasser ausgesetzt ist. Für die Minerale Dämmplatte betragen der freie Wassergehalt bzw. der kapillare Sättigungsgehalt 132 kg/m^3 . Das Speichervermögen der Gesamtkonstruktion ist noch weitaus größer mit der Wasseraufnahme des Außenputzes von 300 kg/m^3 , dem Mauermörtel mit 250 kg/m^3 und dem Ziegel mit 270 kg/m^3 , welches dem freien Wasseraufnahmevermögen der Dämmplatte hinzugerechnet werden kann. Für die 48 cm dicke Bestandswand mit 12 cm Dämmung ergibt sich daraus unter Bezug auf die Schichtdicken ein freier Wassergehalt von 144 kg/m^2 . Bei mineralischen, kapillar wasseraufnahmefähigen Schichten, wie sie hier vorliegen, liegt dieser Wert mit 144 kg/m^2 , wie nachfolgend gezeigt, weit über der maximal zulässigen Wasseraufnahme bezogen auf die Verringerung des Wärmedurchlasswiderstandes, wodurch Kriterium (b) für die Beurteilung ausschlaggebend wird.

Geht man von einem mit λ_{trocken} berechneten Wärmedurchlasswiderstand aus und bezieht die nach ÖNorm B 8110-2 [49] maximal zulässige Verringerung des Wärmedurchlasswiderstandes von 10 % auf die einzelnen Bauteilschichten, ergibt sich aus den Materialfunktionen ein maximal zulässiger Wassergehalt von 73 kg/m^3 für den Außenputz, 143 kg/m^3 für den Ziegel, 125 kg/m^3 für den Mörtel, 98 kg/m^3 für den mineralischen Kleber und 8 kg/m^3 für die Minerale Dämmplatte. Für die 48 cm dicke Bestandswand mit 12 cm Dämmung ergibt sich daraus eine maximal zulässige Wasseraufnahme der Konstruktion von 66 kg/m^2 .

Da sich diese Grenzgröße auf das gesamte Bauteil bezieht und sich 1. die Feuchte in kapillar leitfähigen mineralischen Baustoffen im Bauteil verteilt und 2. abhängig davon, in welcher Komponente des Bauteils sich die Feuchte befindet, einen unterschiedlichen Einfluss auf den Wärmedurchlasswiderstand der Gesamtkonstruktion hat, ist die Bestimmung dieses Grenzwertes über den Wassergehalt aufwändig. Geht man davon aus, dass die Auffeuchtung zunächst in der Dämmschicht, bzw. im Grenzbereich zwischen Dämmung und Bestandsmauerwerk ausfällt und sich zuerst dort akkumuliert, kann die Beurteilung vereinfacht anhand des, auf den verringerten Wärmedurchlasswiderstand bezogenen, maximal zulässigen Feuchtegehalts der Dämmung erfolgen und die Auffeuchtung der restlichen Komponenten bei der Beurteilung vernachlässigt werden. Hierzu ist allerdings ein geeigneter Grenzwert für den maximal zulässigen Feuchtegehalt der Dämmung zur Einhaltung des Kriteriums festzulegen, wie unter 1.4.5 beschrieben wird.

3.2.10.3 Eingeschwungener Zustand

Das Kriterium „Eingeschwungener Zustand“ fordert, dass es zu keiner kontinuierlichen Auffeuchtung der Konstruktion kommt. Der Nachweis erfolgt über den Gesamtwassergehalt im Jahresverlauf bei kontinuierlicher Verwendung eines sich jährlich wiederholenden Klimadatensatzes. Der eingeschwungene Zustand gilt als erreicht, wenn der Wassergehalt einen Grenzwert anstrebt wobei nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] als Richtwert eine jährliche erstmalige Wassergehaltsänderung von weniger als 1 % bezogen auf den Vorjahreswassergehalt empfohlen wird.

3.2.10.4 Frost-Tau-Wechsel

Durch die Applikation einer Innendämmung sinkt das Temperaturniveau in der Bestandskonstruktion gegenüber dem ungedämmten Bestand bei niedrigen Außentemperaturen. Dies führt dazu, dass das Risiko von gefrierendem Wasser in der Konstruktion steigt und die Baustoffe damit einer mechanischen Belastung ausgesetzt sind. Das Kriterium Frost-Tau-Wechsel dient der Vermeidung von Frost-Schäden und wird anhand der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, dem maximalen Sättigungsgrad bzw. dem Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen beurteilt. Für nicht frostbeständige Materialien sollte ein Sättigungsgrad von 30 % nicht überschritten werden. Der Sättigungsgrad ist das Verhältnis des vorhandenen Wassergehalts zur Porosität. Als kritischer Grenzwert ist ein Sättigungsgrad von 0,6 anzusehen. Im WTA Merkblatt 6-5-14 [55] wird der zulässige Sättigungsgrad unter Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 2 mit 0,3 festgelegt, wobei höhere Sättigungsgrade zulässig sind sofern die relative Luftfeuchte innerhalb der Materialschicht unter 95 % bleibt.

3.3 Fragestellung

Die zentrale Fragestellung in Teil B lautet:

B) Welche Empfehlungen können für Innendämmung hinsichtlich des Innenraumklimas formuliert werden um eine Gebrauchstauglichkeit dauerhaft sicherzustellen?

Davon abgeleitet ergeben sich folgende Teilfragen, die beantwortet werden:

B.1) Welchen Einfluss haben Standort und Innenraumklima auf die Beurteilung bzw. Bemessung einer Innendämmung?

B.2) Welche Beurteilungskriterien sind für die Bemessung anhand instationärer hygrisch-thermischer Simulationsberechnungen heranzuziehen?

B.3) Welche Feuchtezustände stellen sich in der Konstruktion ein und welche Grenzwerte können für die Bemessung definiert werden?

B.4) Welche Unterschiede ergeben sich zwischen statischer und dynamischer Berechnung in der Beurteilung von Innendämm-Systemen?

B.5) Welche Kombinationen von Innenraumklima und Innendämmung sind als kritisch zu beurteilen?

B.6) Welche Empfehlungen können zu Nachweisführung und Beurteilung hinsichtlich des Innenraumklimas abgeleitet werden?

B.7) Welche Planungsempfehlungen können hinsichtlich Innendämmung und Innenraumklima abgeleitet werden?

3.4 Ergebnisse

Die Zusammenstellung der für die folgende Bewertung wichtigen Ergebnisse erfolgt in einem ersten Schritt anhand der zeitlichen Verläufe der Ausgabegrößen (eine Übersicht gibt Abbildung 76). Die Bewertung der Ergebnisse wird anhand der in Kapitel 1.2.10 zusammengestellten Bewertungskriterien und den dort definierten Beurteilungsgrenzen vorgenommen.

No	Name	Type	Quantity	[Time]	[Value]
	temperature	Field	Temperature	h	C
	moisture_mass_density_liquid_vapor_ice	Field	Moisture mass density (liquid + vapor + ice)	h	kg/m3
	water_mass_density_liquid	Field	Water mass density (liquid)	h	kg/m3
4	water_vapor_mass_density_vapor	Field	Water vapor mass density (vapor)	h	kg/m3
	liquid_water_content_volume_fraction	Field	Liquid water content (Volume fraction)	h	m3/m3
	moisture_saturation_degree	Field	Moisture saturation degree (Moisture volume)	h	---
	liquid_water_content_mass_fraction	Field	Liquid water content (Mass fraction)	h	kg/kg
	overhygroscopic_water_content_volume_fraction	Field	Overhygroscopic water content (Volume fractich	h	m3/m3
	overhygroscopic_water_mass_density	Field	Overhygroscopic water mass density	h	kg/m3
10	relative_humidity	Field	Relative humidity	h	%
11	water_vapor_pressure	Field	Water vapor pressure	h	Pa
	gas_pressure	Field	Gas pressure	h	Pa
	gas_pressure_difference_to_normal_air_pressure	Field	Gas pressure difference to normal air pressu	h	Pa
	liquid_pressure	Field	Liquid pressure	h	Pa
	capillary_pressure	Field	Capillary pressure	h	Pa
16	freeze_thaw_cycles	Field	Freeze-Thaw-Cycles	h	---
17	ice_mass_density	Field	Ice mass density	h	kg/m3
18	ice_volume_to_pore_volume_ratio	Field	Ice volume to pore volume ratio	h	---
	temperature_m	Field	Temperature	h	C
	moisture_mass_density_liquid_vapor_ice_m	Field	Moisture mass density (liquid + vapor + ice)	h	kg/m3
	water_mass_density_liquid_m	Field	Water mass density (liquid)	h	kg/m3
22	water_vapor_mass_density_vapor_m	Field	Water vapor mass density (vapor)	h	kg/m3
	liquid_water_content_volume_fraction_m	Field	Liquid water content (Volume fraction)	h	m3/m3
	moisture_saturation_degree_m	Field	Moisture saturation degree (Moisture volume)	h	---
	liquid_water_content_mass_fraction_m	Field	Liquid water content (Mass fraction)	h	kg/kg
	overhygroscopic_water_content_volume_fraction_m	Field	Overhygroscopic water content (Volume fractich	h	m3/m3
	overhygroscopic_water_mass_density_m	Field	Overhygroscopic water mass density	h	kg/m3
28	relative_humidity_m	Field	Relative humidity	h	%
29	water_vapor_pressure_m	Field	Water vapor pressure	h	Pa
	gas_pressure_m	Field	Gas pressure	h	Pa
	gas_pressure_difference_to_normal_air_pressure_m	Field	Gas pressure difference to normal air pressu	h	Pa

Ausgabegrößen für jede Position

Ausgabegrößen für jeden Bereich

Abbildung 76 Typ, Einheit und Format der für die Simulationsberechnung definierten Ausgabegrößen

Für die Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen wird im Rahmen der Dissertation ein eigens entwickeltes Post-Processing verwendet. Dieses umfasst

1. eine variantenbezogene Zusammenstellung der Zeitverläufe der Messgrößen,
2. eine Aufbereitung der Daten,
3. eine statistische Auswertung der Daten,
4. eine grafische Aufbereitung der Zeitverläufe,
5. die Beurteilung anhand der in Kapitel 1.2.10 beschriebenen Kriterien,
6. eine vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse.

Die Aufbereitung und Analyse der Simulationsberechnungsergebnisse erfolgt unter Verwendung der Softwarepakete Microsoft Excel und R Version 3.0.2 (2013-09-25). Auf Grund der großen Datenmengen werden nachfolgend nur ausgewählte Ergebnisse dargestellt anhand derer die Vorgehensweise der Beurteilung exemplarisch gezeigt wird. Vollumfänglich sind die Daten, d.h. eine Übersicht zu den analysierten Varianten, die vollständigen Ergebnisdaten, deren statistische Auswertung und Beurteilung, aber auch die Eingabefiles für die Simulationsberechnungen als Anhang auf Datenträger zusammengestellt.

3.4.1 Messgrößenbezogene Zeitreihen

Für jede der 256 vollständig analysierten von insgesamt 435 berechneten Varianten liegt eine grafische Zusammenstellung der Ergebnisse über den Zeitverlauf nach Position bzw. Bereich und Messgröße vor (Berichte auf Datenträger, Anhang B). Zur Erläuterung der umfangreichen Inhalte werden nachfolgend auszugsweise die Ergebnisse für Temperatur, relative Feuchte, Wassergehalt, überhygroskopischen Feuchtegehalt – Feuchtegehalt der über dem kritischen Wassergehalt u_{kr} liegt, welcher die untere Grenze für kapillaren Wassertransports darstellt, und jener Bereich der Sorptionsisotherme eines mineralischen Baustoffs in dem eine Speicherung von Feuchte bis zum freien Wassergehalt u_f möglich ist – und Eisvolumen zu Porenvolumen für die Variante VZ4830_ID01_09_AK16_IK03_SR11 – Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ (Mineralschaumdämmplatte) mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei sinusförmigen Raumklimabedingungen „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen – dargestellt.

Die Darstellungsform der zeitlichen Verläufe (z.B. Abbildung 77) erlaubt – trotz visuellen Einschränkungen auf Grund der Vielzahl der dargestellten Messpunkte – eine rasche optische Plausibilitätsprüfung. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die halbautomatisierte Ergebnisdarstellung auf Knopfdruck einzelne Verläufe isoliert darstellen kann und damit eine detaillierte Analyse erlaubt.

3.4.1.1 Temperatur

Den zeitliche Verlauf der Temperatur der untersuchten Messpositionen für die Bereiche „Nord“ (oben) (3), „Kante“ (mitte) (4) und „West“ (unten) (5) zeigt Abbildung 77, wobei jeweils die gesamte Simulationsdauer (rechts) (1) sowie der Jahresverlauf für das 5. Simulationsjahr (links) (2) abgebildet ist. Entsprechend der Legende (6) sind die Verläufe für die Messpunkte bzw. Messbereiche für den Bereich „Nord“ als durchgehende Linie, für den Bereich „Kante“ als gestrichelte Linie und für den Bereich „West“ als gepunktete Linie dargestellt. Die Bezeichnung der Variante wird unterhalb der Abbildung angeführt (7). Die Bezeichnung der Darstellung (z.B. Temperatur) wird über das Programmpaket R [65] – in dem die Grafik erstellt wird – der Variantenbezeichnung angehängt und bildet damit den Dateinamen. Dadurch können die Grafiken (z.B. über Visual Basic Applikation VBA) automatisiert aufgerufen und in Berichte (z.B. in Microsoft Word) – siehe dazu die Ergebnisberichte auf

Datenträger – übernommen werden. Automatisierte Berichte reduzieren den Aufwand der Dokumentation – der bei hygrisch-thermischen Simulation, wie es WTA Merkblatt 6-2-14 [52] verlangt sehr umfangreich ausfällt – erheblich und erlauben damit eine wirtschaftliche Bewertung bzw. Nachweisführung.

Grundsätzlich werden alle Ergebnisgrößen jeweils variantenbezogen im Zeitverlauf dargestellt. Darüber hinaus können mit dem entwickelten Post-Processing über den R-code Ergebnisgrößen unterschiedlicher Varianten komfortabel und reproduzierbar gemeinsam dargestellt und damit direkt verglichen werden. Das stellt – insbesondere wenn die Anzahl an Varianten groß ist – eine erhebliche Erleichterung bzw. einen höheren Freiheitsgrad bei der Beurteilung gegenüber derzeit in den Softwareprogrammen implementierten Analysewerkzeugen dar. Weiter ist es möglich verschiedene Zeitpunkte oder Zeitbereiche, beispielsweise das erste und das fünfte Jahr, gemeinsam darzustellen um dadurch das Aufweichungsverhalten oder das Trocknungsverhalten der Konstruktion zu analysieren. Es können also auch einzelne Jahre, Monate, Tage oder Stunden gefiltert und isoliert dargestellt werden. Durch die automatisierte Erzeugung der Grafiken wird der Aufwand für Erstellung und Layout – wie dies insbesondere beim Programmpaket Excel der Fall ist – deutlich reduziert und die Ressourcen können stattdessen in die Analyse der Daten und der Ergebnisse verlagert werden.

Umfasst die Fragestellung mehrere Varianten ist fixen Achsenbereichen zugunsten einer besseren Vergleichbarkeit der Vorzug zu geben obgleich bei einer automatischen Anpassung der Achsenbereiche die Ergebnisgrößen über den gesamten Darstellungsbereich und damit gut lesbar dargestellt werden.

Anhand der zeitlichen Verläufe der Temperatur kann eine rasche optische Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden. In einem ersten Schritt kann überprüft werden ob die Oberflächentemperaturen an der Außenseite in Relation mit der Außenlufttemperatur stehen, also dem Verlauf des anliegenden Klimas folgen. Gleiches gilt für die raumseitige Oberflächentemperatur und das Innenraumklima. Zugleich kann geprüft werden, ob die Temperaturbereiche plausibel erscheinen und sich nicht beispielsweise bei der Erstellung der Klimadaten Komma- oder Einheitenfehler eingeschlichen haben, was beispielsweise passieren kann, wenn Ergebnisse eines Simulationsprogramms als Eingangsgrößen für ein anderes aufbereitet werden.

In einem zweiten Schritt kann geprüft werden ob das thermische Verhalten der Konstruktion plausibel erscheint, beispielsweise ob an einem kalten Tag die Temperatur in der Konstruktion von außen zum Innenraum hin zunimmt.

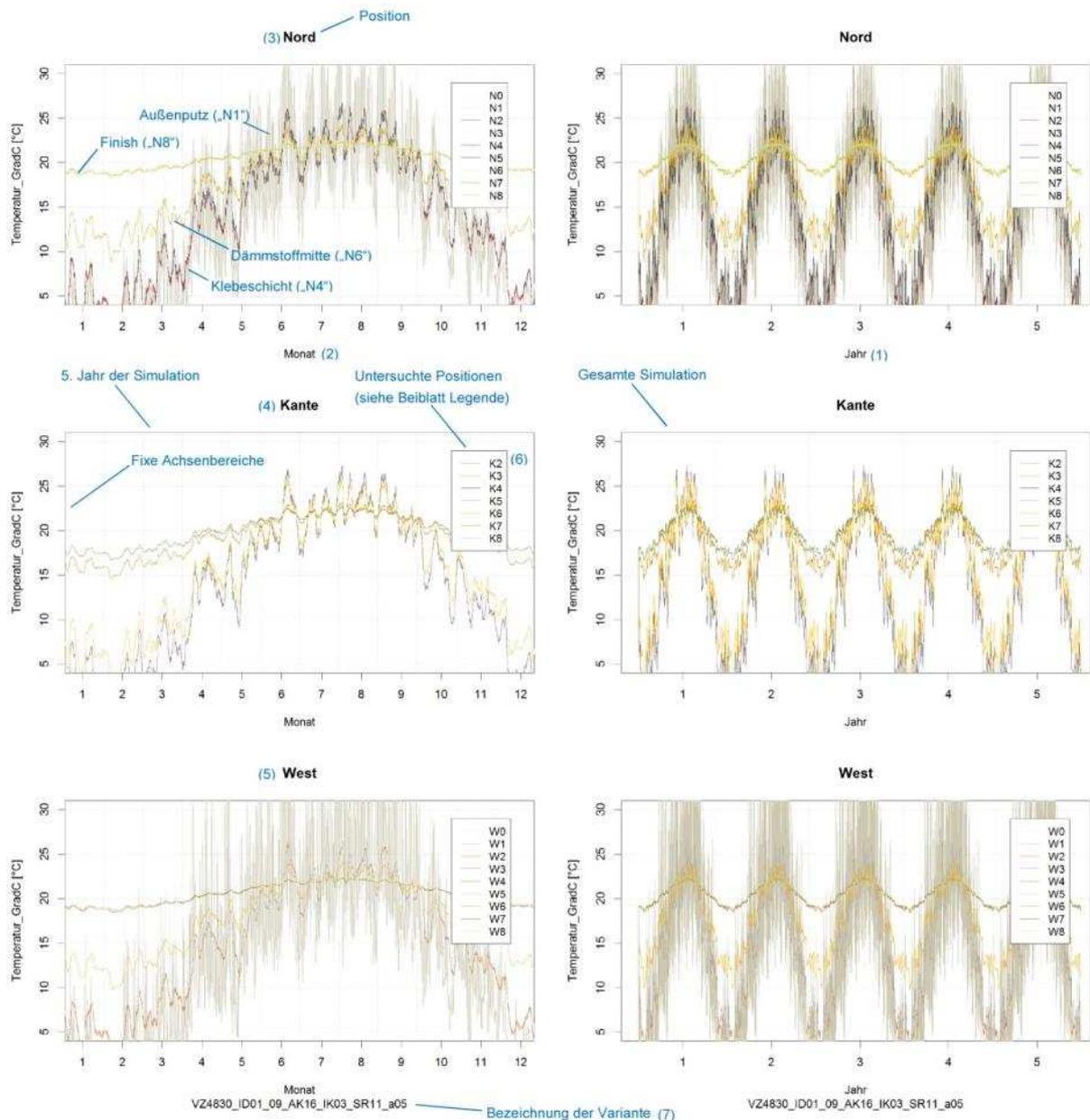


Abbildung 77 Zeitlicher Verlauf der Temperatur, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

Den Verlauf der Temperatur an den Messpositionen „Nord“, „Kante“, „West“ im direkten Vergleich für das 5. Simulationsjahr zeigt Abbildung 78. Erwartungsgemäß ist durch den Einfluss der geometrischen Wärmebrücke bei niedrigen Außenlufttemperaturen die Temperatur an der raumseitigen Oberfläche im Bereich „Kante“ gegenüber den Oberflächentemperaturen im ungestörten Wandbereich „Nord“ und „West“ deutlich geringer (ΔT_2). Der Temperaturunterschied zwischen den raumseitigen Oberflächen Position „W8“ („West“) und „N8“ („Nord“) (ΔT_2), der in erster Linie aus den unterschiedlichen Wärmedurchgangswiderständen der Bestandskonstruktion („West“ 48 cm, „Nord“ 30 cm) resultiert, fällt deutlich geringer aus. Während durch die Wärmedämmung die

Oberflächentemperatur ausreichend hoch ist um Kondensat- und Schimmelpilzbildung zu vermeiden, und damit der winterliche Wärmeschutz gewährleistet ist, wirkt die Wärmedämmung im Sommer (1) einer Überhitzung der Räume entgegen, indem der Wärmeeintrag über die Außenwand – insbesondere wenn diese einer direkten solaren Strahlung ausgesetzt ist – deutlich reduziert wird. Wie in Teil A gezeigt, ist diese Tatsache bei der Optimierung zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung von Räumen relevant – insbesondere wenn der Eintrag direkter solarer Strahlung über Fenster durch Verschattung gering ist.

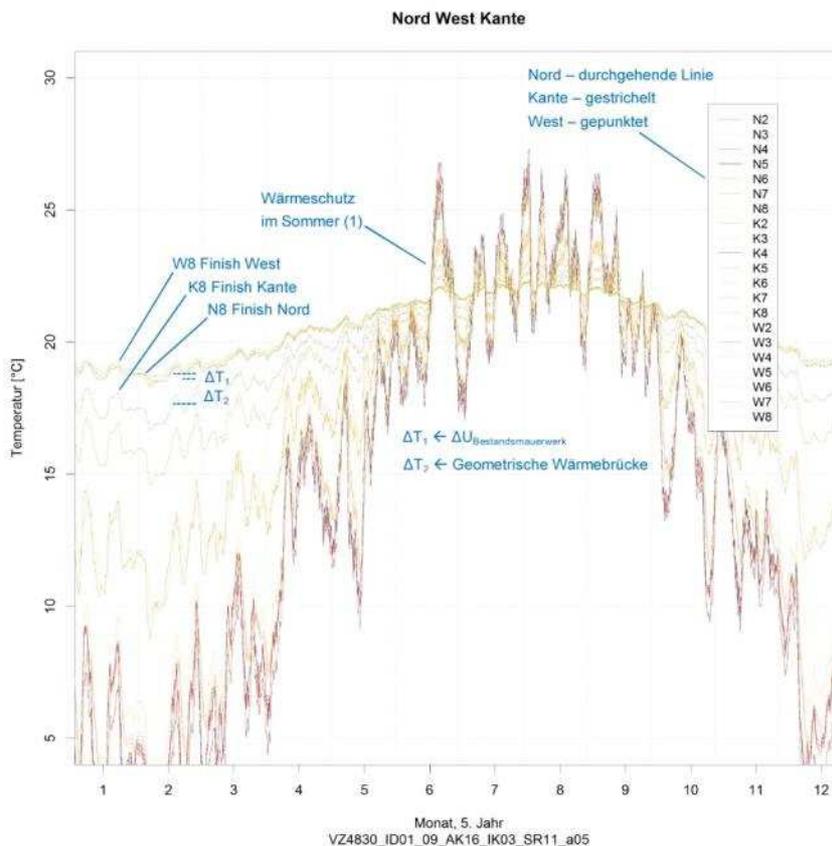


Abbildung 78 Zeitlicher Verlauf der Temperatur im 5. Jahr, Vergleich der Bereiche „Nord“, „Kante“ und „West“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“

3.4.1.2 Relative Feuchte

Den Verlauf der relativen Feuchte zeigt Abbildung 79. Die dazugehörigen Temperaturen zeigt Abbildung 77. Anhand der Darstellung wird eine qualitative Beurteilung kritischer Positionen in der Konstruktion durchgeführt. Die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche erlaubt einen ersten Eindruck hinsichtlich der Abschätzung des Risikos von Schimmelpilzbildung. Da diese hier unter dem Grenzwert von 70 % relativer Feuchte liegt, kann nach dem verallgemeinerten Isoplethenmodell (Abbildung 75) Schimmelpilzbildung ausgeschlossen werden. Erwartungsgemäß zeigen die Positionen im Bereich der Grenzschicht Bestandsmauerwerk zu Innendämmung – Innenputz Bestandswand („N2“, „K2“, „W2“), Klebeschicht („N4“, „K4“, W4“), und mauerseitig im 1. cm der Dämmung („N5“,

„K5“, „W5“) hohe relative Feuchten wobei das Maximum im Bereich „West“ (\max_{west}) liegt, gefolgt von Bereich „Nord“ (\max_{nord}) und „Kante“ (\max_{kante}) wie Abbildung 80 zeigt.

Als erstes (t_1) zeigt Bereich „Nord“ einen deutlichen Abfall dieser hohen relativen Feuchte im Bereich der Grenzschicht Bestandsmauerwerk zu Innendämmung, gefolgt von Bereich „West“ (t_2) und mit Verzögerung (t_3) und deutlich flacher ausgeprägt der Bereich „Kante“ wo die relative Feuchte nicht unter 75 % abfällt. Die relative Feuchte im Bereich „Nord“ geht im Sommer auf 60 %, im Bereich „West“ auf 65 % bis 70 % zurück. Die Dauer der Zustände hoher relativer Feuchte ist im Bereich „Kante“ am größten, gefolgt Bereich „West“ und „Kante“ ($d_3 > d_2 > d_1$).

Ursache für die hohe relative Feuchte in der nach Westen orientierten Wand (\max_{west} , $\Delta_2 < \Delta_1$) ist der Schlagregeneintrag. Auf Grund der 15 cm höheren Wanddicke der Bestandkonstruktion reagiert die Grenzschicht zur Innendämmung („W2“, „W4“, „W5“) im Vergleich zu der nach Norden orientierten Wand („N2“, „N4“, „N5“) mit Verzögerung ($t_2 > t_1$) auf die an der Konstruktion anliegenden klimatischen Verhältnisse.

Die hohe und zugleich lange andauernde relative Feuchte (\max_{kante} , $d_3 > d_1$) an der Grenzschicht im Bereich „Kante“ („K2“, „K4“, „K5“) resultiert aus der Überlagerung mehrerer Einflussgrößen. Es wirkt erstens die Schlagregenbelastung aus Westen, zweitens die geringe Wanddicke der Bestandswand Richtung Norden und drittens die höhere effektiv wirksame Dämmstoffdicke an der Position ($c^2 = a^2 + b^2$, bei $a = b = 9$ cm Dämmstoffdicke \rightarrow effektive Dämmstoffdicke in der Kante $c = 12,7$ cm) verglichen zum ungestörten Wandbereich.

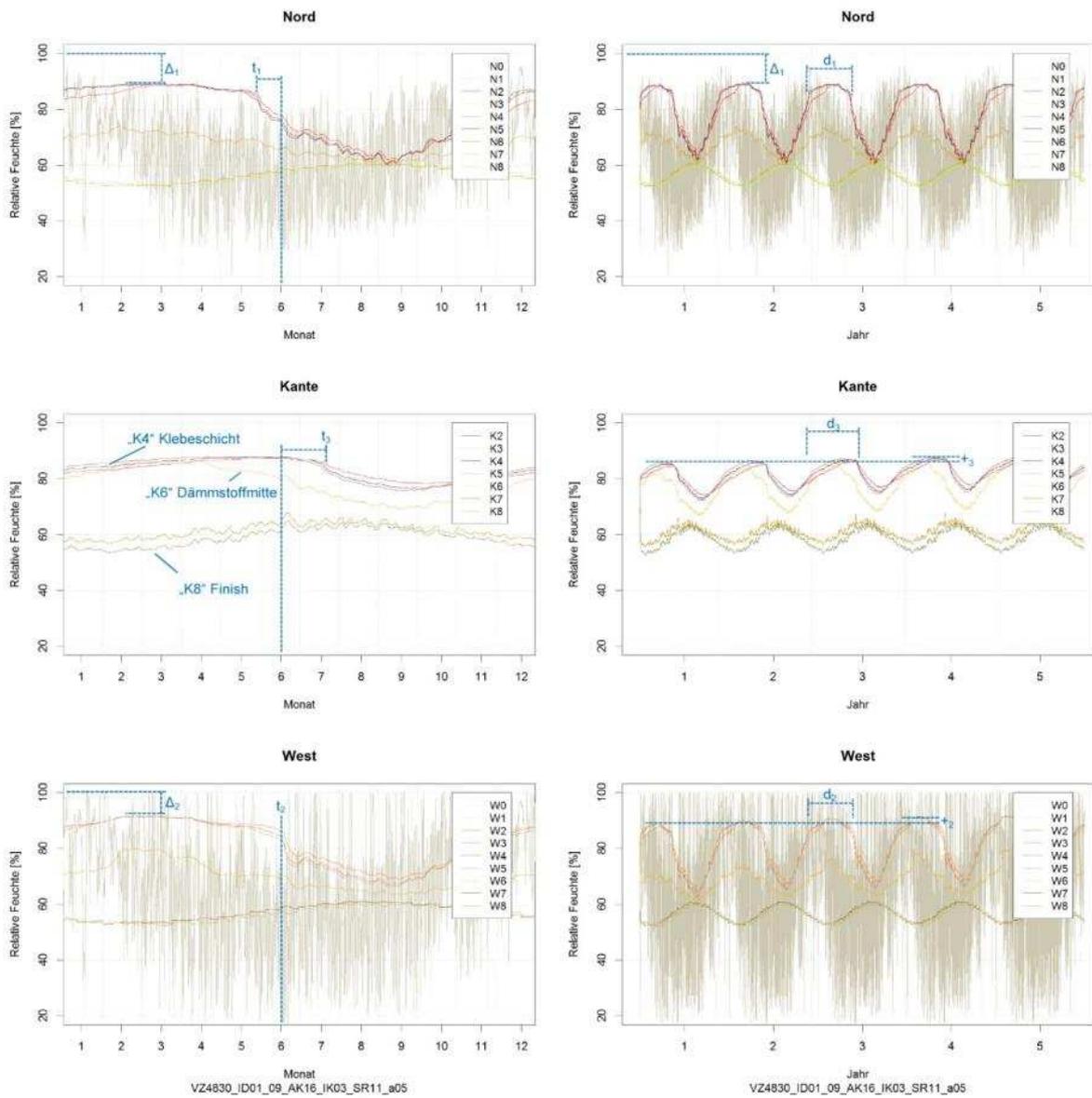


Abbildung 79 Zeitlicher Verlauf relative Feuchte, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

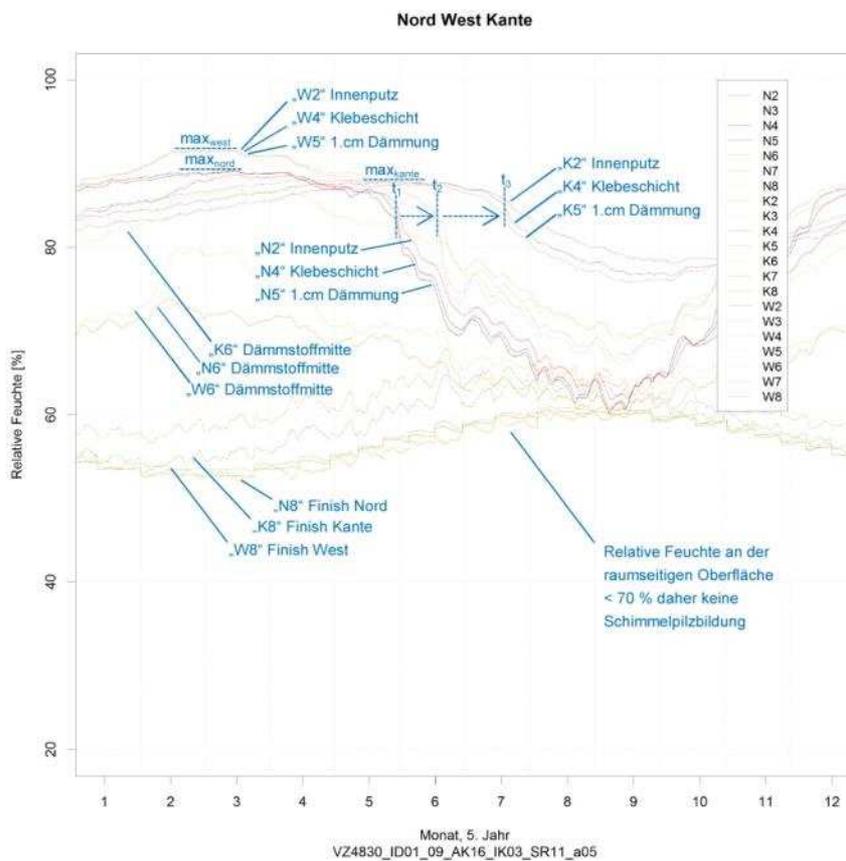


Abbildung 80 Zeitlicher Verlauf relative Feuchte im 5. Jahr, Vergleich der Bereiche „Nord“, „Kante“ und „West“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“

3.4.1.3 Wassergehalt

Die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion kann u.a. anhand der Wassergehalte in der Konstruktion beurteilt werden. Zum einen ist die Gebrauchstauglichkeit nach ÖNorm B 8110-2 [49] gegeben wenn die Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalt in einer Bauteilschicht nicht dazu führt dass der Wärmedurchlasswiderstand um 10 % oder mehr verringert wird, zum anderen wenn die Feuchtigkeit durch die Baustoffe gespeichert werden kann.

Das Feuchteverhalten, die Speicherung und Verteilung von Feuchte in mineralischen Baustoffen wird in erster Linie über die Porenradien-Verteilung definiert. Unter praktischen Gesichtspunkten sind in porosierten Materialien zwei Mechanismen maßgeblich, nämlich die Anlagerung von Wassermolekülen an den Porenwänden durch Oberflächenkräfte und die Aufnahme von ungebundenem Wasser in die Poren (vgl. *WTA Merkblatt 4-11 Messung des Wassergehalts bzw. der Feuchte von mineralischen Baustoffen* [64]).

Die Beurteilung des Wassergehalts in der Konstruktion kann für die Aggregatzustände Flüssigwasser, Dampf und Eis nach EN ISO 12570 Wärme und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur [66] wie in Abbildung 76 angeführt sowohl auf die Masse wie auch auf das Volumen bezogen erfolgen. Der massebezogene Wassergehalt u [kg/kg]

oder [M-%] bezeichnet das Verhältnis der in einem Stoff enthaltenen physikalisch gebundenen plus der freien Wassermenge zur Masse des trockenen Baustoffs. Der Wassergehalt u in Masseprozent lässt sich mit einfachen Hilfsmitteln (z.B. Waage, Trocknungsofen) leicht ermitteln und wird daher bevorzugt in M-% angegeben. (vgl. [64])

$$u = (m - m_0) / m_0 \quad [\text{kg/kg}]$$

$$u = ((m - m_0) / m_0) * 100 \% \quad [\text{M-\%}]$$

Hierbei bedeuten:

- u Wassergehalt in kg/kg bzw. M-%
- m Masse der entnommenen feuchten Baustoffprobe in kg, d.h. die Probe enthält physikalisch gebundenes plus freies Wasser.
- m_0 Masse der Baustoffprobe in kg nach dem Trocknen bis zur Massekonstanz, d.h. die Masse des Baustoffs ohne das ursprünglich enthaltene physikalisch gebundene plus freie Wasser.

Der volumenbezogene Wassergehalt ψ und der massebezogene Wassergehalt u stehen über folgende Formel in Beziehung [66]:

$$\psi = u * (\rho_0 / \rho_w) \quad [\text{m}^3/\text{m}^3]$$

$$\psi = u * (\rho_0 / \rho_w) * 100 \% \quad [\text{Vol-\%}]$$

Hierbei bedeuten:

- ψ Volumenbezogener Wassergehalt in m^3/m^3 bzw. Vol-%. Der volumenbezogene Wassergehalt bezieht sich auch bei Baustoffen mit Lufthohlräumen immer auf den Baustoff allein ohne die Hohlräume.
- u Wassergehalt in M-%
- ρ_0 Rohdichte des trockenen Baustoffs in kg/m^3 (Trockenrohichte)
- ρ_w Dichte des Wassers in kg/m^3 ; $\rho_{\text{Wasser}} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$

Die Ergebnisgrößen können dabei für jeden Aggregatzustand einzeln wie in Abbildung 81 für den auf die Masse bezogenen Flüssigwassergehalt, aber auch als deren Summe (Flüssigwasser + Dampf + Eis), dargestellt werden.

In einem ersten Schritt kann der Achsenbereich vorläufig anhand der Simulationsergebnisse festgelegt werden, sodass der Wertebereich der Ergebnisse komplett abgebildet und ein guter Überblick vermittelt wird. Für weiterführende Analysen hat es sich als zielführend erwiesen den dargestellten Wertebereich auf den im Fokus der Beurteilung stehenden zulässigen Wassergehalt, beispielsweise der Dämmung mit 0,08 oder 8 M-% zu begrenzen. Damit wird auf den ersten Blick sichtbar, ob der angesetzte Grenzwert überschritten wird.

Die Darstellung des Wassergehalts erlaubt eine Einschätzung hinsichtlich des „eingeschwungenen Zustands“ sowie der maximal zulässigen Wassergehalte an den

einzelnen Positionen (z.B. 1. cm der Dämmung, „N5“, „K5“, „W5“). Der Einfluss wesentlicher Parameter, wie Orientierung, zeigt sich an der nach Westen orientierten schlagregenbelasteten Wand anhand höhere Wassergehalte in der Konstruktion im Bereich der Außenoberflächen (Außenputz, Ziegel außen). Währenddessen fallen die Wassergehalte bei der nach Norden Orientierten Wand ohne Schlagregen deutlich geringer aus, was sich, wie in Abschnitt 1.4.7 gezeigt, in Verbindung mit dem Porensättigungsgrad günstig auf die Beurteilung der Frost-Tau-Wechsel auswirkt.

Die zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit definierten Grenzwerte sind einerseits als Maximalwert, andererseits als Mittelwert zu verstehen, wobei diese sowohl zeit- als auch flächenbezogen sein können. Dies ist bei der Durchführung und Beurteilung der Simulationsberechnungen zu berücksichtigen. Beispielsweise werden im WTA Merkblatt 6-2-14 [52] kritische Positionen – z.B. der 1. Cm der Dämmung – definiert während in der ÖNorm B 8110-2 [49] auf einzelne Bauteilschichten oder die Gesamtkonstruktion Bezug genommen wird. Neben den in Abbildung 60 festgelegten Positionen werden deshalb die in Abbildung 61 festgelegten Bereiche (z.B. Dämmschicht, Mauerwerk, Gesamtkonstruktion) analysiert (Abbildung 82). Eine Gegenüberstellung positionsbezogener und bereichsbezogener Ergebnisse (Abbildung 83 und Abbildung 84) erlaubt eine Einschätzung der Verteilung und Speicherung der Wassergehalte innerhalb der Konstruktion bzw. innerhalb einzelner Bauteilschichten, z.B. der Dämmung.

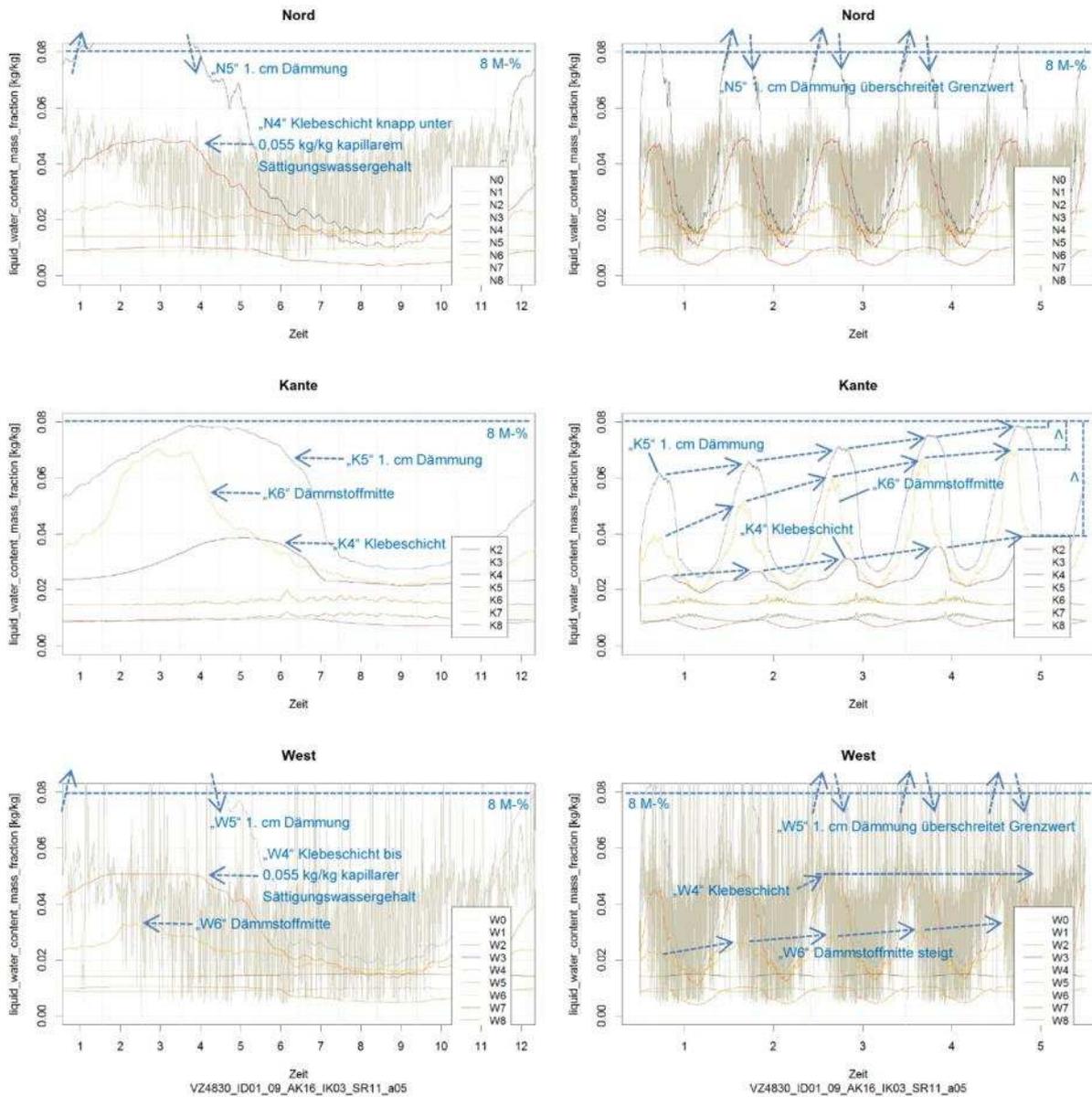


Abbildung 81 Zeitlicher Verlauf Wassergehalt „Positionen“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSK_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

Den Verlauf des massebezogenen Wassergehalts nach Messbereichen zeigt Abbildung 82. Für die Bereiche „Nord“ (oben), „Kante“ (mitte) und „West“ (unten) wird jeweils die gesamte Simulationsdauer (rechts) sowie der Jahresverlauf für das 5. Simulationsjahr (links) abgebildet. Diese Darstellungsform erlaubt wie Abbildung 81 eine Einschätzung hinsichtlich des „eingeschwungenen Zustands“ sowie hinsichtlich maximal zulässiger Wassergehalte, z.B. über die gesamte Dämmstoffdicke („NDA“, „KDA“, „WDA“).

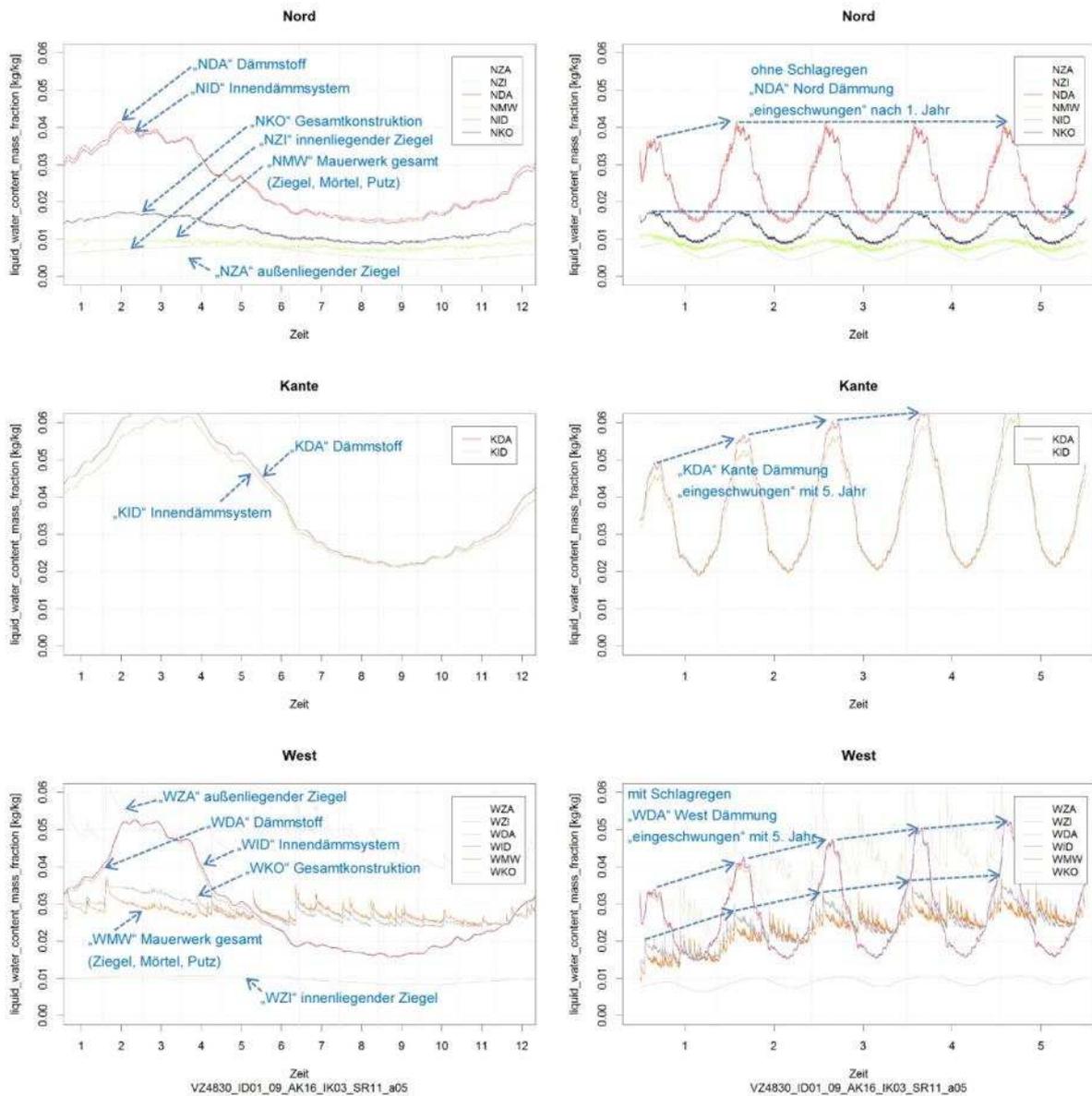


Abbildung 82 Zeitlicher Verlauf Wassergehalt „Bereiche“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

Abbildung 83 zeigt den Verlauf des Wassergehalts der untersuchten Messpositionen im direkten Vergleich von „Nord“, „Kante“ und „West“ für das 5. Simulationsjahr. Abbildung 84 zeigt den Verlauf des Wassergehalts der untersuchten Messbereiche im direkten Vergleich von „Nord“, „Kante“ und „West“ für das 5. Simulationsjahr. Anhand dieser beiden Abbildungen kann u.a. die Feuchteverteilung im Dämmstoff bzw. dessen Aufweitung oder Trocknungsverhalten analysiert werden. Aus dem Wassergehalt von „NDA“ lässt sich nicht erkennen ob der Wassergehalt über die gesamte Dämmstoffdicke gleichmäßig verteilt ist, oder dieser, wie anhand der positionsbezogenen Wassergehalte „N5“ 1. cm im Dämmstoff auf der Seite zum Mauerwerk, „N6“ in Dämmstoffmitte und „N7“ im Dämmstoff auf der Seite zum Innenraum zu erkennen ist, über die Dämmstoffdicke variiert. Umgekehrt zeigt eine Beurteilung anhand des 1. cm der Dämmung „N5“ nicht das noch über die restliche Dämmstoffdicke vorhandene Potential zur Aufnahme, Speicherung und Verteilung von Feuchte. Für die Beurteilung ist demnach eine auf Positionen und eine auf Bereiche bezogene Auswertung erforderlich. Beim vorliegenden Beispiel sind die unterschiedlichen Achsenbereiche (0,08 kg/kg in Abbildung 83, 0,06 kg/kg bei Abbildung 84) bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten.

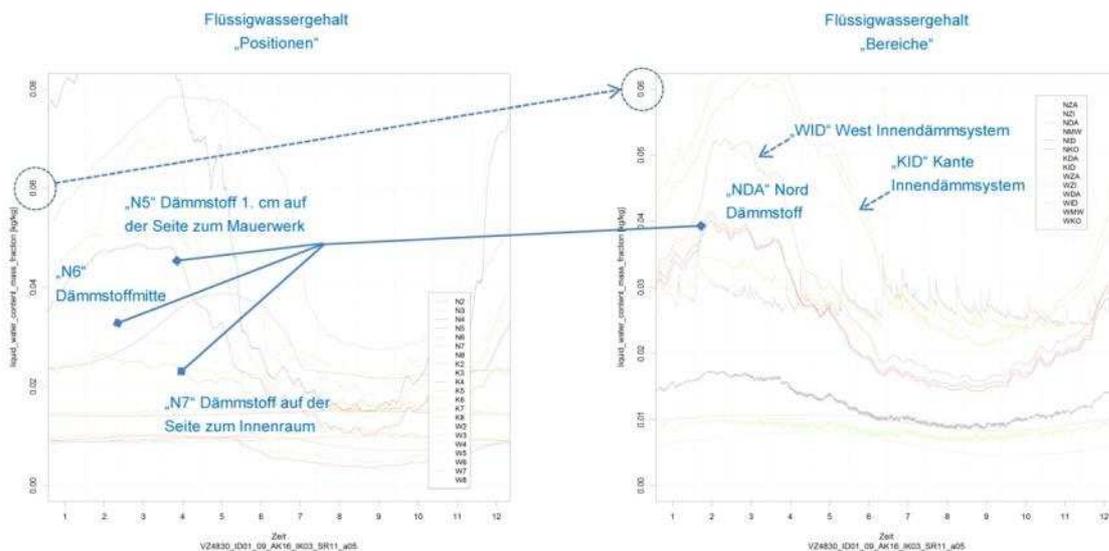


Abbildung 83 Massebezogener Flüssigwassergehalt nach Positionen, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

Abbildung 84 Massebezogener Flüssigwassergehalt nach Bereichen, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

3.4.1.4 Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen

Abbildung 85 zeigt das Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen und erlaubt dadurch, zusammen mit dem Sättigungsgrad (Tabelle 66 in Kapitel 1.4.7) und der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel (Tabelle 63 in Kapitel 1.4.7), eine Abschätzung der mechanischen Belastung der Bestandskonstruktion durch Frost. Im vorliegenden Fall, bei dem das Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen maximal 0,042 beträgt, besteht kein Risiko mechanischer Belastung durch Frost auf die Konstruktion.

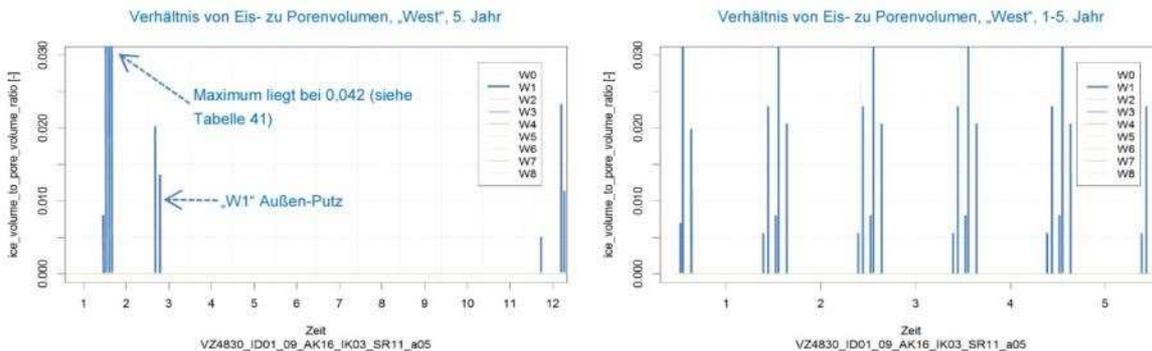


Abbildung 85 Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“

3.4.2 Jänner und 5. Jahr für Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Eine Darstellung von Ergebnisdaten – hier Temperatur, relative Feuchte und Wassergehalt – ermöglicht eine hohe Informationsdichte und gute Lesbarkeit, insbesondere beim Vergleich mehrerer Varianten. Nachfolgend werden einige der für alle relevanten Messpositionen und Messbereiche erstellten Darstellungen analysiert. Für die Darstellung wird neben dem Betrachtungszeitraum 5. Simulationsjahr der Monat Jänner im 5. Simulationsjahr gewählt, wobei jeweils die Innenraumklimata „IK01“ bis „IK09“ dargestellt werden.

Abbildung 86 zeigt den Anstieg der raumseitigen Oberflächentemperatur mit zunehmender Dämmstoffdicke im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“). Die Darstellung beinhaltet die ungedämmte wie auch die mit Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm sanierte Bestandswand. Die Amplitude der Temperaturschwankungen nimmt mit zunehmender Dämmstoffdicke ab (1→2). Deutlich zu erkennen ist das um 3 °C höhere Temperaturniveau bei „IK04“ (3). Durch die Applikation der Innendämmung steigt die Oberflächentemperatur, um 3 °C bei 3 cm Dämmstoffdicke (4) bis 5 °C bei 12 cm Dämmstoffdicke (5), wodurch das Risiko von Kondensat oder Schimmelpilzbildung auf der Oberfläche deutlich reduziert wird.

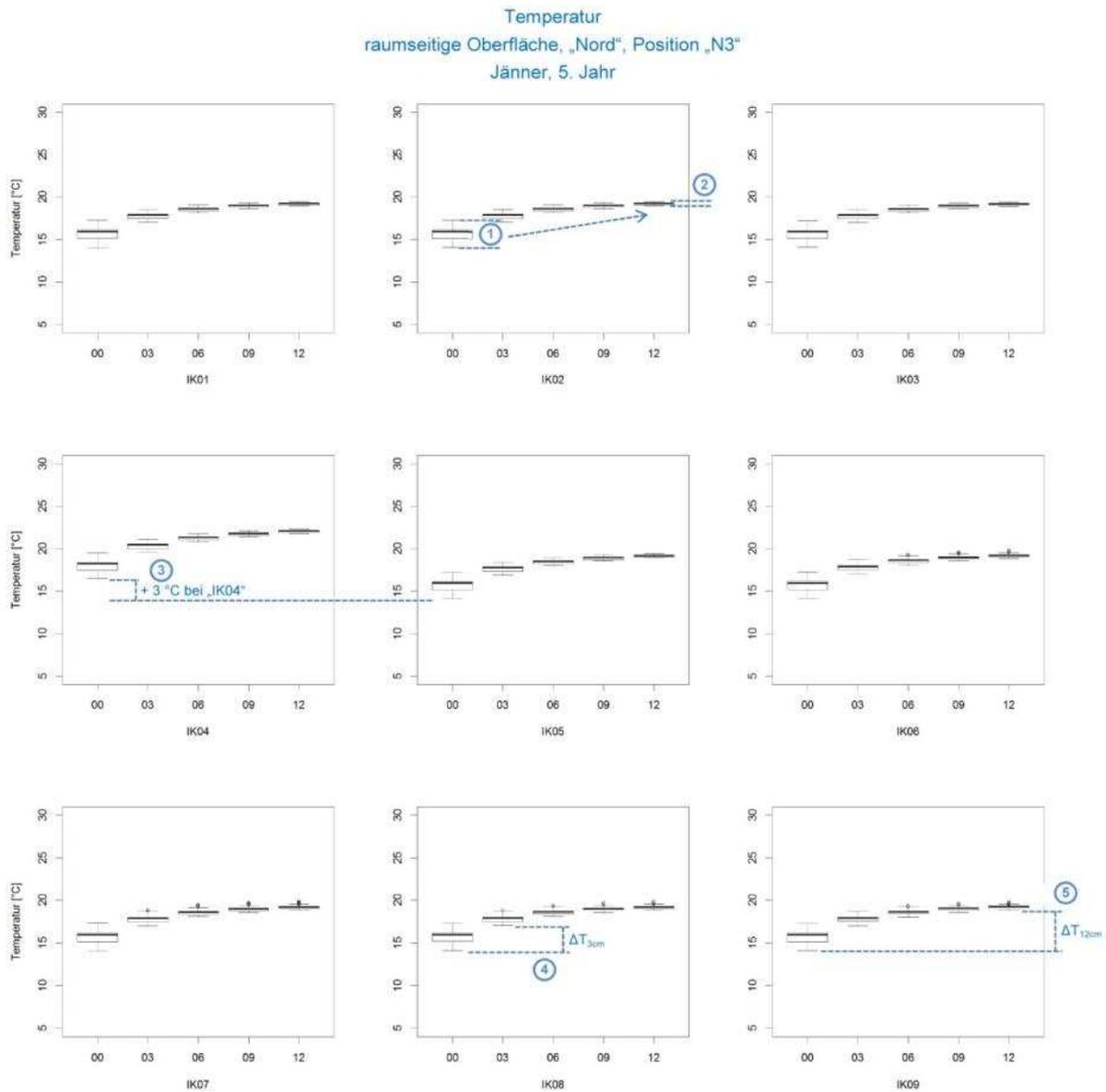


Abbildung 86 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis IK09.

Durch die Dämmmaßnahme wird über das Jahr gesehen der Median (10) mit zunehmender Dämmstoffdicke angehoben, wie Abbildung 87 zeigt. Temperaturspitzen, nach oben wie nach unten nehmen mit zunehmender Dämmstoffdicke ab (6→7). Amplitude (8) und Offset (9) der raumseitigen Oberflächentemperatur wird maßgeblich durch das Innenraumklima bestimmt.

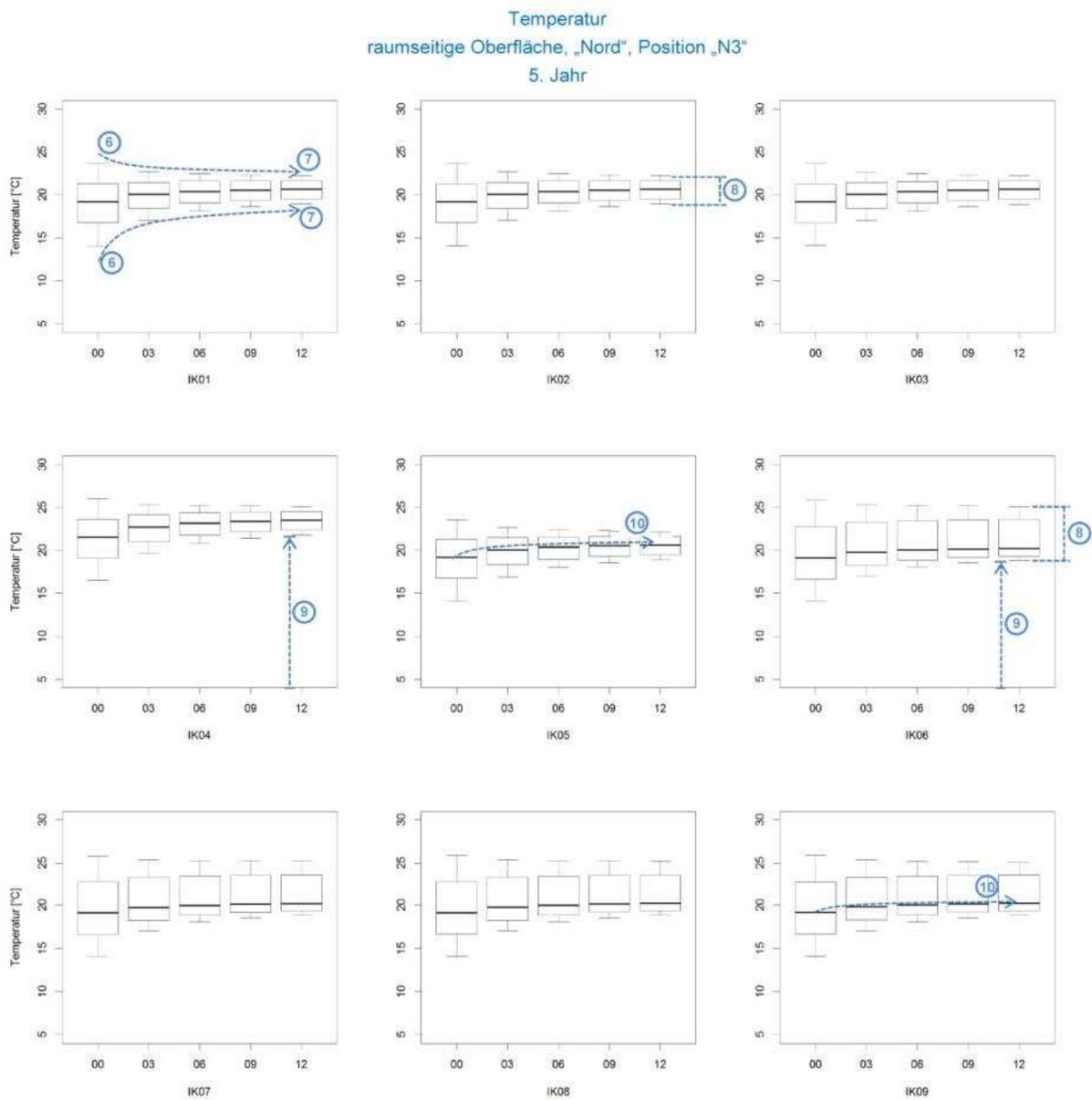


Abbildung 87 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Im Vergleich zum ungestörten Wandbereich (Abbildung 86) zeigen sich an der raumseitigen Oberfläche im Bereich „Kante“ „K3“ deutlich niedrigere Temperaturen (11) auf Grund der geometrischen Wärmebrücke (Abbildung 88). Weiter zeigt sich im Bereich „Kante“ in Folge der Innendämmung ein höherer Temperaturhub an der raumseitigen Oberfläche „K3“ als im ungestörten Wandbereich (13>4, 14>5), was wie bei 1.4.1.2 auf die höhere effektiv wirksame Dämmstoffdicke an der Position zurückzuführen ist. Insbesondere beim Bestand zeigen sich bei allen Innenraumklimata hinsichtlich des Risikos von Schimmelpilzbildung kritisch niedrige Temperaturen (15). Mit einer 3 cm Dämmung wird die Oberflächentemperatur bereits deutlich angehoben und damit das Risiko von Schimmelpilzbildung maßgeblich reduziert (16).

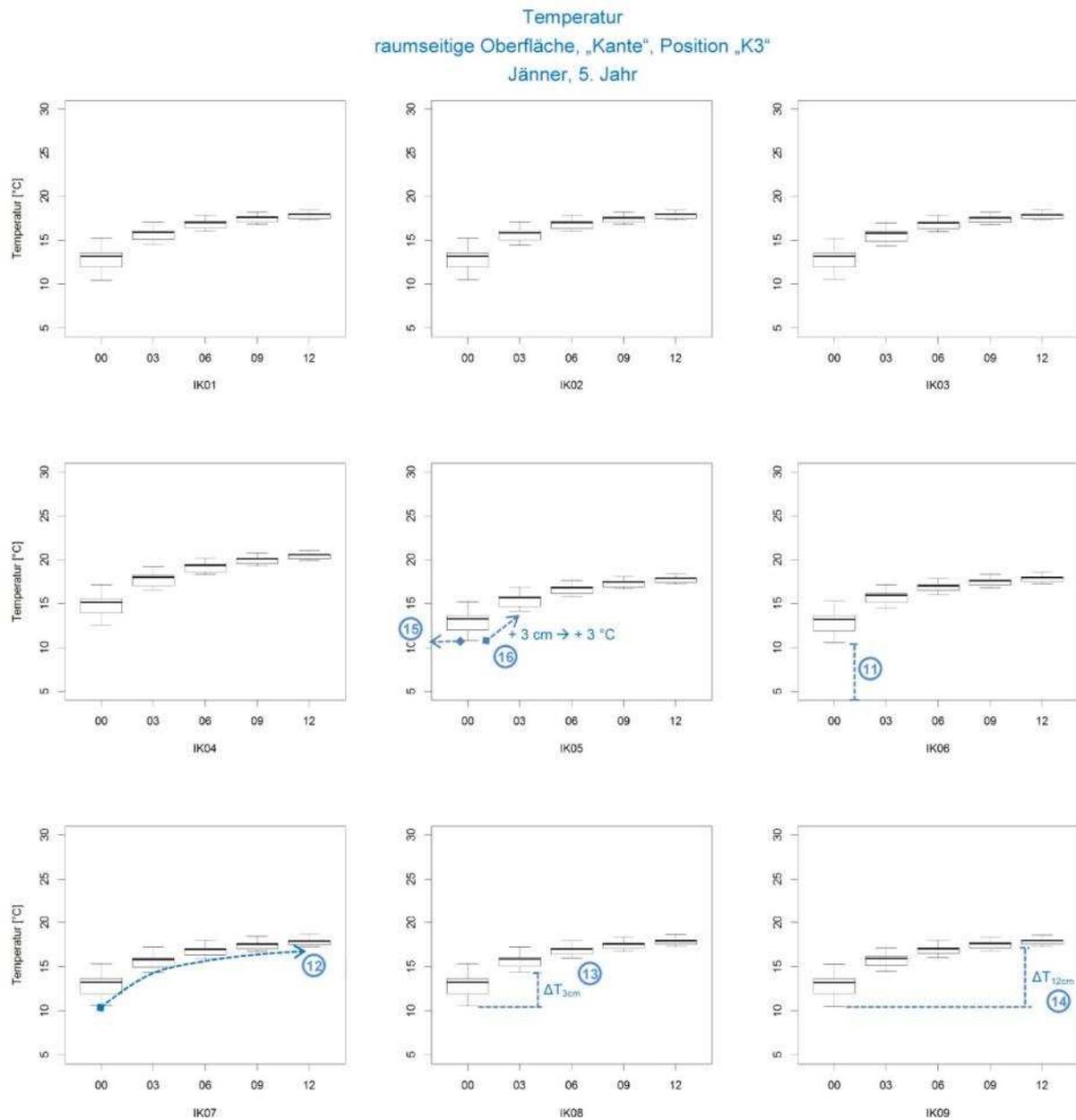


Abbildung 88 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 89 zeigt, dass sich auch hier – wie in Abbildung 87 – die Amplitude mit zunehmender Dämmstoffdicke über das Jahr reduziert (16→17). Grund dafür ist die zunehmende thermische Entkopplung von den schwankenden Außentemperaturen. Die Minimalwerte der Temperatur (18→19), wie auch der Median der Oberflächentemperatur (20→21) werden angehoben, die Maximalwerte der Temperatur (22→23) reduzieren sich.

Auf Grund größerer Dicke der Bestandswand liegen die Temperaturen der nach Westen orientierten Wand (nicht dargestellt) höher als im Bereich der Kante oder der nach Norden

orientierten Wand. Auch über das Jahr ergibt sich damit ein höheres Offset der Oberflächentemperatur im Vergleich zu Bereich „Nord“ und „Kante“.

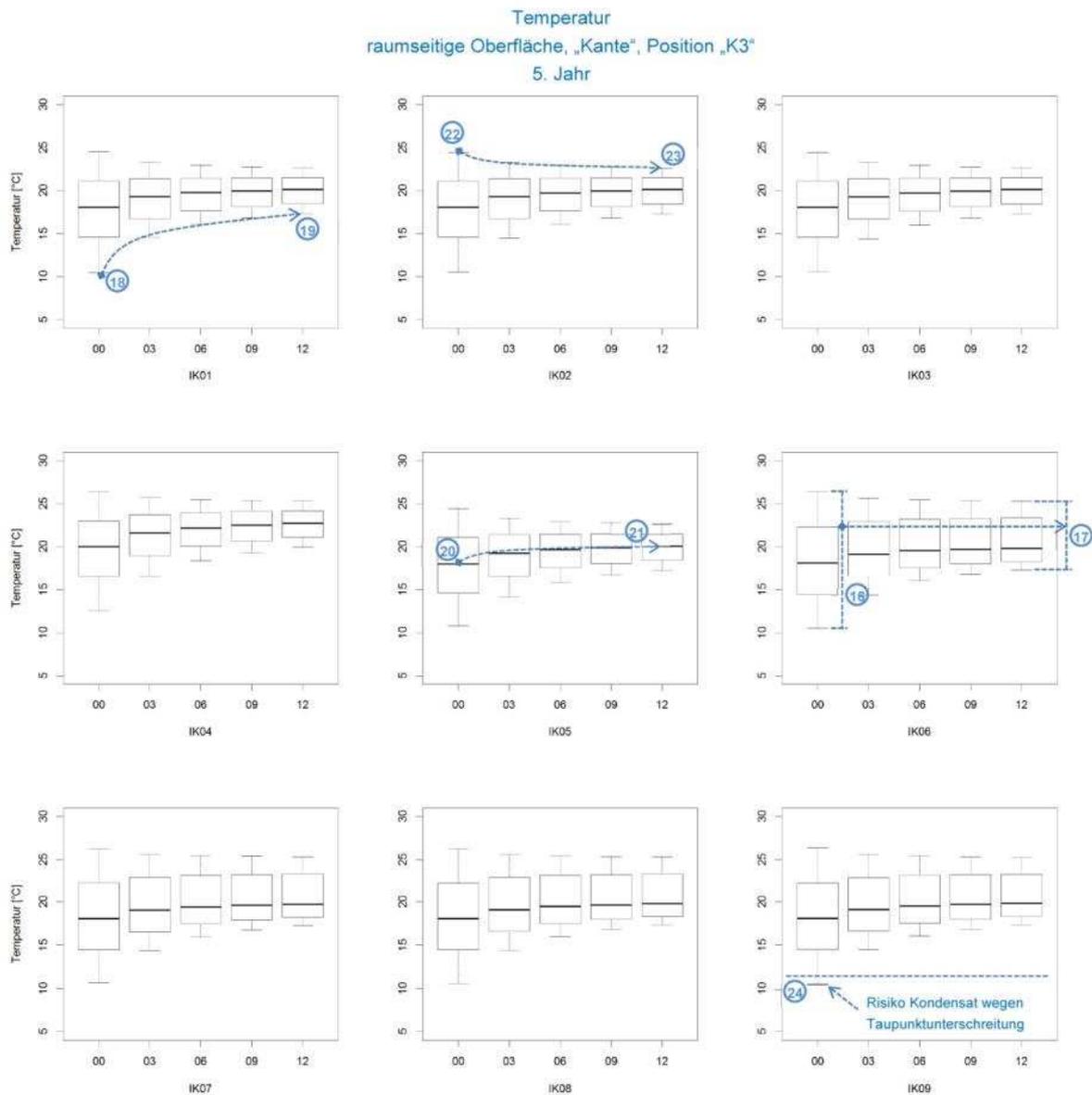


Abbildung 89 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Mit zunehmender Dämmstoffdicke führt die Erhöhung der Oberflächentemperatur (Abbildung 86) zu einer Reduktion der relativen Feuchte an der Oberfläche (Abbildung 90). Beim Innenraumklima mit geringer Feuchtelast zeigt sich, dass die relative Feuchte an der Oberfläche deutlich unter „LIM0“, der Grenze für mögliche Pilzaktivität liegt (1) und damit kein Risiko für Schimmelpilzwachstum gegeben ist (2). Mit zunehmender Feuchtelast aus dem Innenraumklima „IK03“ nimmt auch das Risiko von Schimmelpilzbildung an der Bauteiloberfläche zu (3). Kritische, zu Schimmelpilzbildung führende Feuchtezustände,

wie sie für den Bestand bei Innenraumklima „IK04“ (4) und „IK05“ (5) bei Baustoffen mit biologisch gut verwertbaren Substraten, wie Tapeten oder stark verschmutztem Material (Substratgruppe 1) vorliegen, können durch eine Dämmmaßnahme bereits ab 3 cm (Tabelle 29) ausgeschlossen werden.

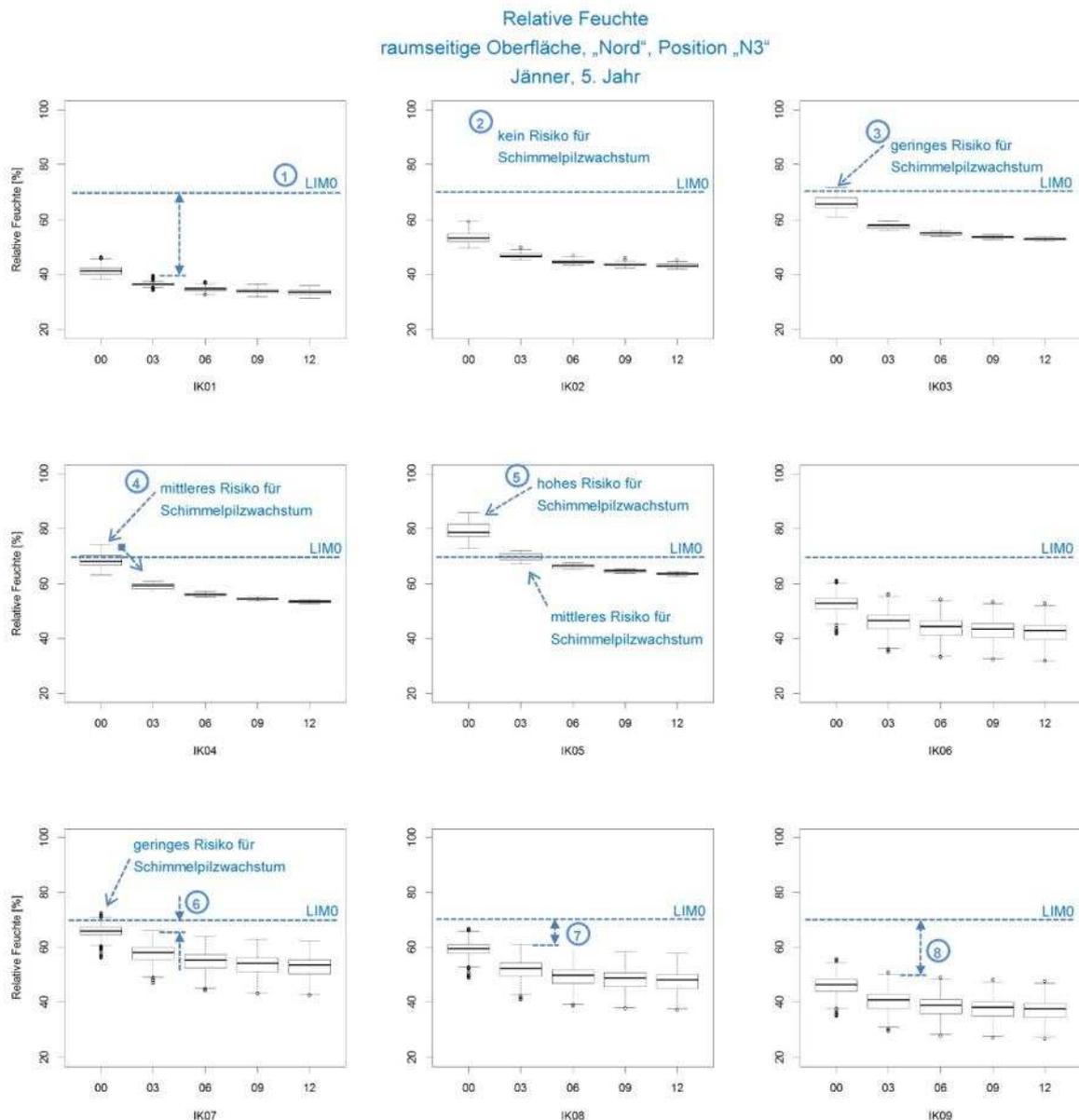


Abbildung 90 Relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Über das Jahr nehmen Median (9) und Maximalwerte mit zunehmender Dämmstoffdicke ab (Abbildung 91). Im Vergleich zur Temperatur (Abbildung 87), bei der sich die Minimalwerte erhöhen, nehmen diese bei der relativen Feuchte – abgesehen von „IK05“ (10) – mit zunehmender Dämmstoffdicke ab (11). Die Amplitude der relativen Feuchte an der Oberfläche (12) wird bei „IK05“ durch die Dämmmaßnahme und die daraus resultierenden

geringeren Temperaturschwankungen im Vergleich zur Bestandsoberfläche deutlich reduziert (13). Generell zeigt sich, dass aufgrund der zunehmenden Entkopplung vom Außenklima mit steigender Dämmstoffdicke eine Angleichung der Verteilung der relativen Feuchte an der Oberfläche an die Verteilung der relativen Feuchte in der Raumluft stattfindet (14→15).

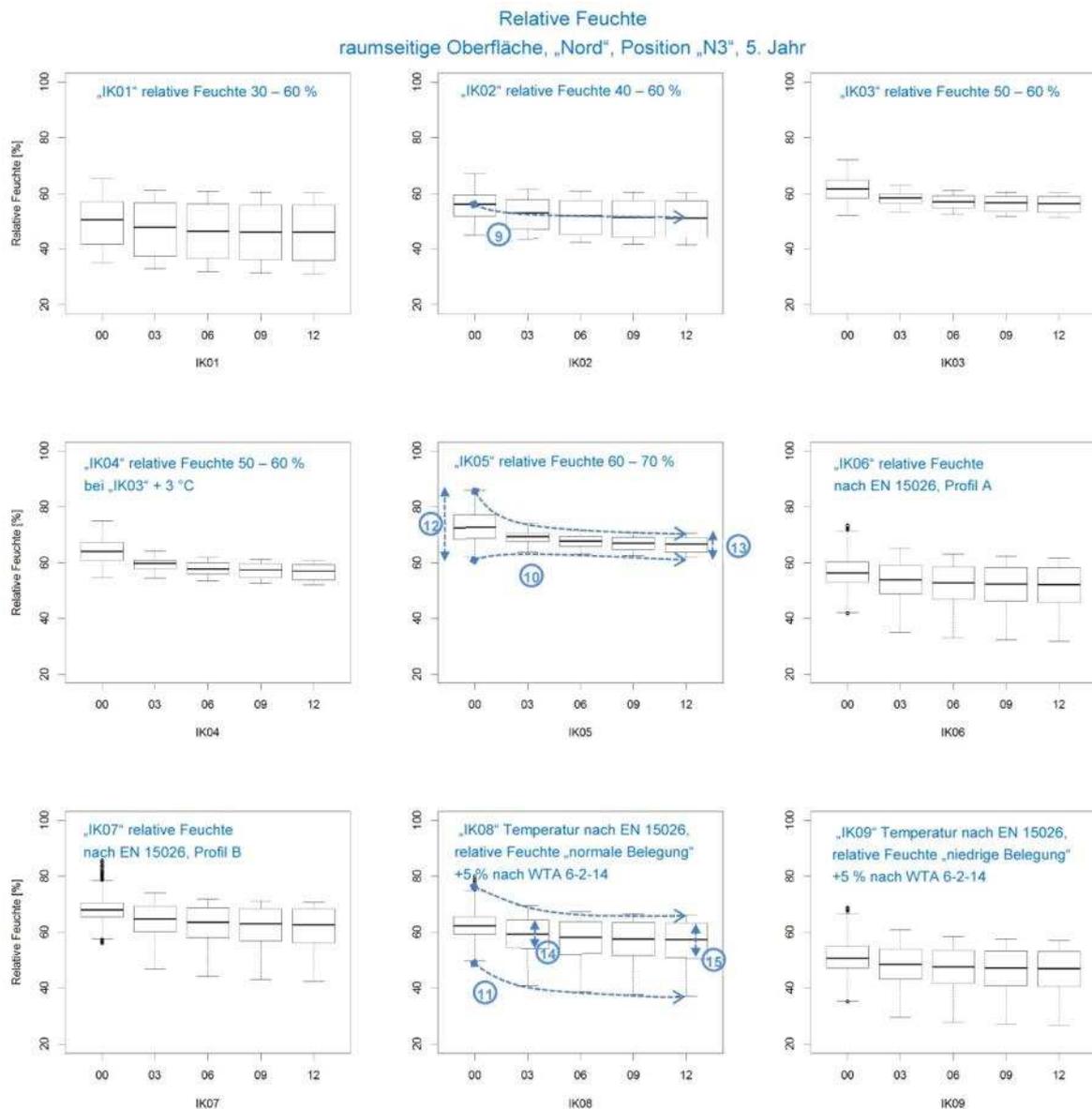


Abbildung 91 Relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 92 zeigt, dass die relative Feuchte im Bestand im Bereich „Kante“ wesentlich höher liegt als im ungestörten Wandbereich (Abbildung 90). Diese hohen relativen Feuchten sind insbesondere für den Bestand (18, 19, 20, 25 und 26), aber auch für die mit 3 cm (21) und 6 cm (22) gedämmte Variante bei Innenraumklima "IK05" (21) als kritisch hinsichtlich des Risikos für Schimmelpilzbildung einzustufen, wie Tabelle 28 und Tabelle 30 in Kapitel

1.4.5 zeigen. Durch die Reduktion der relativen Feuchte in Folge der Dämmmaßnahme können die Maximalwerte und damit Dauer und Häufigkeit kritischer Zustände hinsichtlich Schimmelpilzbildung reduziert werden, so dass es zu keiner Schimmelpilzbildung kommt, wie Tabelle 29 in Kapitel 1.4.5 zeigt. Obgleich bei Innenraumklima "IK07" und "IK08" das Risiko von Schimmelpilzbildung im Bereich „Kante“ im Bestand höher ausfällt als beim ungestörten Wandbereich, zeigt sich für die gedämmten Varianten kaum ein Unterschied (27~6, 28~7, 29~8).

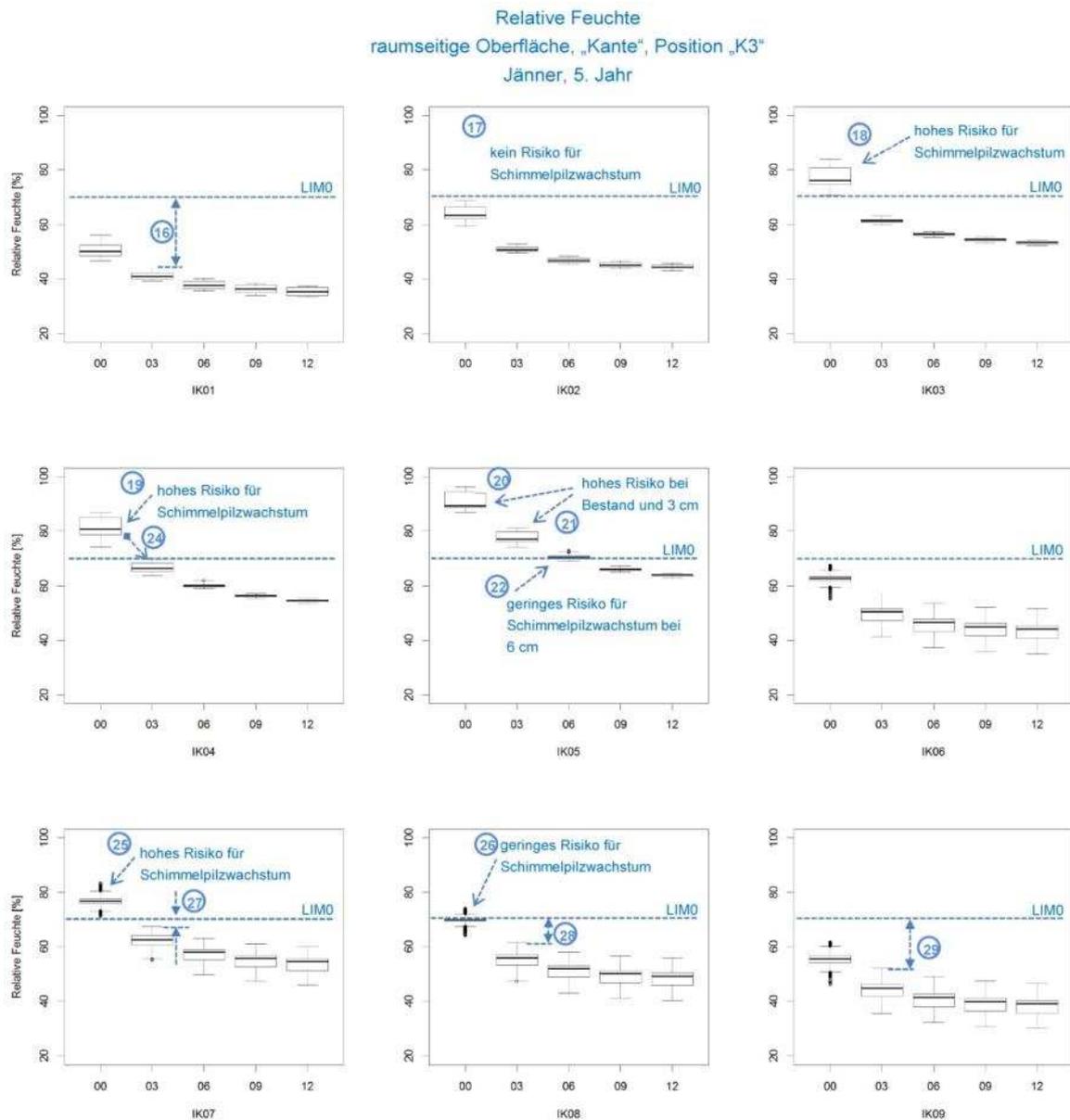


Abbildung 92 Relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 93 zeigt, wie Abbildung 91 über das Jahr, eine Abnahme der relativen Feuchte an der raumseitigen Oberfläche in der „Kante“ mit zunehmender Dämmstoffdicke. Im Bereich Westen (nicht dargestellt) fällt die Amplitude der relativen Feuchte und der Offset – wieder auf Grund der höheren Dicke der Bestandswand – geringer aus als bei „Kante“ und „Nord“. Offset und Amplitude der relativen Feuchte über das Jahr werden maßgeblich vom Innenraumklima bestimmt, wobei sich hinsichtlich der Minima und Maxima zwei typische Verläufe über die Dämmstoffdicke ausbilden, die je nach Feuchtelast des Innenraumklimas unterschiedlich stark ausgeprägt sind (1 und 2). Verlauf (2) zeigt einen Anstieg der Minima der relativen Feuchte bei Dämmstoffdicken von 3 cm (3) gegenüber der ungedämmten Bestandswand, woraus auf den ersten Blick ein höheres Risiko hinsichtlich

Schimmelpilzbildung abgeleitet werden könnte. Gleichzeitig sinken aber Maximalwerte (4) und Median (5) der relativen Feuchte stark ab. Dieser Hub der Minima der relativen Feuchte bei 3 cm Dämmstoffdicke resultiert aus dem deutlichen Anstieg der Oberflächentemperatur. Erst mit zunehmender Dämmstoffdicke (6) dominiert dann wieder der Einfluss der anliegenden Raumklimabedingungen.

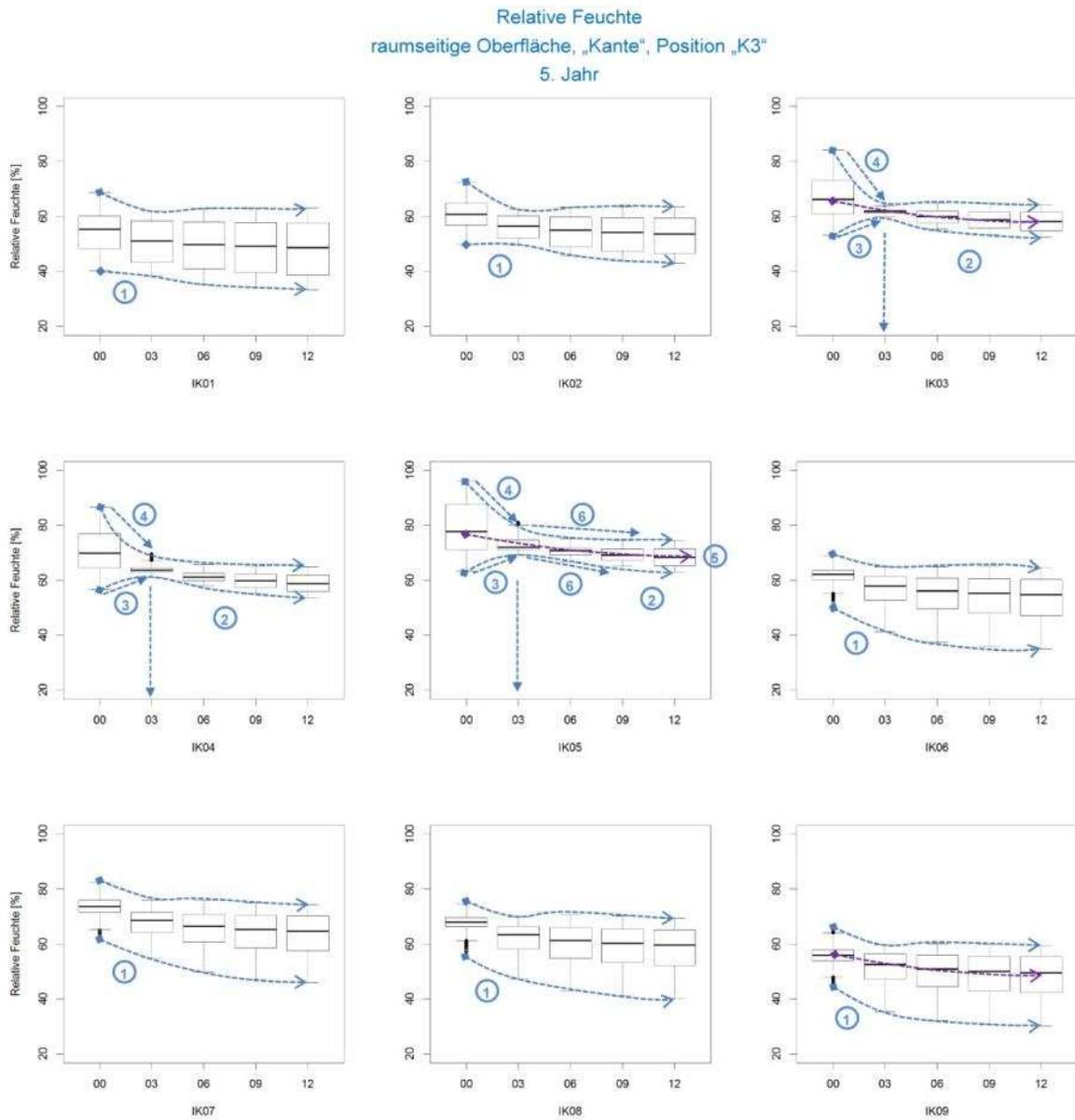


Abbildung 93 Relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 94 zeigt den Wassergehalt im Jänner. Im 1. cm der Dämmung („N5“) steigt der Wassergehalt im Bereich „Nord“ bei hohen Feuchtelasten (Innenraumklima „IK03“, „IK04“, „IK05“, „IK06“, „IK07“ und „IK08“) bis zu einem Maximum (1) bei einer Dämmstoffdicke von 6 cm (2) und nimmt mit weiter zunehmender Dämmstoffdicke ab (3), wobei der Höchstwert bei

„IK05“ bei 16 kg/m^3 liegt (4). Bei geringen Feuchtelasten („IK01“, „IK06“ und „IK09“) liegt das Maximum (5) des Wassergehalts bei einer Dämmstoffdicke von 9 cm (6) und nimmt mit weiter zunehmender Dämmstoffdicke ab (7). Die Verschiebung des Maximums von 6 cm auf 9 cm erfolgt ab einem Maximum des Wassergehalts von 9 kg/m^3 (8→9).

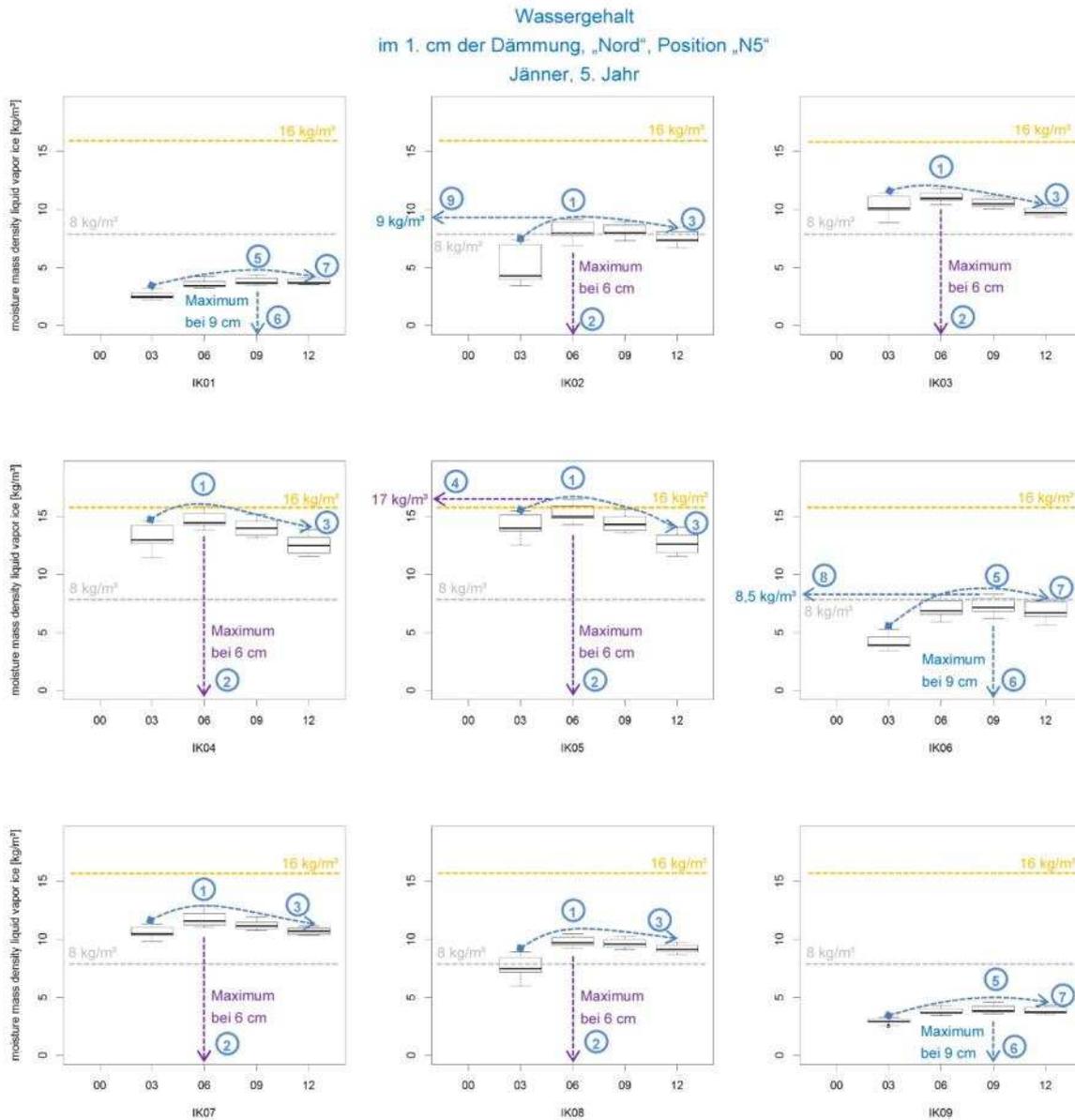


Abbildung 94 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N5“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 95 zeigt, dass der Median des Wassergehalts über das Jahr mit zunehmender Dämmstoffdicke ansteigt (10→11). Bei Innenraumklima „IK02“ und „IK03“ zeigt sich dieser Anstieg ebenfalls, jedoch kommt es zwischen einer Dämmstoffdicke von 9 cm auf 12 cm wieder zu einer geringfügigen Abnahme (13→14). Die höchsten Werte des Median des Wassergehalts an der Position „N5“ sind, obgleich sich die Maximalwerte dabei deutlich

unterscheiden, bei Innenraumklima „IK05“ mit $9,5 \text{ kg/m}^3$ (15) und bei „IK07“ mit 9 kg/m^3 (16) fast ident.

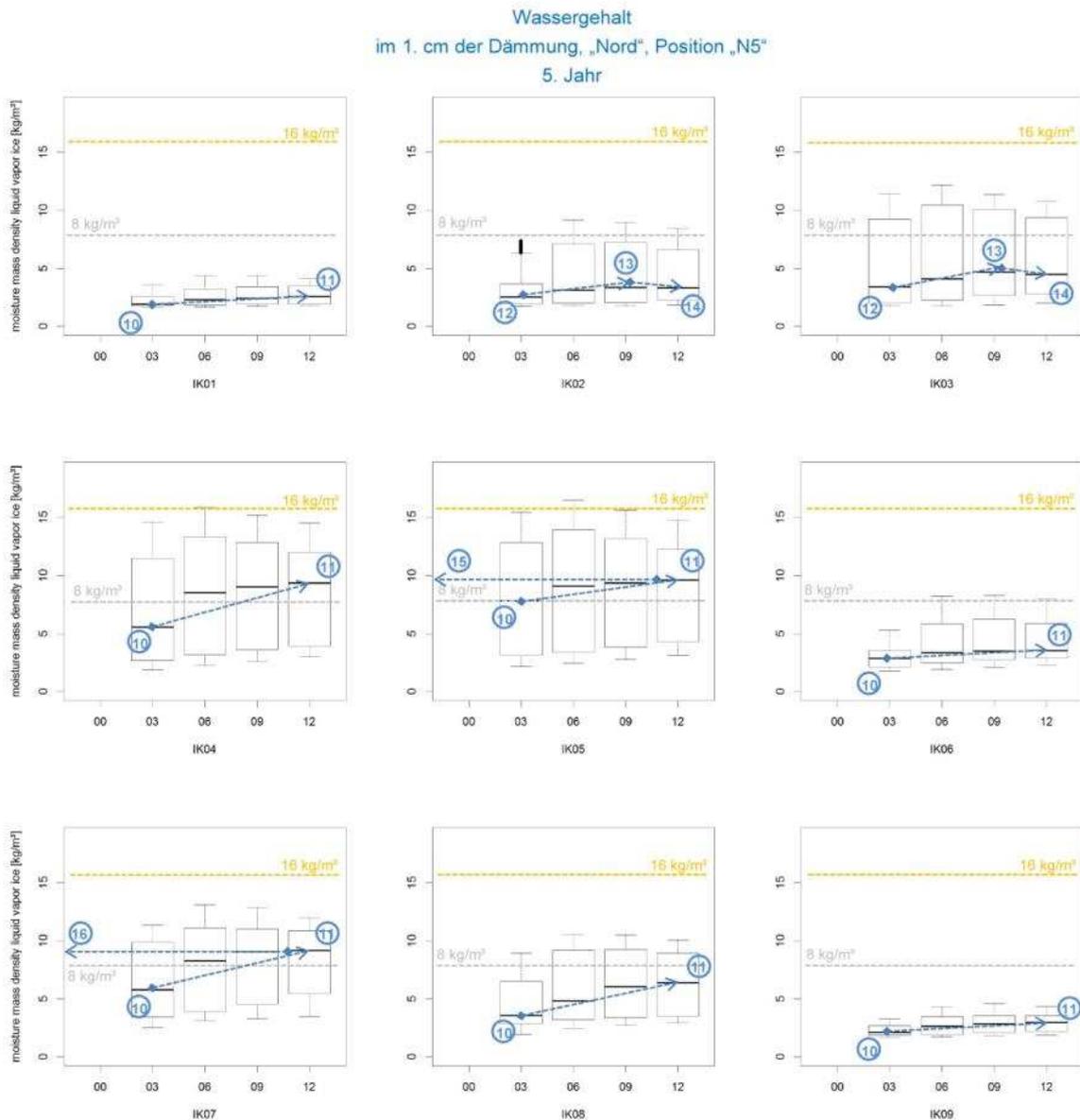


Abbildung 95 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N5“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 96 zeigt, dass sich das Maximum des Wassergehalts im 1. cm der Dämmung („W5“) im Jänner im Vergleich zu Bereich „Nord“ (Abbildung 94) – abgesehen von „IK03“ – jeweils um 3 cm hin zur nächst höheren Dämmstoffdicke verschiebt. So liegt das Maximum des Wassergehalts bei „IK02“, „IK04“, „IK05“, „IK07“ und „IK08“ bei 9 cm, das Maximum des Wassergehalts bei „IK01“, „IK06“ und „IK09“ bei 12 cm. Die Wassergehalte liegen, insbesondere bei Dämmstoffdicken von 9 cm und 12 cm über jenen im Bereich „Nord“

(Abbildung 94). Der Grenzwert von 16 kg/m^3 wird bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ überschritten.

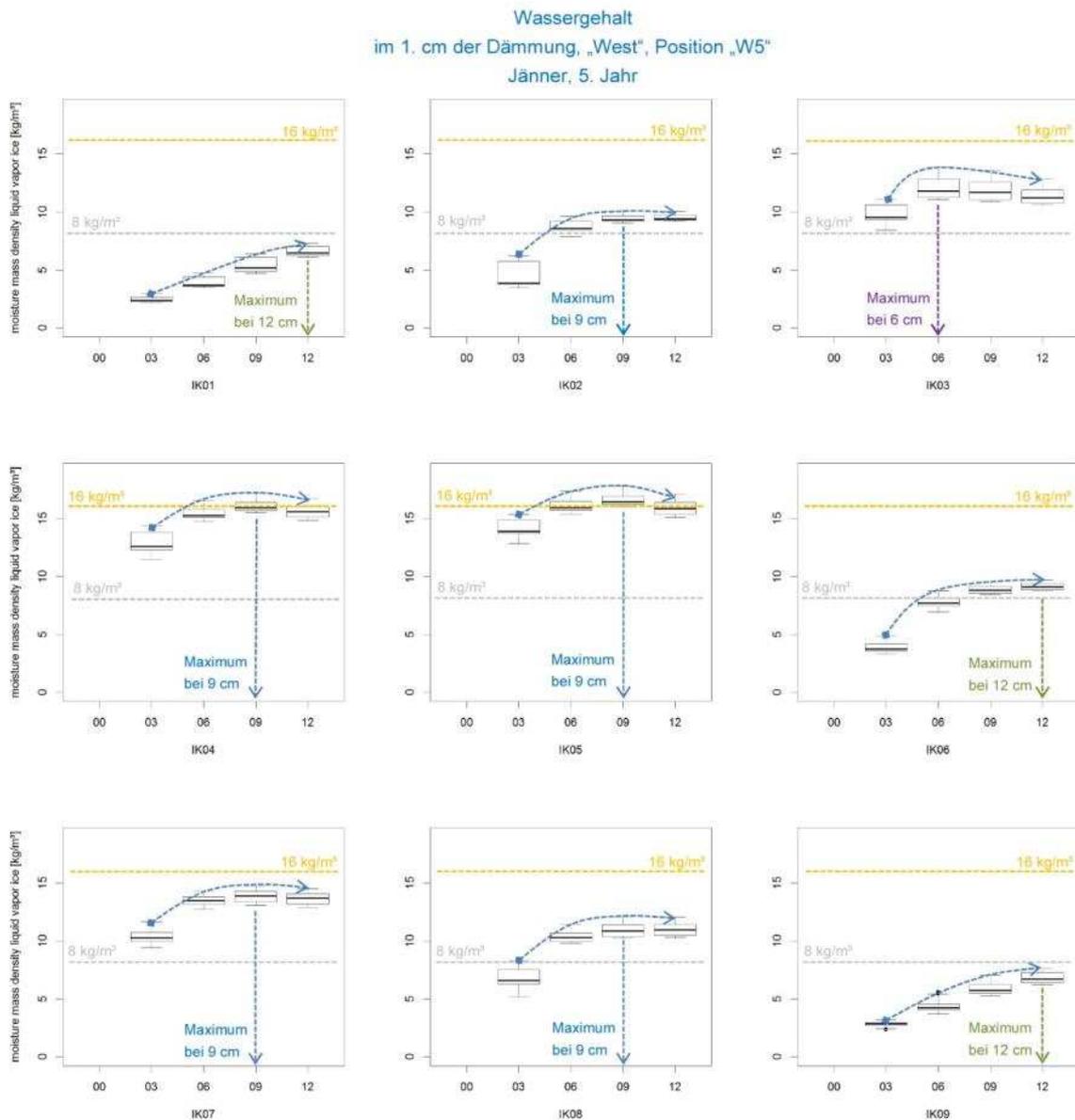


Abbildung 96 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Westen orientierten Außenwand (Position „W5“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

Abbildung 97 zeigt, die mit zunehmender Dämmstoffdicke steigenden Wassergehalte über das Jahr wobei die Werte – auf Grund der Schlagregenbelastung – bei der nach Westen orientierten Wand, trotz der höheren Dicke der Bestandswand über jenen, der nach Norden orientierten Wand ohne Schlagregen (Abbildung 95) liegen. Mit zunehmender Feuchtelast aus dem Innenraumklima sinkt die Reserve auf den Grenzwert von 16 kg/m^3 ($19 > 18 > 17$). Der Grenzwert von 16 kg/m^3 wird bei „IK04“ (20) und „IK05“ (21) überschritten wobei jeweils zumindest 75 % der Werte unter dem Grenzwert liegen.

Wassergehalt
im 1. cm der Dämmung „West“, Position „W5“
5. Jahr

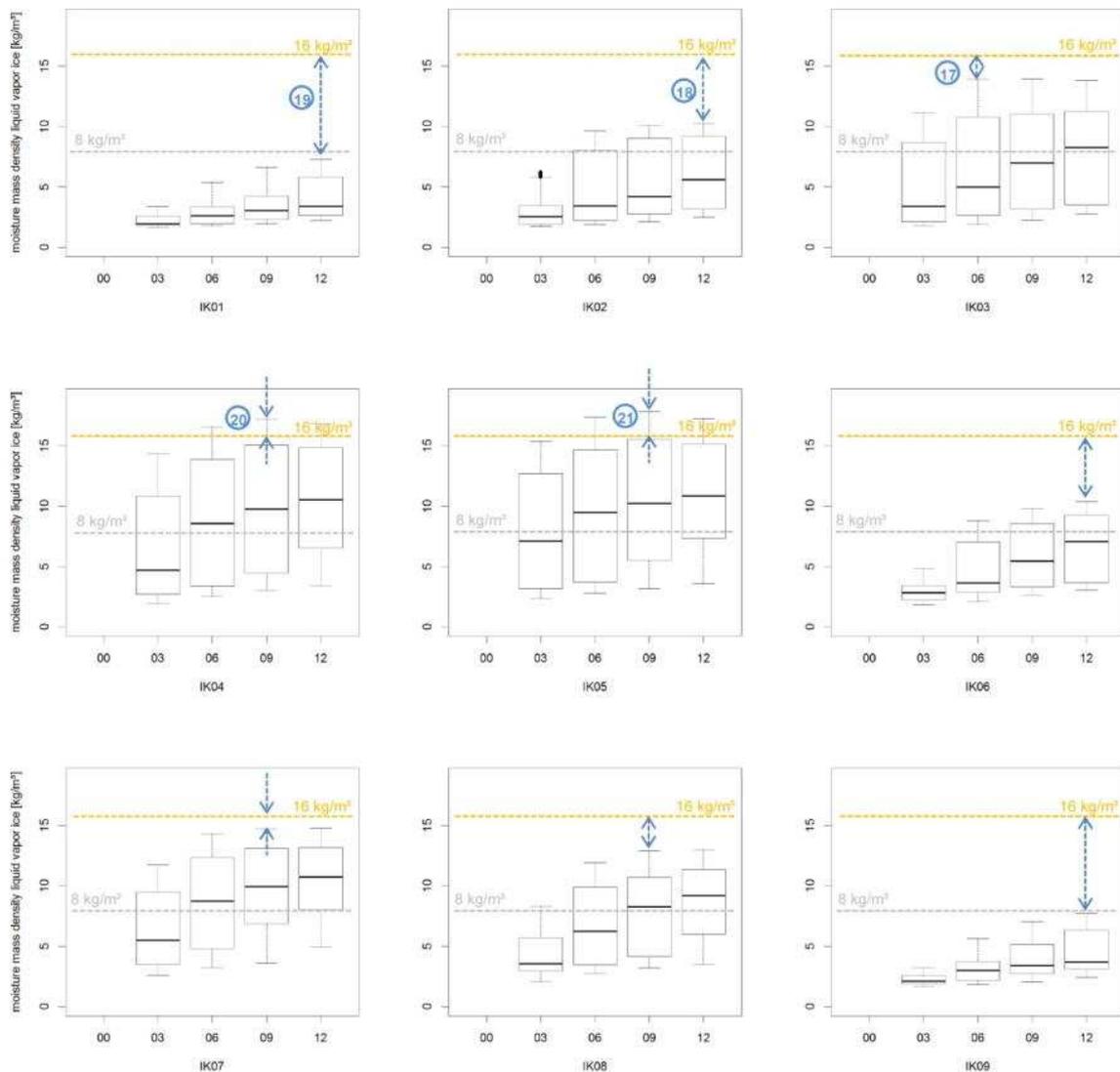


Abbildung 97 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Westen orientierten Außenwand (Position „W5“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.

3.4.3 Jänner und 5. Jahr für Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“)

Die Analyse von Klimadaten – wie sie auch im Forschungsprojekt „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung“ [67] oder in der Arbeit zur Ermittlung eines Bemessungs-Außenklimas für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit einer innengedämmten Wandkonstruktion [68] durchgeführt wurden – zeigt, dass der Standort Klagenfurt hinsichtlich der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit ein geeignetes, weil kritisches Außenklima liefert. Ergänzend zum Standort Wien – der auf Grund seiner Bausubstanz mitunter das größte Sanierungspotential in Österreich darstellt – werden nachfolgend, analog zum vorangegangenen Abschnitt ausgewählte Ergebnisse für

Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{Klagenfurt,kalt}$ „AK05“) dargestellt. In den Abbildungen sind für den direkten Vergleich die Ergebnisse für das Außenklima Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) grau hinterlegt. Für das Außenklima Klagenfurt wird die Simulationsreihe und damit auch die Darstellung der Ergebnisse auf Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ begrenzt.

Abbildung 98 und Abbildung 99 zeigt die – durch das Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{Klagenfurt,kalt}$ „AK05“) bedingte – niedrigere Temperatur an der raumseitigen Oberfläche (ΔT) der nach Norden orientierten Wand (1). Über das Jahr gesehen sind die Temperaturunterschiede gering und nur bei nicht oder wenig gedämmtem Mauerwerk im Bereich der Minimaltemperaturen $T_{min,Wien}$ (3) und $T_{min,Klagenfurt}$ (4) erkennbar. Mit zunehmender Dämmstoffdicke nimmt der Einfluss des Außenklimas auf die Temperatur der raumseitigen Oberfläche, bedingt durch die steigende thermische Entkopplung ab und ΔT geht gegen Null (1→2, 5→6). Im Bereich „Kante“ (nicht dargestellt) sind die Temperaturunterschiede auf Grund der geometrischen Wärmebrücke etwas stärker ausgeprägt.

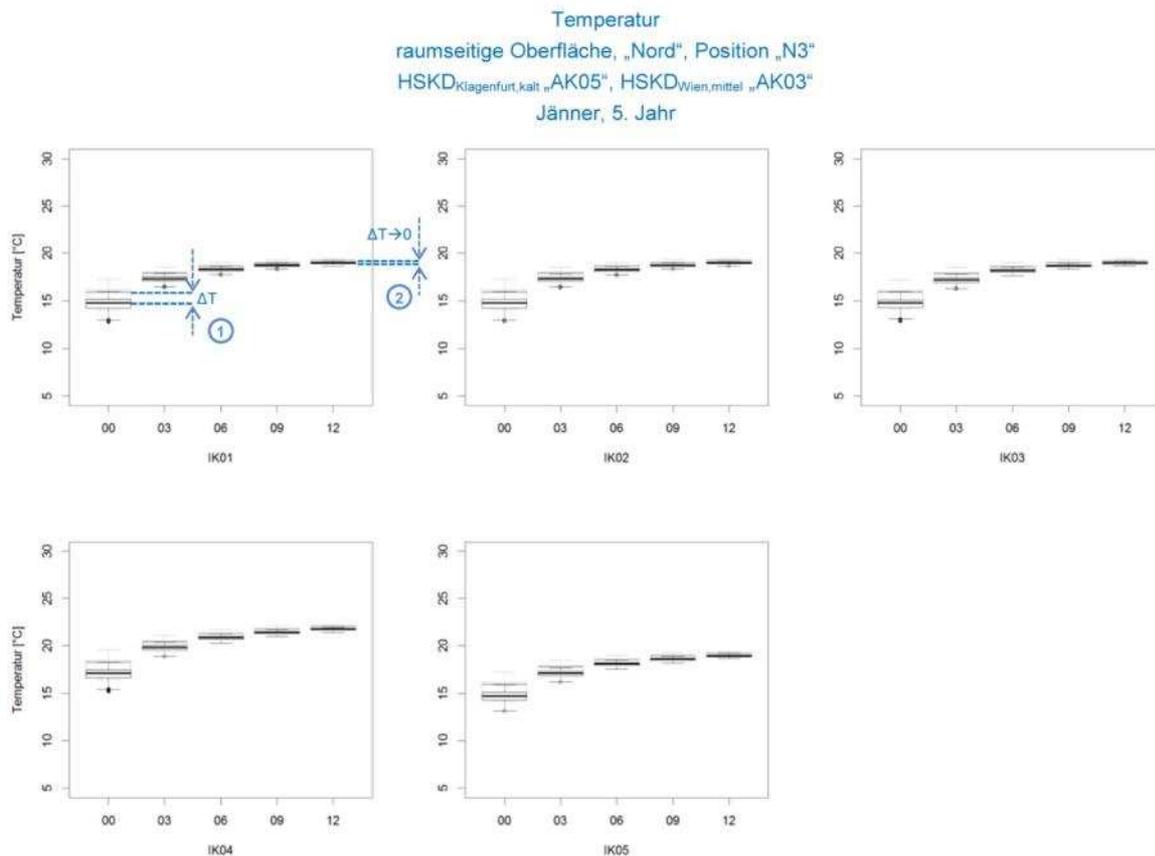


Abbildung 98 Temperatur, Klagenfurt ($HSKD_{Klagenfurt,kalt}$ „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N3“, im Jänner, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“)

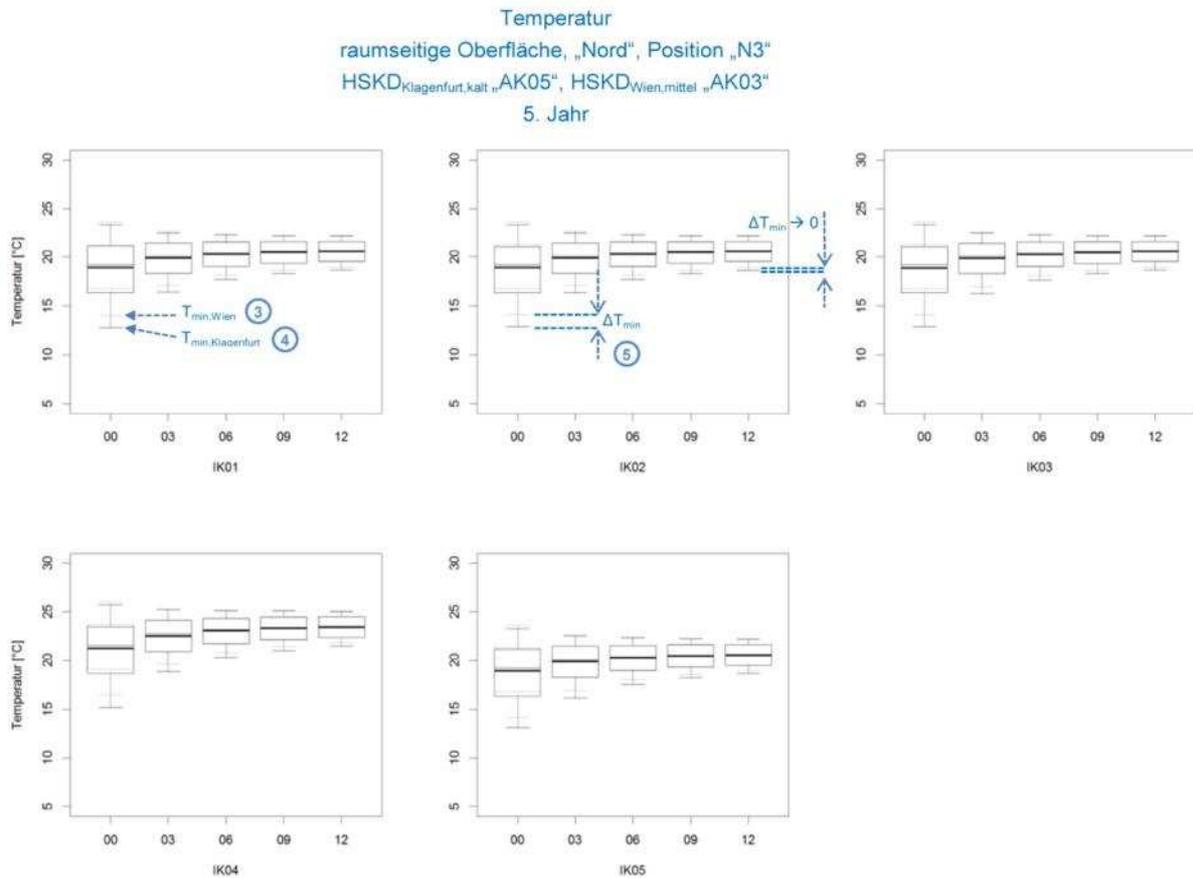


Abbildung 99 Temperatur, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N3“, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Abbildung 100 und Abbildung 101 zeigt die – durch das Außenklima bedingte, aus dem Temperaturunterschied resultierende – höhere relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche (7) bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) im Vergleich zu Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) (8). Mit zunehmender Dämmstoffdicke nimmt auch der Einfluss des Außenklimas auf die relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche ab. Ab einer Dämmstoffdicke von 12 cm sind diese für Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) und Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) nahezu ident (9). Die erhöhte relative Feuchte in Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) (12>11) führt bei nicht, oder wenig gedämmten Konstruktionen Innenraumklima „IK03“, „IK04“ und „IK05“ zu einem zunehmenden Risiko von Schimmelpilzbildung (10).

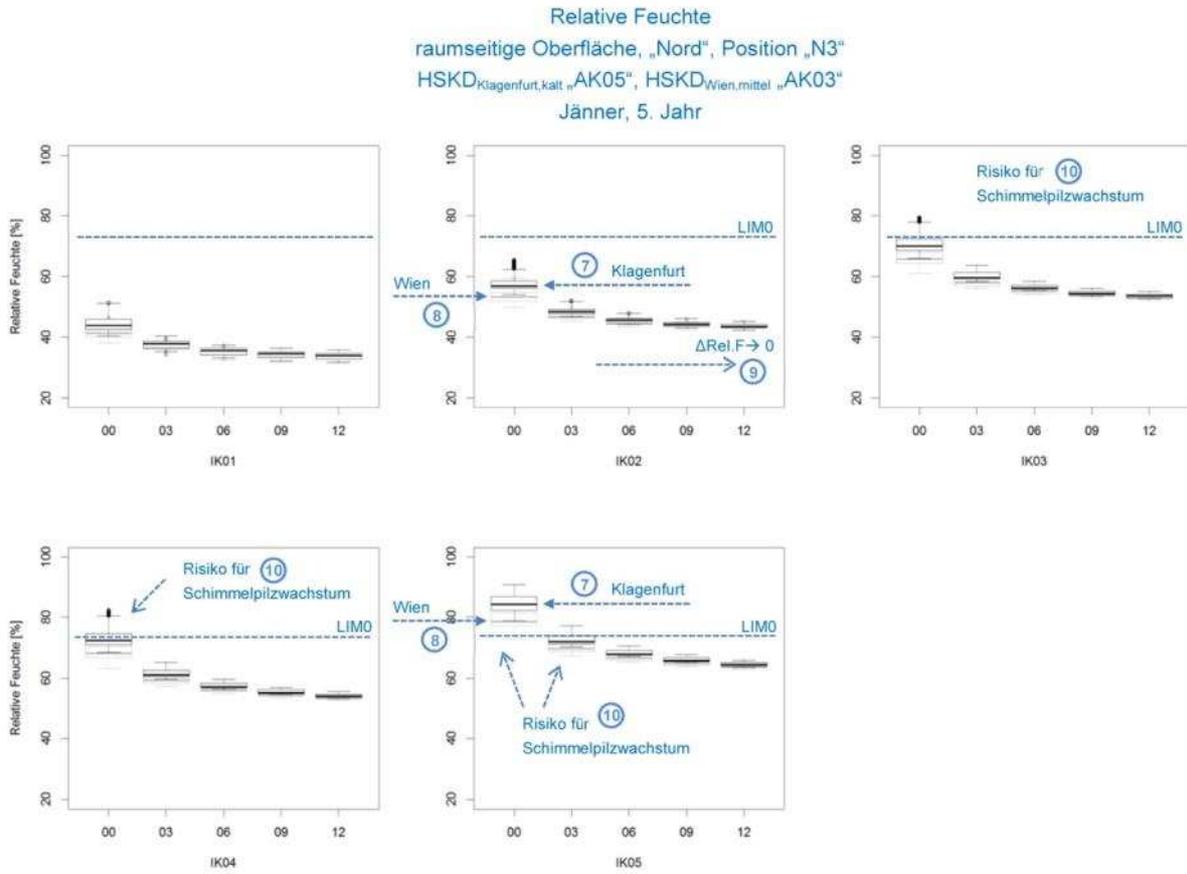


Abbildung 100 Relative Feuchte, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“
 Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N3“, im Jänner, 5. Jahr,
 grau hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

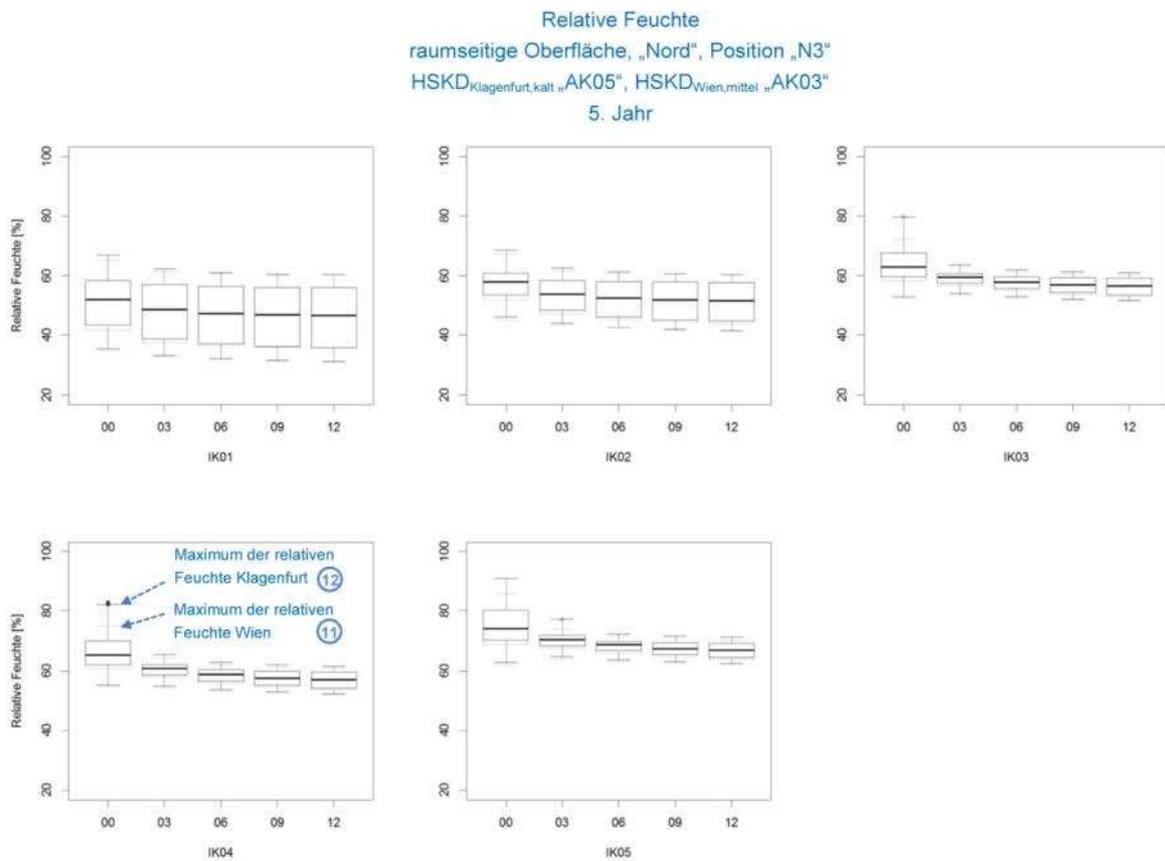


Abbildung 101 Relative Feuchte, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position N3, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Während Einfluss des Außenklimas auf Temperatur und relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche – also jene Kriterien, die für die Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung relevant sind – gering ist, zeigt Abbildung 102 sehr deutlich den Einfluss der unterschiedlichen Klimata anhand der bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) höheren Wassergehalte (Δ) im 1. cm des Dämmstoffs (13). Bei Innenraumklima „IK01“ und einer Dämmstoffdicke von 9 cm beträgt dieser Unterschied mehr als 5 kg/m^3 (14). Bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ führt dieser Anstieg zu einer deutlichen Überschreitung des Grenzwerts von 16 kg/m^3 (15, 16). Das Maximum des Wassergehalts (17) liegt bei 6 cm Dämmstoffdicke (18) und beträgt 19 kg/m^3 (20).

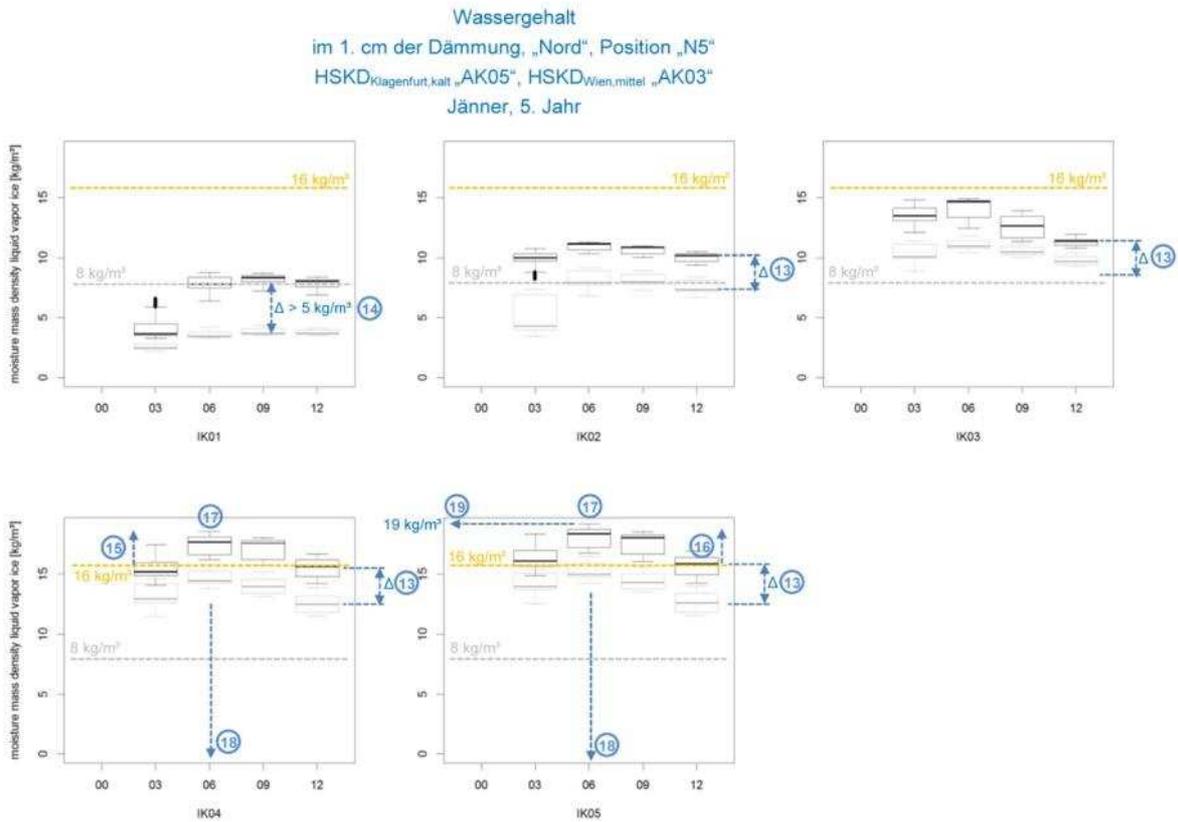


Abbildung 102 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“
Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N5“, im Jänner, 5. Jahr,
grau hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Abbildung 103 zeigt anhand des Median, dass der Wassergehalt über das Jahr mit zunehmender Dämmstoffdicke sowohl bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), wie auch Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) ansteigt. Bei Innenraumklima „IK04“ und IK05“ führt der Anstieg der Wassergehalte im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand zu einer Überschreitung des Grenzwerts von 16 kg/m³ (20, 21), wobei zumindest 75 % der Werte unter dem Grenzwert bleiben (22).

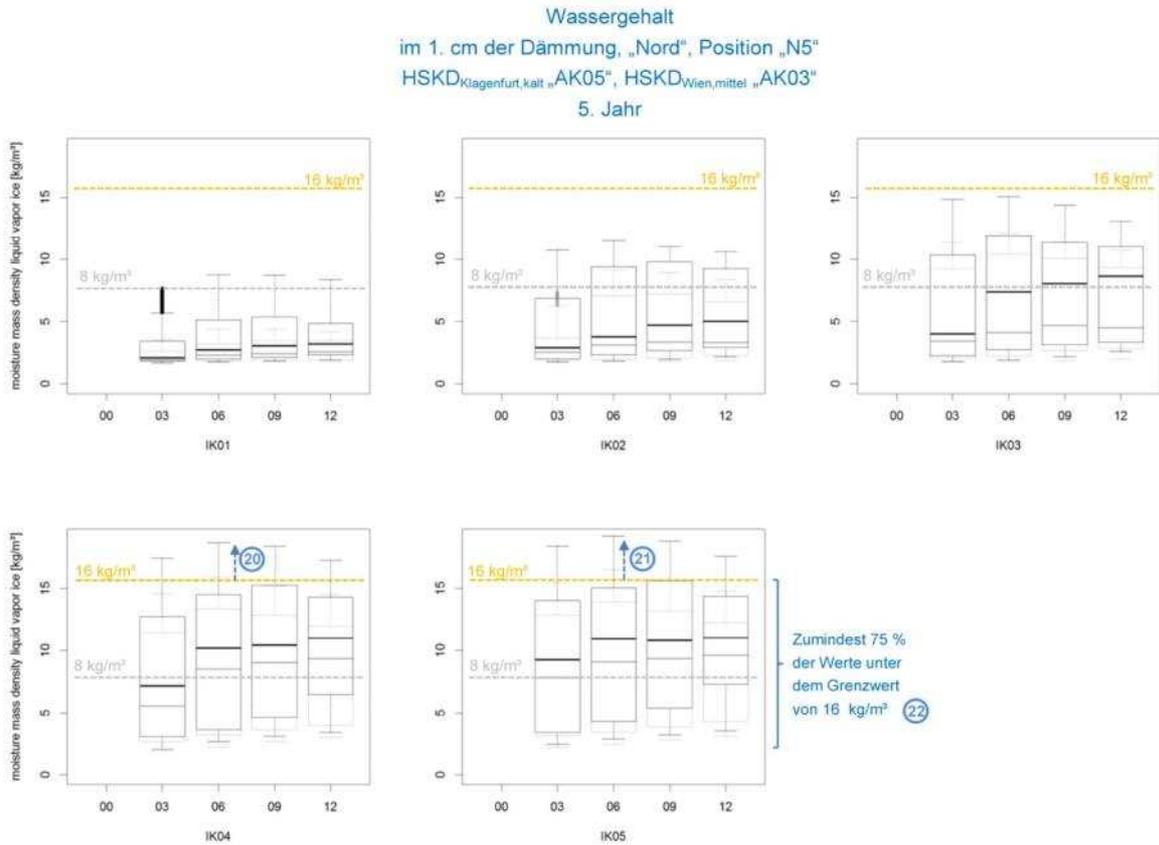


Abbildung 103 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“
Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N5“, 5. Jahr, grau
hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Der durch das Außenklima bedingte Unterschied in den Wassergehalten im 1. cm des Dämmstoffs (Δ) fällt bei der nach Westen orientierten Wand deutlich geringer aus ($23 < 13$). Bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ führt dieser Anstieg zu einer deutlichen Überschreitung des Grenzwerts von 16 kg/m³ (24, 25). Das Maximum des Wassergehalts (26, 27) liegt bei 6 cm Dämmstoffdicke (28) und beträgt 19 kg/m³ (29).

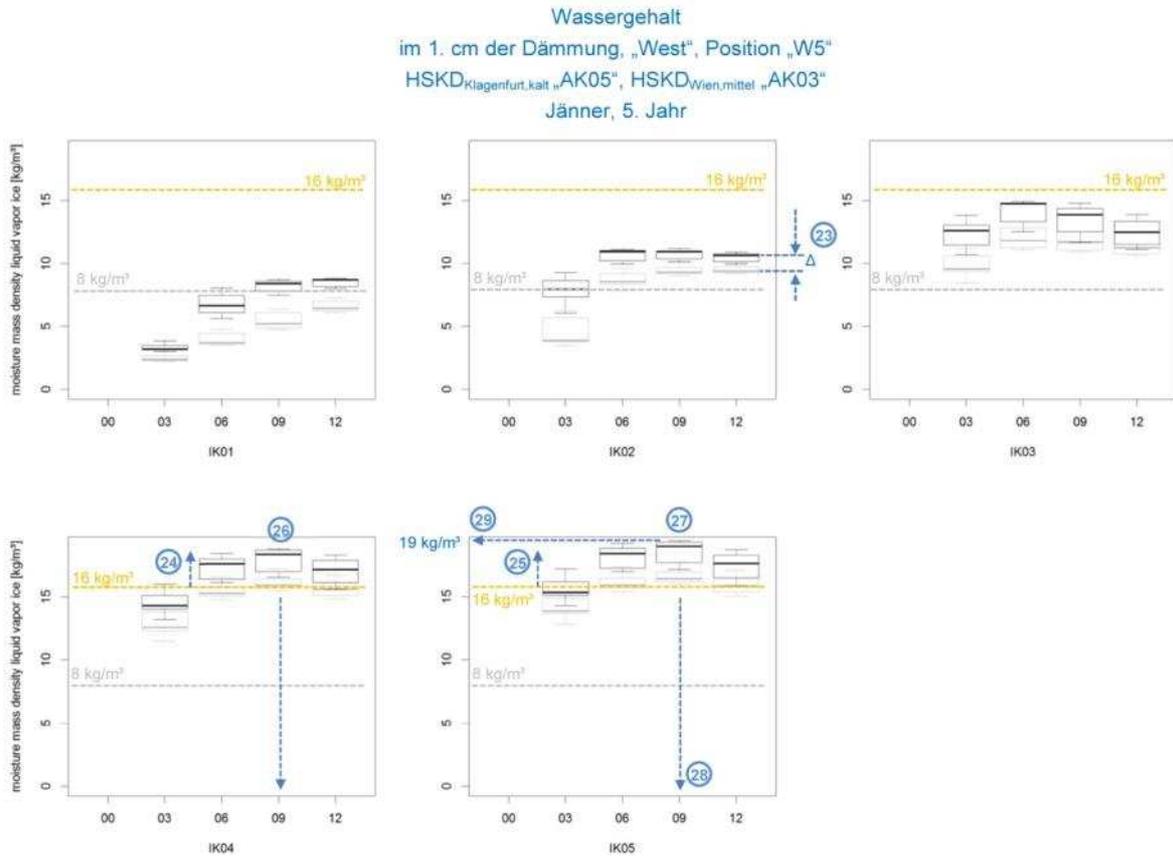


Abbildung 104 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „W5“, im Jänner, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Wie auch Abbildung 103, zeigt Abbildung 105 anhand des Median, dass der Wassergehalt im 1. cm der Dämmung über das Jahr mit zunehmender Dämmstoffdicke sowohl bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) wie auch bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) ansteigt. Bei 12 cm Dämmstoffdicke liegt der Median, sowohl bei Innenraumklima „IK04“, wie auch „IK05“ bei 11,5 kg/m³ (31). Bei der nach Norden orientierten Wand führt dieser Anstieg der Wassergehalte bei Innenraumklima „IK04“ und IK05“ zu einer Überschreitung des Grenzwerts von 16 kg/m³, wobei bei Innenraumklima „IK05“ und 9 cm Dämmstoffdicke mehr als 25 % der Werte über dem Grenzwert liegen (30).

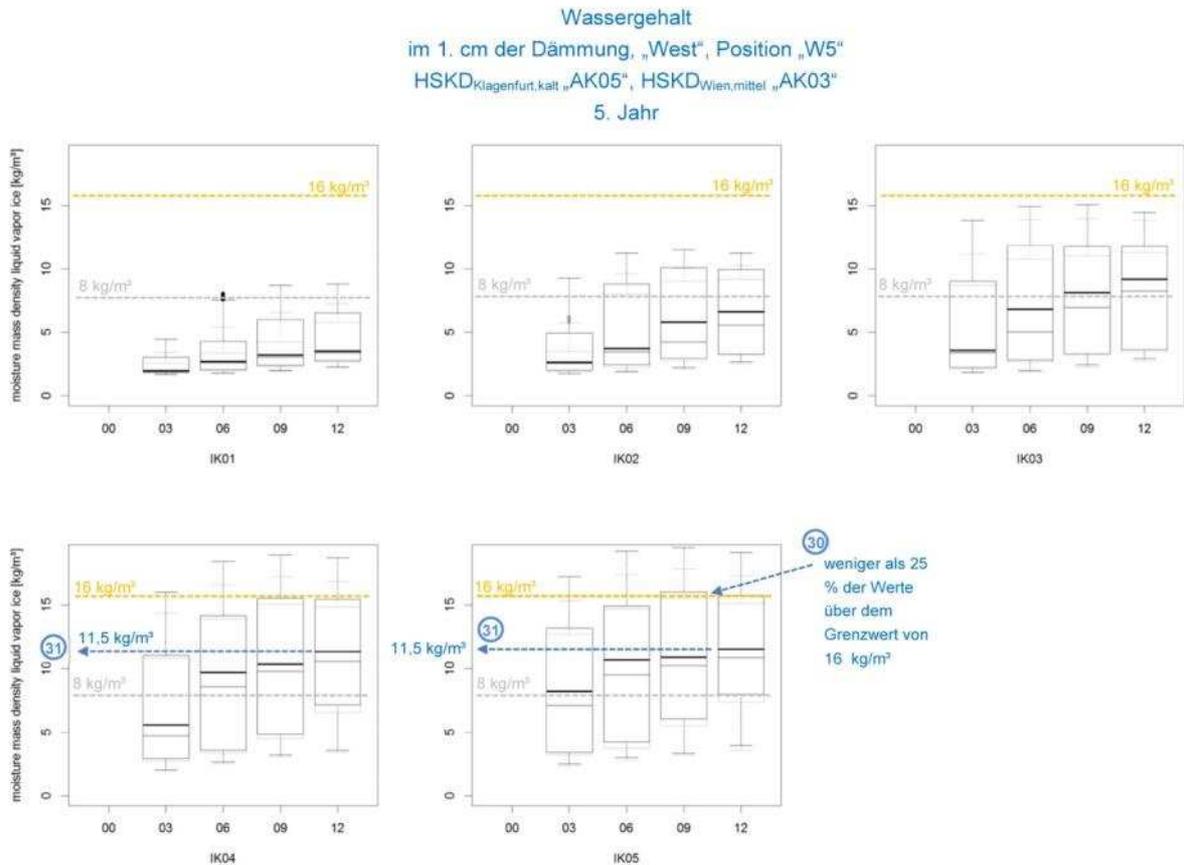


Abbildung 105 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“
Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „W5“, 5. Jahr, grau
hinterlegt Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Conclusio

1. Mit zunehmender Dämmstoffdicke steigen die raumseitigen Oberflächentemperaturen an, wobei die Amplitude der Temperaturschwankungen mit zunehmender Dämmstoffdicke abnimmt. (Abbildung 86).
2. Minimalwerte der Temperatur, wie auch der Median der Oberflächentemperatur werden angehoben und die Maximalwerte der Temperatur reduziert.
3. Amplitude und Offset der raumseitigen Oberflächentemperatur werden dabei maßgeblich durch das Innenraumklima bestimmt (Abbildung 87).
4. Auf Grund der geometrischen Wärmebrücke zeigt der Bereich „Kante“ deutlich geringere Temperaturen der raumseitigen Oberfläche als die ungestörten Wandbereiche (Abbildung 88).
5. Durch die höhere Dicke des nach Westen orientierten Bestandsmauerwerks zeigt die Position „W3“ die höchsten Oberflächen-Temperaturen.
6. Für Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) zeigt sich eine, durch das Außenklima bedingte, niedrigere Temperatur wobei der Einfluss des Außenklimas auf die

- Temperatur der raumseitigen Oberfläche mit zunehmender Dämmstoffdicke – wie auch bei Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) abnimmt (Abbildung 98 bis Abbildung 99).
7. Die Erhöhung der Oberflächentemperatur, mit zunehmender Dämmstoffdicke, führt zu einer Reduktion der relativen Feuchte an der Oberfläche (Abbildung 90).
 8. Kritische, zu Schimmelpilzbildung führende Feuchtezustände, wie sie für den Bestand bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ bei Substratgruppe 1 vorliegen, werden durch die Dämm-Maßnahme bereits ab 3 cm (Tabelle 29) ausgeschlossen.
 9. Über das Jahr nehmen der Median der relativen Feuchte wie auch die Maximalwerte mit zunehmender Dämmstoffdicke ab. Im Vergleich zur Temperatur (Abbildung 87), bei der sich die Minimalwerte erhöhen, sinken diese bei der relativen Feuchte mit zunehmender Dämmstoffdicke ab.
 10. Mit zunehmender Dämmstoffdicke nimmt der Einfluss des Außenklimas auf die relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche ab. Ab einer Dämmstoffdicke von 12 cm sind die Werte für Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) und (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) nahezu ident (Abbildung 100 bis Abbildung 101).
 11. Die hohen Werte der relativen Feuchte im ungedämmten Bestand, insbesondere im Bereich „Kante“, sind als kritisch hinsichtlich des Risikos für Schimmelpilzbildung einzustufen, wie in Tabelle 30 gezeigt wird.
 12. Durch die Reduktion der relativen Feuchte in Folge der Dämmmaßnahme können die Maximalwerte, die Dauer und Häufigkeit kritischer Zustände hinsichtlich Schimmelpilzbildung reduziert werden, sodass es zu keiner Schimmelpilzbildung kommt, wie Tabelle 29 und Tabelle 30 zeigt.
 13. Amplitude und Offset der relativen Feuchte der raumseitigen Oberfläche sind – wie auch die Temperatur – maßgeblich durch das Innenraumklima bestimmt.
 14. Im ersten cm der Dämmung (Position „N5“) nimmt der Wassergehalt im Bereich „Nord“ im Jänner bei hohen Feuchtelasten (Innenraumklima „IK03“, „IK04“, „IK05“, „IK06“, „IK07“ und „IK08“) bis zu einer Dämmstoffdicke von 6 cm zu und nimmt mit weiter zunehmender Dämmstoffdicke wieder ab. (Abbildung 94 und Abbildung 95).
 15. An der Position „W5“ verschiebt sich dieses Maximum des Wassergehalts von 6 cm zu 9 cm. Bei niedrigeren Feuchtelasten aus dem Innenraumklima „IK01“ und „IK09“ nimmt der Wassergehalt im ersten cm der Dämmung mit zunehmender Dämmstoffdicke kontinuierlich zu.
 16. Die Wassergehalte liegen, insbesondere bei 9 cm und 12 cm über jenen im Bereich „Nord“. Auf Grund der Schlagregenbelastung liegen die Wassergehalte – bei der nach Westen orientierten Wand, trotz der höheren Dicke der Bestandswand über jenen von N5, der nach Norden orientierten Wand ohne Schlagregen (Abbildung 97).
 17. Durch das Außenklima bedingt, ergeben sich bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) – im Vergleich zu Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) – höhere Wassergehalte im 1. cm des Dämmstoffs (Position „N5“), wobei der Wassergehalt im Bereich „Nord“ ebenfalls bis zu einem Maximum bei einer Dämmstoffdicke von 6 cm zu- und danach mit zunehmender Dämmstoffdicke wieder abnimmt (Abbildung 102).

18. An der Position „W5“ verschiebt sich dieses Maximum des Wassergehalts bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ von einer Dämmstoffdicke von 6 cm zu 9 cm (Abbildung 104). Die Wassergehalte über das Jahr liegen bei ähnlichem Verlauf jeweils über jenen von Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“). (Abbildung 105).

3.4.4 Risiko Schimmelpilzbildung

Die Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung erfolgt entsprechend dem WTA Merkblatt 6-3-05 [3] anhand des Verallgemeinerten Isoplethenmodells für Sporenauskeimung bzw. Myzelwachstum, das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt.

Da beim Isoplethenmodell sowohl die betragsmäßige Überschreitung definierter Grenzkurven wie auch die Überschreitungsdauer zu berücksichtigen ist, wird im

- **1. Schritt** das Kriterium „Grenze“ untersucht, bei dem die Überschreitung der Grenzkurven, also das Vorliegen kritischer – mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Schimmelpilzbildung führender Zustände – abgefragt, und im
- **2. Schritt** werden die hygrisch-thermischen Zustände hinsichtlich des Kriteriums „Dauer“ analysiert, bei dem die zeitliche Abfolge und Dauer kritischer Zustände beurteilt werden.

Neben Feuchte und Temperatur spielt das Substrat (der Nährboden) als weitere Wachstumsvoraussetzung eine wesentliche Rolle. Das Isoplethenmodell ermöglicht auf der Basis von Isoplethensystemen die Ermittlung der Sporenauskeimungszeiten und des Myzelwachstums, wobei auch der Substrateinfluss berücksichtigt wird [21].

Die Auswertung hinsichtlich des Risikos von Schimmelpilzbildung wird in dieser Arbeit für alle 3 Substratgruppen (0, 1, 2) durchgeführt. Mit Substratgruppe 2 (Abbildung 108) wird der tatsächliche Anwendungsfall – mineralischer Untergrund – für den Bestand „ID00“, Innendämmsystem „ID01“ und Innendämmsystem „ID02“ untersucht. Weiter wird mit Substratgruppe 1 (Abbildung 107) eine angenommenen Verschmutzung der Oberfläche dieser Systeme berücksichtigt und mit Substratgruppe 0 (Abbildung 106) die absolute Wachstumsgrenze aufgezeigt.

Grundsätzlich kann bei der Beurteilung von Schimmelpilzbildung zwischen Sporenauskeimung und Myzelwachstum unterschieden werden. Die durchgeführten Untersuchungen beschränken sich auf das Isoplethenmodell „Sporenauskeimung“, da damit auch der Fall „Myzelwachstum“ – wenn auch etwas zu streng beurteilt – abgedeckt wird. Die unterste Kurve LIM (Lowest Isopleth for Mould) (2) kennzeichnet die Bedingungen, unter denen keine Sporenkeimung bzw. kein Wachstum (3) mehr feststellbar ist.

Liegen die Temperatur- und Feuchtezustände wie in Abbildung 106 auf bzw. über den Grenzkurven ist das Kriterium „Grenze“ nicht eingehalten. In diesem Fall sind die vorliegenden – kritischen – Zustände zu analysieren. Hierzu sind sowohl die zeitliche Abfolge wie auch die Dauer der kritischen Zustände für jede Grenzkurve zu beurteilen. Wird die

maximal zulässige Zeit (angegeben in Tagen) überschritten, ist das Kriterium „Dauer“ nicht erfüllt und damit Schimmelpilzbildung möglich.

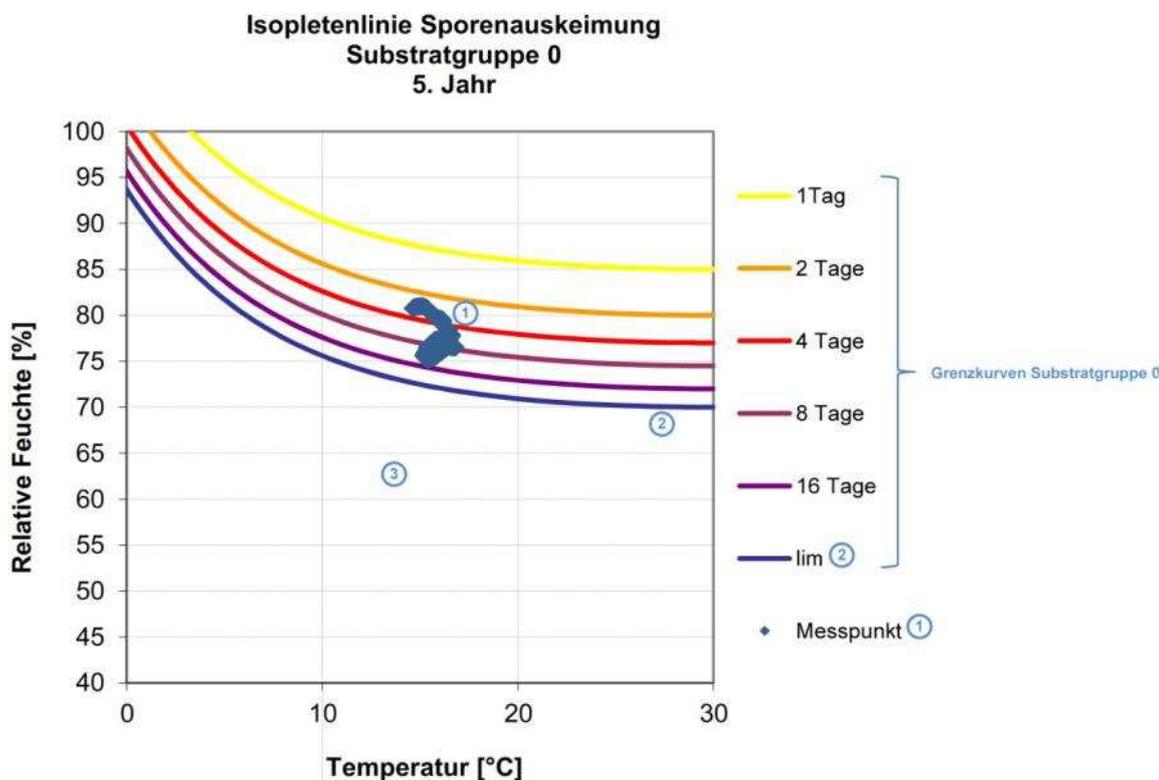


Abbildung 106 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung, das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt, Substratgruppe 0 (optimales Substrat), Temperatur- und Feuchtezustände raumseitige Oberfläche (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmung „ID01“ mit 3 cm.

Bei Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) (Abbildung 108) liegen die Grenzkurven – gegenüber Substratgruppe 0 und 1 – höher, wodurch im gezeigten Beispiel die Grenzkurven an der untersuchten Position „K8“ – der raumseitigen Oberflächen im Bereich „Kante“ nicht überschritten werden – also keine Schimmelpilzbildung möglich ist.

Bei Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit angenommener Verschmutzung) (Abbildung 107) werden die Grenzkurven überschritten. Die zeitliche Analyse zeigt, dass beispielsweise im 4. Jahr die 16-Tage-Grenzkurve überschritten wird. Allerdings nur 4 Tage lang, was bedeutet, dass die kritischen Zustände (4 Tage < 16 Tage) nicht so lange andauern, dass Schimmelpilzbildung möglich wäre.

Bei Substratgruppe 0 (optimales Nährmedium) (Abbildung 106) ist Schimmelpilzbildung möglich. Sowohl die Grenzkurven als auch die maximal zulässigen Dauern werden überschritten. Beispielhaft gezeigt anhand der Analyse der 4-Tage-Grenzkurve, die 9 Tage lang überschritten wird (9 Tage > 4 Tage → Schimmelpilzbildung möglich) (Tabelle 27).

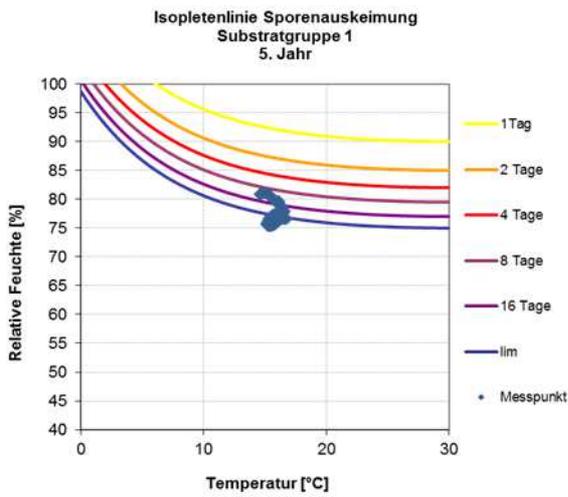


Abbildung 107 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung, Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer angenommenen Verschmutzung), raumseitige Oberfläche im Bereich „Kante“ (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmsystem „ID01“ mit 3 cm.

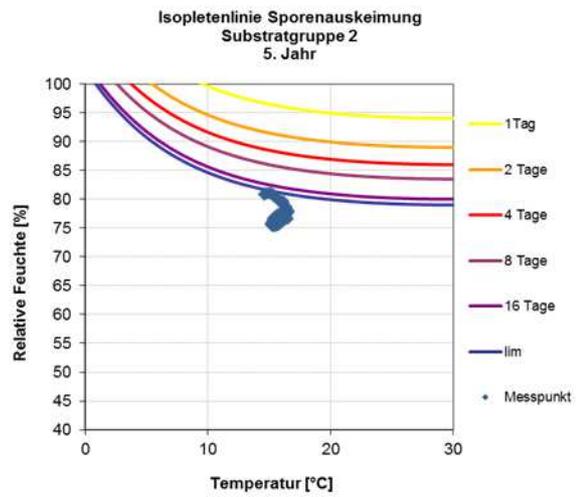


Abbildung 108 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung, Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund), raumseitige Oberfläche im Bereich „Kante“ (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmsystem „ID01“ mit 3 cm.

Tabelle 27 Dauer kritischer Zustände - Sporenauskeimung, Substratgruppe 0, 1 und 2, Beurteilung der Temperatur- und Feuchtezustände der raumseitigen Oberfläche im Bereich „Kante“ (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmsystem „ID01“ mit 3 cm

Kurve	Tatsächliche maximale Dauer in Tagen					Bewertung Schimmelpilzbildung	
	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr		
1 Tag	0	0	0	0	0	nicht möglich	Substratgruppe 2
2 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
4 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
8 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
16 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
LIM 0	0	0	0	0	0	nicht möglich	
1 Tag	0	0	0	0	0	nicht möglich	Substratgruppe 1
2 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
4 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
8 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
16 Tage	0	1	2	4	9	nicht möglich	
LIM 0	1	4	7	5	12	nicht möglich	
1 Tag	0	0	0	0	0	nicht möglich	Substratgruppe 0
2 Tage	0	0	0	0	0	nicht möglich	
4 Tage	0	1	2	4	9	möglich	
8 Tage	2	4	8	5	13	möglich	
16 Tage	12	27	39	18	33	möglich	
LIM 0	15	31	46	61	76	möglich	

3.4.4.1 Außenklima Wien

Die für das Risiko von Schimmelpilzbildung relevanten Temperatur- und Feuchtezustände in der Konstruktion und auf deren Oberfläche werden maßgeblich durch die äußeren und inneren klimatischen Verhältnisse beeinflusst. Deshalb wird die Untersuchung für das Risiko von Schimmelpilzbildung für die Standorte Wien und Klagenfurt geführt, wobei auch der Einfluss von Schlagregen und direkter Solarstrahlung auf das Beurteilungsergebnis analysiert wird.

Für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) kommt es bezogen auf das Kriterium „Grenze“ bei Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer angenommenen Verschmutzung) (Tabelle 28) zu kritischen Feuchtezuständen bei folgenden Varianten:

- bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ bei Innenraumklima „IK03“ (1), „IK04“ (2), „IK05“ (3), „IK07“ (4) und „IK08“ (5),
- bei einer Dämmstoffdicke von 3 cm bei Innenraumklima „IK05“ (6) und „IK07“ (7) und
- bei einer Dämmstoffdicke von 6 cm bei Innenraumklima „IK07“ (8).

Abgesehen von Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ bei der Bestandskonstruktion dauern die kritischen Zustände jedoch nicht so lange an, dass das Kriterium „Dauer“ überschritten wird wie Tabelle 29 zeigt.

Tabelle 28 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 1

Kriterium 'Grenze'									
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 1									
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID00_00_AK03_SR11_nord (n)	✓	✓	✓	✓	✗ (3)	✓	✗ (4)	✗ (5)	✓
ID00_00_AK03_SR11_kante (k)	✓	✓	✗ (1)	✗ (2)	✗ (3)	✓	✗ (4)	✓	✓
ID00_00_AK03_SR11_west (w)	✓	✓	✓	✓	✗ (3)	✓	✗ (4)	✗ (5)	✓
ID01_03_AK03_SR11_nord (n)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante (k)	✓	✓	✓	✓	✗ (6)	✓	✗ (7)	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_west (w)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_nord (n)	-	-	-	-	✓	-	-	✓	-
ID01_06_AK03_SR11_kante (k)	-	-	✗ (9)	-	✓	-	✗ (8)	✓	-
ID01_06_AK03_SR11_west (w)	-	-	-	-	✓	-	✓	✓	-
ID01_09_AK03_SR11_nord (n)	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
ID01_09_AK03_SR11_kante (k)	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
ID01_09_AK03_SR11_west (w)	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
ID01_12_AK03_SR11_nord (n)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ID01_12_AK03_SR11_kante (k)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ID01_12_AK03_SR11_west (w)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ausgenommen Innenraumklima „IK04“ (10) und „IK05“ (11) kommt es – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ bei Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer angenommenen Verschmutzung) – bereits bei der ungedämmten Bestandskonstruktion „VZ4830“ zu keiner Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Tabelle 29). Für die Innenraumklimata „IK04“ und „IK05“ wird das Kriterium „Dauer“ ab Dämmstoffdicken von 3 cm (12) erfüllt.

Tabelle 29 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 1

Kriterium 'Dauer'									
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 1									
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID00_00_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID00_00_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗ (1)	✗ (1)	✓	✓	✓	✓
ID00_00_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓ (12)	✓ (12)	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Bei Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) kommt es bezogen auf das Kriterium „Grenze“ zu kritischen Feuchtezuständen bei der ungedämmten Bestandskonstruktion „VZ4830“ bei Innenraumklima „IK03“, „IK04“, „IK05“, „IK07“ und „IK08“ (14) wie Tabelle 30 zeigt. Abgesehen vom Bereich „Kante“ Bestandskonstruktion bei Innenraumklima „IK05“ (15) dauern die kritischen Zustände jedoch nicht so lange an, dass das Kriterium „Dauer“ überschritten wird wie Tabelle 31 zeigt (16).

Tabelle 30 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 2

Kriterium 'Grenze'									
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 2									
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID00_00_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✗ (1)	✓	✗ (1)	✗ (1)	✓
ID00_00_AK03_SR11_kante	✓	✓	✗ (1)	✗ (1)	✗ (1)	✓	✗ (1)	✓	✓
ID00_00_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗ (1)	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Da die Grenzkurven für die Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) – im Vergleich zu Substratgruppe 0 und 1 – höher liegen kommt es – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ – bei der ungedämmten Bestandskonstruktion lediglich bei Innenraumklima „IK05“ – zu Schimmelpilzbildung im Bereich ‚Kante‘ (17) (Tabelle 6). Das Kriterium ‚Dauer‘ wird ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm (18) für alle Innenraumklimata erfüllt. Da bereits ab Dämmstoffdicken von 3 cm kein Risiko für Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche mehr besteht werden die Varianten mit höheren Dämmstoffdicken nicht ausgewertet.

Tabelle 31 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 1

Kriterium 'Dauer'									
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 2									
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID00_00_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓ (18)	✓	✓ (18)	✓ (18)	✓
ID00_00_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓ (18)	✓ (18)	✗ (17)	✓	✓ (18)	✓	✓
ID00_00_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ (18)	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓ (18)	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Das Ergebnis der Risikobeurteilung von Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche zeigt – obgleich bei näherer Betrachtung (nicht dargestellt) Unterschiede in Häufigkeit und Dauer kritischer Zustände bestehen – zeigt die untersuchten Varianten bei Innenraumklima „IK04“ keine Abhängigkeit von den Simulationsparametern Schlagregen und solare Direktstrahlung (1=1, 2=2) (Tabelle 32).

Tabelle 32 Einfluss Schlagregen und solare Direktstrahlung auf das Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Grenze“ und „Dauer“, Substratgruppe 1 und 2

Kriterium 'Grenze'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 1					
	AK03				
	IK04	SR00	SR01	SR10	SR11
ID00_00_IK04_nord	✓	①	①	✓	✓
ID00_00_IK04_kante	✗	②	②	✗	✗
ID00_00_IK04_west	✓	①	①	✓	✓
ID01_03_IK04_nord	✓	①	①	✓	✓
ID01_03_IK04_kante	✓	①	①	✓	✓
ID01_03_IK04_west	✓	①	①	✓	✓

Kriterium 'Dauer'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 1					
	AK03				
	IK04	SR00	SR01	SR10	SR11
ID00_00_IK04_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID00_00_IK04_kante	✗	✗	✗	✗	✗
ID00_00_IK04_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_kante	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_west	✓	✓	✓	✓	✓

Kriterium 'Grenze'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 2					
	AK03				
	IK04	SR00	SR01	SR10	SR11
ID00_00_IK04_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID00_00_IK04_kante	✗	✗	✗	✗	✗
ID00_00_IK04_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_kante	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_west	✓	✓	✓	✓	✓

Kriterium 'Dauer'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 2					
	AK03				
	IK04	SR00	SR01	SR10	SR11
ID00_00_IK04_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID00_00_IK04_kante	✓	✓	✓	✓	✓
ID00_00_IK04_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_kante	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_IK04_west	✓	✓	✓	✓	✓

„SR00“ ist eine Variante ohne Schlagregen, ohne direkte Solarstrahlung
 „SR01“ ist eine Variante ohne Schlagregen, mit direkter Solarstrahlung
 „SR11“ ist eine Variante mit Schlagregen, mit direkter Solarstrahlung
 „SR10“ ist eine Variante mit Schlagregen, ohne direkte Solarstrahlung

3.4.4.2 Außenklima Klagenfurt

Für den Standort Klagenfurt werden die Simulationsberechnungen für die Innenraumklimata „IK01“ bis „IK05“ mit Schlagregen und direkter Solarstrahlung („SR11“) durchgeführt. Für das Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) zeigt Tabelle 33, dass es bezogen auf das Kriterium „Grenze“ bei Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer angenommenen Verschmutzung) zu kritischen Feuchtezuständen bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ und bei Innenraumklima „IK03“, „IK04“ und „IK05“ (1-7) wie auch bei Dämmstoffdicken von 3 cm bei Innenraumklima „IK05“ (8,9).

Im Bereich „Kante“ (Position „K8“) dauern diese kritischen Zustände so lange an, dass auch das Kriterium „Dauer“ für diese Innenraumklimata überschritten wird und Schimmelpilzbildung möglich ist. Bei Innenraumklima „IK05“ ist zusätzlich zum Bereich „Kante“ (Position „K8“) (9) auch an der nach Norden orientierten Wandfläche (Position „N8“)

(8) Schimmelpilzbildung möglich (Überschreitung des Kriteriums „Dauer“), wie Tabelle 34 zeigt.

Tabelle 33 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 1

Kriterium 'Grenze'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 1					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID00_00_AK05_SR11_nord	✓	✓	✗ (1)	✗ (3)	✗ (5)
ID00_00_AK05_SR11_kante	✓	✓	✗ (2)	✗ (4)	✗ (6)
ID00_00_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗ (7)
ID01_03_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✗ (8)
ID01_03_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✗ (9)
ID01_03_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK05_SR11_nord	-	-	-	-	✓
ID01_06_AK05_SR11_kante	-	-	-	-	✓
ID01_06_AK05_SR11_west	-	-	-	-	✓

Mit Ausnahme des Bereichs „Kante“ ist bei Innenraumklima „IK05“ (14) – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ bei Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer möglichen Verschmutzung) – ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm keine Schimmelpilzbildung in den untersuchten Bereichen möglich (Tabelle 34). Für den Bereich „Kante“ (Position „K8“) und Innenraumklima „IK05“ wird das Kriterium „Dauer“ ab Dämmstoffdicken von 6 cm (15) erfüllt.

Tabelle 34 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 1

Kriterium 'Dauer'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 1					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID00_00_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✗ (13)
ID00_00_AK05_SR11_kante	✓	✓	✗ (10)	✗ (11)	✗ (12)
ID00_00_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✗ (14)
ID01_03_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK05_SR11_nord	-	-	-	-	✓
ID01_06_AK05_SR11_kante	-	-	-	-	✓ (15)
ID01_06_AK05_SR11_west	-	-	-	-	✓

Tabelle 35 zeigt, dass es für das Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) bezogen auf das Kriterium „Grenze“ bei Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund), im Vergleich zu Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer angenommenen Verschmutzung), bei der nach Norden orientierten Wandfläche der Bestandskonstruktion Innenraumklima „IK03“ (1) und der 3 cm stark gedämmten Variante bei Innenraumklima „IK05“ (2) zu einer Verbesserung hinsichtlich der kritischen Feuchtezustände bezogen auf das Kriterium „Grenze“ kommt.

Tabelle 35 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 2

Kriterium 'Grenze'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 2					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID00_00_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓ ^①	✗	✗
ID00_00_AK05_SR11_kante	✓	✓	✗	✗	✗
ID00_00_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗
ID01_03_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓ ^②
ID01_03_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✗
ID01_03_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK05_SR11_nord	-	-	-	-	✓
ID01_06_AK05_SR11_kante	-	-	-	-	✓
ID01_06_AK05_SR11_west	-	-	-	-	✓

Bei Substratgruppe 2 ist lediglich bei Innenraumklima „IK03“ und „IK05“ bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ Schimmelpilzbildung im Bereich „Kante“ (Position „K8“) und der nach Norden orientierten Wand (Position „N8“) möglich (Tabelle 36). Das Kriterium „Dauer“ wird ab Dämmstoffdicken von 3 cm für alle Innenraumklimata erfüllt. Im Vergleich zu Tabelle 34 kommt es bei Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) im Kantenbereich bei „IK03“ (3) und „IK05“ (4) zu keiner Schimmelpilzbildung.

Tabelle 36 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 2

Kriterium 'Dauer'					
Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche bei Substratgruppe 2					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID00_00_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✗
ID00_00_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓ ^③	✗	✗
ID00_00_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓ ^④
ID01_03_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓

Conclusio

1. Für das Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) kommt es bezogen auf das Kriterium „Grenze“ bei Substratgruppe 1 zu kritischen Feuchtezuständen bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ bei Innenraumklima „IK03“, „IK04“, „IK05“, „IK07“ und „IK08“, bei einer Dämmstoffdicke von 3 cm bei „IK05“ und „IK07“ und bei einer Dämmstoffdicke von 6 cm bei „IK07“. Abgesehen von „IK04“ und „IK05“ bei der Bestandskonstruktion dauern die kritischen Zustände jedoch nicht so lange an, dass das Kriterium „Dauer“ überschritten wird, wie (Tabelle 29) zeigt.
2. Für den Standort Klagenfurt zeigt sich, dass es bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ bei „IK03“, „IK04“ und „IK05“ und bei einer Dämmstoffdicke von 3 cm bei

„IK05“ zu kritischen Feuchtezuständen kommt (Tabelle 33). Im Bereich „Kante“ dauern diese kritischen Zustände so lange an, dass auch das Kriterium „Dauer“ für diese Innenraumklimata überschritten wird und es zu Schimmelpilzbildung kommt. Bei „IK05“ kommt es zusätzlich zum Bereich „Kante“ auch an der nach Norden orientierten Wandfläche zu Schimmelpilzbildung (Überschreitung des Kriteriums „Dauer“) wie (Tabelle 34) zeigt.

3. Für das Außenklima Wien ($HSKD_{\text{Wien,mittel}}$ „AK03“) kommt es – ausgenommen bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ bei Substratgruppe 1 bereits bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ zu keiner Schimmelpilzbildung. Für die Innenraumklimata „IK04“ und „IK05“ wird das Kriterium „Dauer“ ab Dämmstoffdicken von 3 cm erfüllt (Tabelle 29).
4. Für das Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{\text{Klagenfurt,kalt}}$ „AK05“) kommt es – ausgenommen dem Bereich „Kante“ bei Innenraumklimas „IK05“ – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ bei Substratgruppe 1 – ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm zu keiner Schimmelpilzbildung. Für den Bereich „Kante“ und Innenraumklima „IK05“ wird das Kriterium „Dauer“ ab einer Dämmstoffdicke von 6 cm erfüllt (Tabelle 34).
5. Bei Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) kommt es bezogen auf das Kriterium „Grenze“ zu kritischen Feuchtezuständen bei der ungedämmten Bestandskonstruktion „VZ4830“ bei Innenraumklima „IK03“, „IK04“, „IK05“, „IK07“ und „IK08“ (14), wie Tabelle 30 zeigt. Abgesehen vom Bereich „Kante“ Bestandskonstruktion bei Innenraumklima „IK05“ (15) dauern die kritischen Zustände jedoch nicht so lange an, dass das Kriterium „Dauer“ überschritten wird wie Tabelle 31 zeigt (16).
6. Tabelle 30 zeigt, dass es für das Außenklima Wien ($HSKD_{\text{Wien,mittel}}$ „AK03“) bei Substratgruppe 2 ebenfalls zu kritischen Feuchtezuständen bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ bei „IK03“, „IK04“, „IK05“, „IK07“ und „IK08“ kommt. Die kritischen Zustände dauern aber – abgesehen vom Bereich „Kante“ Bestandskonstruktion bei „IK05“ – nicht so lange an, dass das Kriterium „Dauer“ überschritten wird. Da die Grenzkurven für die Substratgruppe 2 höher liegen, kommt es für das Außenklima Wien ($HSKD_{\text{Wien,mittel}}$ „AK03“) lediglich bei „IK05“ – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ – bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ zu Schimmelpilzbildung im Bereich ‚Kante‘. Das Kriterium „Dauer“ wird ab Dämmstoffdicken von 3 cm für alle Innenraumklimata erfüllt. Da die Grenzkurven für die Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) – im Vergleich zu Substratgruppe 0 und 1 – höher liegen, kommt es – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ – bei der ungedämmten Bestandskonstruktion lediglich bei Innenraumklima „IK05“ – zu Schimmelpilzbildung im Bereich ‚Kante‘ (17) (Tabelle 31).
Das Kriterium ‚Dauer‘ wird ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm (18) für alle Innenraumklimata erfüllt. Da bereits ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm kein Risiko für Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche mehr besteht, werden die Varianten mit höheren Dämmstoffdicke (19) nicht ausgewertet.

7. Bei Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{\text{Klagenfurt,kalt}}$ „AK05“) zeigt sich bezogen auf das Kriterium „Grenze“ bei Substratgruppe 2, im Vergleich zu Substratgruppe 1, bei der nach Norden orientierten Wandfläche der Bestandskonstruktion „IK03“ und der 3 cm stark gedämmten Variante bei „IK05“ eine Verbesserung hinsichtlich der kritischen Feuchtezustände. Tabelle 35 zeigt, dass es für das Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{\text{Klagenfurt,kalt}}$ „AK05“) bezogen auf das Kriterium „Grenze“ bei Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund), im Vergleich zu Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer möglichen Verschmutzung), bei der nach Norden orientierten Wandfläche der Bestandskonstruktion Innenraumklima „IK03“ und der 3 cm stark gedämmten Variante bei Innenraumklima „IK05“ zu einer Verbesserung hinsichtlich der kritischen Feuchtezustände bezogen auf das Kriterium „Grenze“ kommt.
8. Da die Grenzkurven für Substratgruppe 2 höher liegen, kommt es für das Außenklima Wien ($HSKD_{\text{Wien,mittel}}$ „AK03“) lediglich bei Innenraumklima „IK05“ – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ – bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ zu Schimmelpilzbildung im Bereich ‚Kante‘. Das Kriterium „Dauer“ wird ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm für alle Innenraumklimata erfüllt, da die Grenzkurven für die Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund) im Vergleich zu Substratgruppe 0 und 1 – höher liegen kommt es – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ – bei der ungedämmten Bestandskonstruktion lediglich bei Innenraumklima „IK05“ zu Schimmelpilzbildung im Bereich ‚Kante‘ (17) (Tabelle 31). Das Kriterium ‚Dauer‘ wird ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm (18) für alle Innenraumklimata erfüllt. Da bereits ab Dämmstoffdicken von 3 cm kein Risiko für Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche mehr besteht, werden die Varianten mit höherer Dämmstoffdicke nicht ausgewertet.
9. Bei Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{\text{Klagenfurt,kalt}}$ „AK05“) kommt es lediglich bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ – bezogen auf das Kriterium „Dauer“ – bei der Bestandskonstruktion „VZ4830“ zu Schimmelpilzbildung im Bereich ‚Kante‘ und der nach Norden orientierten Wand. Auch dort wird das Kriterium „Dauer“ ab Dämmstoffdicken von 3 cm für alle Innenraumklimata erfüllt (Tabelle 36).
10. Die Ergebnisse der Risikobeurteilung von Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche sind – auch wenn sich bei näherer Betrachtung Unterschiede in Häufigkeit und „Dauer“ kritischer Zustände ergeben – unabhängig von den Simulationsparametern Schlagregen und solare Strahlung, wie die untersuchten Varianten für Innenraumklima „IK04“ in Tabelle 32 zeigen.

3.4.5 Wassergehalt im Dämmstoff

Die Wärmeleitfähigkeit mineralischer Baustoffe ist u.a. abhängig von der Materialfeuchte. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt der Wärmedurchlasswiderstand ab. Tabelle 37 und Tabelle 38 zeigt den auf Grund von Feuchte im Material reduzierten Wärmedurchlasswiderstand der Gesamtkonstruktion (Bereiche „NKO“ und „WKO“) bei Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“ für Innendämmung „ID01“.

Die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion kann u.a. anhand einer maximal zulässigen Verschlechterung des Wärmedurchlasswiderstands – auf Grund von Auffeuchtung – beurteilt werden. Die ÖNorm B 8110-2 [49] toleriert dabei eine maximal zulässige Verschlechterung von 10 % des Wärmedurchlasswiderstandes bezogen auf die Gesamtkonstruktion, also den gesamten Bauteilquerschnitt. Der minimal zulässige Wärmedurchlasswiderstand ist stark abhängig von der aufgetragenen Dämmstoffdicke (1, 2, 3, 4). Da sich die Norm auf ein Monatsbilanzverfahren bezieht erfolgt die Beurteilung anhand der Monatsmittelwerte, wobei der Jänner aufgrund seiner kritischen Außenklimabedingungen für die Beurteilung herangezogen wird.

Für die untersuchten Varianten wird der minimal zulässige Wärmedurchlasswiderstand für Innendämmung „ID01“ bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) Tabelle 37 und Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) Tabelle 38 nicht unterschritten (4>1, 5>2, 6>3).

Tabelle 37 Einfluss des Innenraumklimas auf den Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion im Jänner, bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Monatsmittelwert

Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion [(mK)/W]											
Variante	Bereich	min. zul.									
		R-Wert	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	NKO	1,15 ①	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21 ④	1,26	1,24	1,26	1,27
ID01_06_AK03_SR11	NKO	1,75 ②	1,92	1,90	1,87	1,83	1,81 ⑤	1,90	1,87	1,89	1,92
ID01_09_AK03_SR11	NKO	2,35 ③	2,57	2,55	2,51	2,46	2,42 ⑥	2,55	2,50	2,53	2,56
ID01_12_AK03_SR11	NKO	2,95	3,22	3,19	3,16	3,11	3,07	3,20	3,14	3,18	3,22
ID01_03_AK03_SR11	WKO	1,32	1,45	1,44	1,43	1,41	1,39	1,44	1,42	1,44	1,45
ID01_06_AK03_SR11	WKO	1,92	2,10	2,08	2,04	2,01	1,98	2,08	2,03	2,06	2,09
ID01_09_AK03_SR11	WKO	2,52	2,74	2,72	2,67	2,61	2,57	2,72	2,64	2,70	2,74
ID01_12_AK03_SR11	WKO	3,12	3,39	3,36	3,31	3,23	3,18	3,36	3,27	3,33	3,38

Tabelle 38 Einfluss des Innenraumklimas auf den Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion im Jänner, bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Monatsmittelwert

Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion [(mK)/W]							
Variante	Bereich	min. zul.	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
		R-Wert					
ID01_03_AK05_SR11	NKO	1,15 (1)	1,26	1,25	1,23	1,22 (4)	1,20
ID01_06_AK05_SR11	NKO	1,75 (2)	1,91	1,88	1,83	1,80 (5)	1,78
ID01_09_AK05_SR11	NKO	2,35 (3)	2,55	2,52	2,47	2,40 (6)	2,37
ID01_12_AK05_SR11	NKO	2,95	3,20	3,16	3,12	3,03	2,99
ID01_03_AK05_SR11	WKO	1,32	1,45	1,44	1,41	1,40	1,38
ID01_06_AK05_SR11	WKO	1,92	2,09	2,06	2,02	1,99	1,96
ID01_09_AK05_SR11	WKO	2,52	2,73	2,70	2,64	2,58	2,54
ID01_12_AK05_SR11	WKO	3,12	3,38	3,34	3,28	3,19	3,15

Tabelle 39 und Tabelle 40 zeigt die Reserve auf den minimal zulässigen Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands woraus sich maximal zulässige Wassergehalte im Dämmstoff – als eine wesentliche Bewertungsgröße – ableiten lassen. Bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) liegt diese Reserve zwischen max. 9,0 % (1) und minimal 1,9 % (2). Bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) liegt sie zwischen max. 8,7 % (3) und minimal 0,6 % (4).

Tabelle 39 Reserve auf den minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand auf Grund von Feuchte im Bauteilquerschnitt bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Reserve auf minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion												
Variante	Bereich	cm	Reserve (%)									
			IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	
ID01_03_AK03_SR11	NKO	3	9% (1)	8%	7%	6%	5%	9% (1)	7%	8%	9% (1)	
ID01_06_AK03_SR11	NKO	6	8%	8%	6%	4%	3%	8%	6%	7%	8%	
ID01_09_AK03_SR11	NKO	9	8%	8%	6%	4%	3%	8%	6%	7%	8%	
ID01_12_AK03_SR11	NKO	12	8%	8%	6%	5%	4%	8%	6%	7%	8%	
ID01_03_AK03_SR11	WKO	3	9% (1)	8%	7%	6%	5%	8%	7%	8%	8%	
ID01_06_AK03_SR11	WKO	6	8%	7%	6%	4%	3%	8%	5%	7%	8%	
ID01_09_AK03_SR11	WKO	9	8%	7%	6%	3%	2% (2)	7%	5%	6%	8%	
ID01_12_AK03_SR11	WKO	12	8%	7%	6%	3%	2% (2)	7%	4%	6%	8%	

Tabelle 40 Reserve auf den minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand auf Grund von Feuchte im Bauteilquerschnitt bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“)

Reserve auf minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion							
Variante	Bereich	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	NKO	3	9%	8%	6%	5%	4%
ID01_06_AK05_SR11	NKO	6	8%	7%	4%	3%	1%
ID01_09_AK05_SR11	NKO	9	8%	7%	5%	2%	1%
ID01_12_AK05_SR11	NKO	12	8%	7%	5%	2%	1%
ID01_03_AK05_SR11	WKO	3	8%	8%	6%	6%	4%
ID01_06_AK05_SR11	WKO	6	8%	7%	5%	3%	2%
ID01_09_AK05_SR11	WKO	9	8%	6%	5%	2%	1%
ID01_12_AK05_SR11	WKO	12	8%	6%	5%	2%	1%

Den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung (Position 5) zeigt Tabelle 41 und Tabelle 42. Bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ liegt der Wassergehalt im Jänner bei bis zu 18,6 kg/m³ (5). Wie in Kapitel 4 beschrieben gilt es für den Wassergehalt im Dämmstoff, positions- bzw. bereichsbezogen, geeignete Grenzwerte für die Beurteilung festzulegen.

Als Ausgangspunkt für die Festlegung geeigneter Grenzwerte wird von einem Wert von 8 kg/m³ ausgegangen. Dieser Wassergehalt entspricht – ermittelt anhand der feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeit des Materials – einer Reduktion des Wärmedurchlasswiderstands des Dämmstoffs auf Grund von Feuchte im Material um 10 %. Da der Wert von 8 kg/m³, abgesehen davon, dass sich dieser nur auf die Verschlechterung des Wärmedurchlasswiderstands des Dämmstoffs von 10 %, nicht aber auf die Verschlechterung des Wärmedurchlasswiderstands der Gesamtkonstruktion bezieht, einen Mittelwert über die gesamte Dämmschichtdicke darstellt und deshalb nur für die Beurteilung des gesamten Dämmstoffquerschnitts („NDA“, „KDA“, „WDA“) Anwendung finden darf, sind weitere Grenzwerte positionsbezogen für den 1. cm des Dämmstoffs („N5“, „K5“, „W5“), die Dämmstoffmitte („N6“, „K6“, „W6“) sowie den letzten cm des Dämmstoffs („N7“, „K7“, „W7“) festzulegen. Hierzu wird in einem ersten Schritt analysiert bei welchen Wassergehalten im Dämmstoff die Reserve auf den minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand gegen Null geht, was bedeutet, dass das Kriterium gerade noch erfüllt wird. Wie Tabelle 40 zeigt ist dies bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) und Innenraumklima „IK05“ mit 1 % (4) der Fall. Bestimmt man nun den höchsten Wassergehalt für den das Kriterium noch erfüllt ist, so ergibt anhand von Tabelle 42 ein Wert von 19 kg/m³ (5), was nach Tabelle 46 einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im 1. cm des Dämmstoffs von 19 % entspricht. Mit der gleichen Vorgehensweise kann nun auch der gesamte Dämmstoffquerschnitt analysiert werden. Nach Tabelle 48 ergibt sich – beschränkt auf den ungestörten Wandbereich – ein Wert von 12,6 kg/m³ bei dem das Kriterium gerade noch erfüllt wird. Dieser über den gesamten Dämmstoffquerschnitt gemittelte Wert wird nun für die Mitte des Dämmstoffs als Grenzwert festgelegt. Der Grenzwert für den letzten cm. des Dämmstoffs wird mit 8 kg/m³, also bezogen auf die zulässige Verschlechterung des Wärmedurchlasswiderstands von 10 %

definiert. Wird nun eine Gleichverteilung der Wassergehalte im Dämmstoff unterstellt, so ist der Grenzwert für den 1. cm des Dämmstoffs mit 16 kg/m³ festzulegen. Obgleich diese angenommene Gleichverteilung nicht vorliegt und der maximal zulässige Wassergehalt im 1. Cm des Dämmstoffs mit 19 kg/m³ beträgt, wird der Grenzwert mit 16 kg/m³ festgelegt und beinhaltet damit eine Reserve von 1-2 Prozent auf die zulässige Verschlechterung des Wärmedurchlasswiderstands der Gesamtkonstruktion.

Die positions- und bereichsbezogenen Grenzwerte für den maximal zulässigen Wassergehalt können wie folgt zusammengefasst werden:

- 1. cm des Dämmstoffs („N5“, „K5“, „W5“) 16 kg/m³ / 12,8 M-%
- Mitte des Dämmstoffs („N6“, „K6“, „W6“) 12 kg/m³ / 9,6 M-%
- letzter cm des Dämmstoffs („N7“, „K7“, „W7“) 8 kg/m³ / 6,4 M-%
- Gesamter Dämmstoffquerschnitt („NDA“, „KDA“, „WDA“) 12 kg/m³ / 9,6 M-%

Damit liegen die Grenzwerte für die Mitte des Dämmstoffs („N6“, „K6“, „W6“) und den letzten cm des Dämmstoffs („N7“, „K7“, „W7“) sowie für den gesamten Dämmstoffquerschnitt („NDA“, „KDA“, „WDA“) im Bereich der vom Hersteller kommunizierten Grenzwerte von 6-8 M-% (Xella Porenbeton Österreich GmbH) bzw. 8-10 M-% (Xella International GmbH). Bei 1. cm des Dämmstoffs („N5“, „K5“, „W5“) liegt der hier definierte Grenzwert von 16 kg/m³ (12,8 M-%) über den vom Hersteller genannten Werten.

Tabelle 41 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung (Position 5) bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner - Monatsmittelwert

Wassergehalt 1. cm der Dämmung Jänner - Mittelwert - [kg/m ³]											
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N5	3	3	5	10	13	14	4	11	8	3
ID01_06_AK03_SR11	N5	6	4	8	11	15	15	7	12	10	4
ID01_09_AK03_SR11	N5	9	4	8	11	14	14	7	11	10	4
ID01_12_AK03_SR11	N5	12	4	8	10	13	13	7	11	9	4
ID01_03_AK03_SR11	K5	3	4	8	10	14	15	7	11	9	4
ID01_06_AK03_SR11	K5	6	5	7	9	14	14	7	11	9	5
ID01_09_AK03_SR11	K5	9	5	6	8	11	11	7	10	8	5
ID01_12_AK03_SR11	K5	12	5	6	7	10	10	6	10	8	5
ID01_03_AK03_SR11	W5	3	2	5	10	13	14	4	10	7	3
ID01_06_AK03_SR11	W5	6	4	9	12	15	16	8	14	10	4
ID01_09_AK03_SR11	W5	9	5	9	12	16	17	9	14	11	6
ID01_12_AK03_SR11	W5	12	7	10	11	16	16	9	14	11	7

Tabelle 42 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung (Position 5) bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) im Jänner – Monatsmittelwert

Wassergehalt 1. cm der Dämmung Jänner - Mittelwert - [kg/m ³]							
	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	N5	3	4	10	14	15	16
ID01_06_AK05_SR11	N5	6	8	11	14	18	18
ID01_09_AK05_SR11	N5	9	8	11	13	17	18
ID01_12_AK05_SR11	N5	12	8	10	11	16	16
ID01_03_AK05_SR11	K5	3	7	10	13	16	17
ID01_06_AK05_SR11	K5	6	6	8	10	16	16
ID01_09_AK05_SR11	K5	9	5	7	8	12	13
ID01_12_AK05_SR11	K5	12	5	6	7	11	11
ID01_03_AK05_SR11	W5	3	3	8	12	14	16
ID01_06_AK05_SR11	W5	6	7	11	14	17	18
ID01_09_AK05_SR11	W5	9	8	11	14	18	19
ID01_12_AK05_SR11	W5	12	9	11	12	17	17

Tabelle 43 und Tabelle 44 zeigt die – sich aus dem in den Simulationsberechnungen ermittelten Wassergehalt und den Materialkennwerten – berechnete Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs im 1. cm der Dämmung (Position 5). Tabelle 45 und Tabelle 46 zeigt die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zum Bemessungswert von 0,045 W/(mK). Die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit infolge Feuchte in der Konstruktion liegt – abhängig von den Klimabedingungen und der Dämmstoffdicke – zwischen 3,1 % und 18,8 % (5). Hohe Anstiege sind insbesondere bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ zu erkennen.

Tabelle 43 Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Mittelwert

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte 1. cm der Dämmung Jänner - Mittelwert - [W/(mK)]											
Variante		cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N5	3	0,046	0,048	0,051	0,052	0,053	0,047	0,051	0,049	0,047
ID01_06_AK03_SR11	N5	6	0,047	0,050	0,051	0,053	0,054	0,049	0,052	0,051	0,047
ID01_09_AK03_SR11	N5	9	0,047	0,050	0,051	0,053	0,053	0,049	0,051	0,050	0,047
ID01_12_AK03_SR11	N5	12	0,047	0,049	0,051	0,052	0,052	0,049	0,051	0,050	0,047
ID01_03_AK03_SR11	K5	3	0,047	0,049	0,051	0,053	0,053	0,049	0,051	0,050	0,047
ID01_06_AK03_SR11	K5	6	0,048	0,049	0,050	0,053	0,053	0,049	0,051	0,050	0,048
ID01_09_AK03_SR11	K5	9	0,048	0,049	0,049	0,051	0,051	0,049	0,050	0,050	0,048
ID01_12_AK03_SR11	K5	12	0,048	0,048	0,049	0,050	0,050	0,049	0,050	0,049	0,048
ID01_03_AK03_SR11	W5	3	0,046	0,048	0,051	0,052	0,053	0,047	0,051	0,049	0,047
ID01_06_AK03_SR11	W5	6	0,047	0,050	0,052	0,054	0,054	0,049	0,053	0,051	0,047
ID01_09_AK03_SR11	W5	9	0,048	0,050	0,052	0,054	0,054	0,050	0,053	0,051	0,048
ID01_12_AK03_SR11	W5	12	0,049	0,050	0,051	0,054	0,054	0,050	0,053	0,051	0,049

Tabelle 44 Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Mittelwert

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert - [W/(mK)]							
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	NDA	3	0,046	0,047	0,049	0,050	0,051
ID01_06_AK05_SR11	NDA	6	0,046	0,047	0,049	0,051	0,052
ID01_09_AK05_SR11	NDA	9	0,046	0,047	0,048	0,050	0,051
ID01_12_AK05_SR11	NDA	12	0,046	0,047	0,048	0,050	0,050
ID01_03_AK05_SR11	KDA	3	0,047	0,049	0,051	0,053	0,054
ID01_06_AK05_SR11	KDA	6	0,047	0,049	0,051	0,053	0,054
ID01_09_AK05_SR11	KDA	9	0,047	0,048	0,050	0,052	0,053
ID01_12_AK05_SR11	KDA	12	0,047	0,048	0,049	0,051	0,052
ID01_03_AK05_SR11	WDA	3	0,047	0,048	0,049	0,050	0,052
ID01_06_AK05_SR11	WDA	6	0,047	0,048	0,049	0,051	0,052
ID01_09_AK05_SR11	WDA	9	0,047	0,048	0,049	0,051	0,052
ID01_12_AK05_SR11	WDA	12	0,047	0,047	0,048	0,050	0,051

Tabelle 45 Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte 1. cm der Dämmung Jänner - Mittelwert											
Variante		cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N5	3	3%	6%	11%	14%	15%	5%	12%	9%	4%
ID01_06_AK03_SR11	N5	6	4%	9%	12%	16%	16%	8%	13%	11%	4%
ID01_09_AK03_SR11	N5	9	5%	9%	12%	15%	15%	8%	12%	11%	5%
ID01_12_AK03_SR11	N5	12	5%	9%	11%	14%	14%	8%	12%	10%	5%
ID01_03_AK03_SR11	K5	3	5%	9%	11%	15%	16%	8%	12%	10%	5%
ID01_06_AK03_SR11	K5	6	5%	8%	10%	15%	15%	8%	12%	10%	5%
ID01_09_AK03_SR11	K5	9	5%	7%	9%	12%	12%	8%	11%	9%	5%
ID01_12_AK03_SR11	K5	12	5%	7%	8%	11%	11%	7%	11%	9%	5%
ID01_03_AK03_SR11	W5	3	3%	5%	11%	14%	15%	5%	11%	8%	3%
ID01_06_AK03_SR11	W5	6	5%	10%	13%	16%	17%	9%	14%	11%	5%
ID01_09_AK03_SR11	W5	9	6%	11%	13%	17%	17%	10%	15%	12%	7%
ID01_12_AK03_SR11	W5	12	8%	11%	12%	16%	17%	10%	15%	12%	8%

Tabelle 46 Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“)

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte 1. cm der Dämmung Jänner - Mittelwert							
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	N5	3	5%	11%	14%	16%	17%
ID01_06_AK05_SR11	N5	6	9%	12%	15%	18%	18%
ID01_09_AK05_SR11	N5	9	9%	12%	14%	18%	18%
ID01_12_AK05_SR11	N5	12	9%	11%	12%	16%	16%
ID01_03_AK05_SR11	K5	3	8%	11%	14%	17%	17%
ID01_06_AK05_SR11	K5	6	7%	10%	11%	17%	17%
ID01_09_AK05_SR11	K5	9	6%	8%	9%	13%	14%
ID01_12_AK05_SR11	K5	12	6%	7%	8%	12%	12%
ID01_03_AK05_SR11	W5	3	4%	9%	13%	15%	16%
ID01_06_AK05_SR11	W5	6	8%	12%	15%	18%	19%
ID01_09_AK05_SR11	W5	9	9%	12%	14%	18%	19%
ID01_12_AK05_SR11	W5	12	10%	12%	13%	18%	18%

Tabelle 47 und Tabelle 48 zeigen den Wassergehalt der Dämmung über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner. Für „IK04“ und „IK05“ liegt der Wassergehalt im Bereich „Kante“ im Monatsmittel Jänner bei bis zu 15,9 kg/m³ (1). In der nach Norden und Westen orientierten Wand liegen die Werte bei bis zu 12,6 kg/m³ (2), knapp über dem zuvor definierten Grenzwert.

Tabelle 47 Wassergehalt über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Monatsmittelwert

Wassergehalt gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert - [kg/m ³]											
Variante		cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	NDA	3	1,8	2,7	4,7	6,8	9,0	2,4	4,9	3,4	2,0
ID01_06_AK03_SR11	NDA	6	2,0	3,0	4,9	7,7	9,5	2,7	5,3	3,8	2,1
ID01_09_AK03_SR11	NDA	9	2,0	2,9	4,5	6,9	8,5	2,7	4,9	3,6	2,1
ID01_12_AK03_SR11	NDA	12	2,0	2,7	4,0	5,7	6,9	2,6	4,5	3,3	2,1
ID01_03_AK03_SR11	KDA	3	2,9	5,0	8,4	12,3	14,0	4,4	9,3	6,4	3,1
ID01_06_AK03_SR11	KDA	6	3,1	4,9	7,7	12,1	13,4	4,5	9,1	6,4	3,3
ID01_09_AK03_SR11	KDA	9	3,1	4,6	6,6	10,3	11,3	4,3	8,3	5,9	3,2
ID01_12_AK03_SR11	KDA	12	3,1	4,3	5,8	9,0	9,9	4,2	7,8	5,5	3,2
ID01_03_AK03_SR11	WDA	3	3,0	3,9	5,8	7,6	10,9	3,7	6,1	4,5	3,2
ID01_06_AK03_SR11	WDA	6	2,7	3,8	6,1	8,6	10,8	3,5	7,1	4,7	2,9
ID01_09_AK03_SR11	WDA	9	2,6	3,7	5,6	8,7	10,6	3,4	7,0	4,6	2,8
ID01_12_AK03_SR11	WDA	12	2,6	3,6	5,1	8,1	9,7	3,4	6,6	4,5	2,7

Tabelle 48 Wassergehalt über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Monatsmittelwert

Wassergehalt gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert - [kg/m ³]							
Variante	Bereich	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	NDA	3	2,2	4,0	7,4	9,0	11,1
ID01_06_AK05_SR11	NDA	6	2,6	4,4	7,7	10,1	11,8
ID01_09_AK05_SR11	NDA	9	2,6	4,1	6,2	9,7	11,3
ID01_12_AK05_SR11	NDA	12	2,5	3,7	5,3	8,4	9,8
ID01_03_AK05_SR11	KDA	3	4,0	7,2	11,4	14,5	15,9
ID01_06_AK05_SR11	KDA	6	4,1	6,7	10,0	14,6	15,6
ID01_09_AK05_SR11	KDA	9	3,8	5,8	8,2	12,6	13,4
ID01_12_AK05_SR11	KDA	12	3,6	5,1	7,0	10,9	11,7
ID01_03_AK05_SR11	WDA	3	3,2	4,6	7,5	9,0	12,6
ID01_06_AK05_SR11	WDA	6	3,1	4,7	8,0	10,1	12,4
ID01_09_AK05_SR11	WDA	9	3,0	4,5	7,0	10,1	12,1
ID01_12_AK05_SR11	WDA	12	2,9	4,2	6,0	9,4	11,0

Tabelle 49 und Tabelle 50 zeigt die durch Feuchte erhöhte Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke. Im Bereich „Kante“ (KDA) zeigt sich, dass die Wärmeleitfähigkeit von der Bemessungswärmeleitfähigkeit von 0,045 W/(mK) auf 0,054 W/(mK) (3) ansteigt. In Prozent dargestellt ergibt sich – wie Tabelle 51 und Tabelle 52 zeigt – für den Bereich „Kante“ (KDA) eine Zunahme der Wärmeleitfähigkeit von 16,6 % (4).

Tabelle 49 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Mittelwert

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert - [W/(mK)]											
	Bereich	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	NDA	3,000	0,046	0,047	0,048	0,049	0,050	0,046	0,048	0,047	0,046
ID01_06_AK03_SR11	NDA	6,000	0,046	0,047	0,048	0,049	0,050	0,047	0,048	0,047	0,046
ID01_09_AK03_SR11	NDA	9,000	0,046	0,047	0,048	0,049	0,050	0,047	0,048	0,047	0,046
ID01_12_AK03_SR11	NDA	12,000	0,046	0,047	0,047	0,048	0,049	0,046	0,048	0,047	0,046
ID01_03_AK03_SR11	KDA	3,000	0,047	0,048	0,050	0,052	0,053	0,047	0,050	0,049	0,047
ID01_06_AK03_SR11	KDA	6,000	0,047	0,048	0,049	0,052	0,053	0,048	0,050	0,049	0,047
ID01_09_AK03_SR11	KDA	9,000	0,047	0,048	0,049	0,051	0,051	0,047	0,050	0,048	0,047
ID01_12_AK03_SR11	KDA	12,000	0,047	0,047	0,048	0,050	0,051	0,047	0,049	0,048	0,047
ID01_03_AK03_SR11	WDA	3,000	0,047	0,047	0,048	0,049	0,051	0,047	0,048	0,048	0,047
ID01_06_AK03_SR11	WDA	6,000	0,046	0,047	0,048	0,050	0,051	0,047	0,049	0,048	0,047
ID01_09_AK03_SR11	WDA	9,000	0,046	0,047	0,048	0,050	0,051	0,047	0,049	0,048	0,047
ID01_12_AK03_SR11	WDA	12,000	0,046	0,047	0,048	0,050	0,050	0,047	0,049	0,048	0,047

Tabelle 50 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Mittelwert

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert - [W/(mK)]							
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	NDA	3	0,046	0,047	0,049	0,050	0,051
ID01_06_AK05_SR11	NDA	6	0,046	0,047	0,049	0,051	0,052
ID01_09_AK05_SR11	NDA	9	0,046	0,047	0,048	0,050	0,051
ID01_12_AK05_SR11	NDA	12	0,046	0,047	0,048	0,050	0,050
ID01_03_AK05_SR11	KDA	3	0,047	0,049	0,051	0,053	0,054
ID01_06_AK05_SR11	KDA	6	0,047	0,049	0,051	0,053	0,054
ID01_09_AK05_SR11	KDA	9	0,047	0,048	0,050	0,052	0,053
ID01_12_AK05_SR11	KDA	12	0,047	0,048	0,049	0,051	0,052
ID01_03_AK05_SR11	WDA	3	0,047	0,048	0,049	0,050	0,052
ID01_06_AK05_SR11	WDA	6	0,047	0,048	0,049	0,051	0,052
ID01_09_AK05_SR11	WDA	9	0,047	0,048	0,049	0,051	0,052
ID01_12_AK05_SR11	WDA	12	0,047	0,047	0,048	0,050	0,051

Tabelle 51 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), Prozent

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert											
	Bereich	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	NDA	3	2%	3%	6%	8%	10%	3%	6%	4%	2%
ID01_06_AK03_SR11	NDA	6	2%	4%	6%	9%	11%	3%	6%	4%	3%
ID01_09_AK03_SR11	NDA	9	2%	3%	5%	8%	10%	3%	6%	4%	3%
ID01_12_AK03_SR11	NDA	12	2%	3%	5%	7%	8%	3%	5%	4%	2%
ID01_03_AK03_SR11	KDA	3	3%	6%	9%	13%	15%	5%	10%	7%	4%
ID01_06_AK03_SR11	KDA	6	4%	6%	9%	13%	14%	5%	10%	7%	4%
ID01_09_AK03_SR11	KDA	9	4%	5%	8%	11%	12%	5%	9%	7%	4%
ID01_12_AK03_SR11	KDA	12	4%	5%	7%	10%	11%	5%	9%	6%	4%
ID01_03_AK03_SR11	WDA	3	4%	5%	7%	9%	12%	4%	7%	5%	4%
ID01_06_AK03_SR11	WDA	6	3%	5%	7%	10%	12%	4%	8%	6%	3%
ID01_09_AK03_SR11	WDA	9	3%	4%	6%	10%	12%	4%	8%	5%	3%
ID01_12_AK03_SR11	WDA	12	3%	4%	6%	9%	11%	4%	8%	5%	3%

Tabelle 52 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Prozent

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchte gesamte Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert							
Variante	Bereich	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	NDA	3	3%	5%	8%	10%	12%
ID01_06_AK05_SR11	NDA	6	3%	5%	9%	11%	13%
ID01_09_AK05_SR11	NDA	9	3%	5%	7%	11%	12%
ID01_12_AK05_SR11	NDA	12	3%	4%	6%	9%	11%
ID01_03_AK05_SR11	KDA	3	5%	8%	12%	15%	17%
ID01_06_AK05_SR11	KDA	6	5%	8%	11%	15%	16%
ID01_09_AK05_SR11	KDA	9	5%	7%	9%	14%	14%
ID01_12_AK05_SR11	KDA	12	4%	6%	8%	12%	13%
ID01_03_AK05_SR11	WDA	3	4%	5%	9%	10%	14%
ID01_06_AK05_SR11	WDA	6	4%	6%	9%	11%	13%
ID01_09_AK05_SR11	WDA	9	4%	5%	8%	11%	13%
ID01_12_AK05_SR11	WDA	12	3%	5%	7%	10%	12%

Setzt man die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im 1. cm und die Erhöhung über die gesamte Dämmstoffdicke in Relation, zeigt sich für die Bereiche „Nord“ und „West“, dass die Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung um bis zu 7,1 % (5) über dem Mittelwert des gesamten Dämmstoffquerschnitts liegt (Tabelle 53 und Tabelle 54). Im Bereich „Kante“ fällt der Unterschied zwischen 1. cm und gesamter Dämmstoffdicke mit maximal 3,1 % (6) geringer aus. Grund dafür sind die – verglichen mit den Bereichen „Nord“ und „West“ – höhere Feuchtegehalte des Dämmstoffs im Eckbereich (Tabelle 46 und Tabelle 47).

Tabelle 53 Relation Wärmeleitfähigkeitsanstieg im 1. cm zu gesamter Dämmstoffdicke für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), jeweils Monatsmittelwerte

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit 1. cm zu gesamter Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert											
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N5/NDA	3	1%	3%	6%	6%	5%	2%	6%	5%	1%
ID01_06_AK03_SR11	N5/NDA	6	2%	6%	6%	7%	5%	5%	7%	6%	2%
ID01_09_AK03_SR11	N5/NDA	9	2%	6%	6%	7%	6%	5%	7%	6%	2%
ID01_12_AK03_SR11	N5/NDA	12	2%	5%	6%	7%	6%	5%	6%	6%	2%
ID01_03_AK03_SR11	K5/KDA	3	1%	3%	2%	2%	1%	3%	2%	3%	1%
ID01_06_AK03_SR11	K5/KDA	6	2%	2%	1%	1%	1%	3%	1%	2%	1%
ID01_09_AK03_SR11	K5/KDA	9	2%	2%	1%	0%	0%	2%	1%	2%	2%
ID01_12_AK03_SR11	K5/KDA	12	2%	2%	1%	1%	0%	2%	2%	2%	2%
ID01_03_AK03_SR11	W5/WDA	3	-1%	1%	4%	5%	3%	0%	4%	2%	0%
ID01_06_AK03_SR11	W5/WDA	6	1%	5%	6%	7%	5%	5%	6%	6%	2%
ID01_09_AK03_SR11	W5/WDA	9	3%	6%	6%	7%	6%	6%	7%	7%	4%
ID01_12_AK03_SR11	W5/WDA	12	5%	6%	7%	7%	6%	6%	7%	7%	5%

Tabelle 54 Relation Wärmeleitfähigkeitsanstieg im 1. cm zu gesamter Dämmstoffdicke für Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“), jeweils Monatsmittelwerte

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit 1. cm zu gesamter Dämmstoffdicke Jänner - Mittelwert							
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	N5/NDA	3	2%	6%	6%	6%	5%
ID01_06_AK05_SR11	N5/NDA	6	6%	7%	6%	7%	6%
ID01_09_AK05_SR11	N5/NDA	9	6%	7%	6%	7%	6%
ID01_12_AK05_SR11	N5/NDA	12	6%	7%	6%	7%	6%
ID01_03_AK05_SR11	K5/KDA	3	3%	3%	1%	2%	1%
ID01_06_AK05_SR11	K5/KDA	6	2%	2%	0%	1%	1%
ID01_09_AK05_SR11	K5/KDA	9	2%	1%	0%	0%	-1%
ID01_12_AK05_SR11	K5/KDA	12	1%	1%	0%	0%	-1%
ID01_03_AK05_SR11	W5/WDA	3	0%	4%	5%	5%	3%
ID01_06_AK05_SR11	W5/WDA	6	4%	6%	6%	7%	5%
ID01_09_AK05_SR11	W5/WDA	9	6%	7%	6%	7%	6%
ID01_12_AK05_SR11	W5/WDA	12	6%	7%	6%	7%	6%

Tabelle 55 Minimalwert, Maximalwert und Median der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit nach Dämmstoffdicke über alle untersuchten Innenraumklimata für Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“).

Wien	Minimal	Maximal	Median
3 cm	2,2 %	14,8 %	6,7 %
6 cm	2,4 %	14,3 %	7,0 %
9 cm	2,4 %	12,4 %	6,5 %
12 cm	2,4 %	11,0 %	6,0 %

Tabelle 56 Minimalwert, Maximalwert und Median der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit nach Dämmstoffdicke über alle untersuchten Innenraumklimata für Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“).

Klagenfurt	Minimal	Maximal	Median
3 cm	2,7 %	16,6 %	8,6 %
6 cm	3,2 %	16,3 %	9,0 %
9 cm	3,1 %	14,4 %	8,0 %
12 cm	3,0 %	12,7 %	7,0 %

Tabelle 55 und Tabelle 56 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse aus Tabelle 53 und Tabelle 54 in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke.

Conclusio

1. Infolge von Dampfdiffusion ins Bauteil erhöht sich die Feuchte im Material wodurch der Wärmedurchgangswiderstand reduziert wird.
2. Die Reduktion des Wärmedurchgangswiderstands ist u.a. abhängig vom Innenraumklima, wie Tabelle 37 und Tabelle 38 für „ID01“ und „SR11“ zeigt.
3. Da sich das Kriterium der maximal zulässigen Verschlechterung von 10 % des Wärmedurchgangswiderstandes auf die Gesamtkonstruktion, also den Bauteilquerschnitt bezieht, variiert der minimal zulässige Wärmedurchgangswiderstand mit der auf die Konstruktion aufgetragenen Dämmstoffdicke.
4. Für die untersuchten Aufbauten zeigt sich, dass der minimal zulässige Wärmedurchgangswiderstand für Innendämmsystem „ID01“ bei Außenklima Wien

($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) und Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{Klagenfurt,kalt}$ „AK05“) nicht unterschritten wird.

5. Diese Reserve auf die maximal zulässige Verschlechterung des Wärmedurchgangswiderstands liegt für Außenklima Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) zwischen max. 9,0 % und minimal 1,9 %, für Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{Klagenfurt,kalt}$ „AK05“) zwischen max. 8,7 % und minimal 0,6 %, wie Tabelle 39 und Tabelle 40 zeigt.
6. Für Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ liegt der Wassergehalt im Monatsmittel Jänner bei bis zu $18,6 \text{ kg/m}^3$ wie Tabelle 41 und Tabelle 42 für Position 5, dem 1. Zentimeter der Dämmung im Jänner zeigt. Ausgehend von den vorliegenden Wassergehalten und der ermittelten Reserve der Konstruktion auf den Grenzwert werden für die Dämmung neue Grenzwerte des Wassergehalts festgelegt.
 - 1. cm des Dämmstoffs auf der Seite zum Mauerwerk (Position 5) $16 \text{ kg/m}^3 / 12,8 \text{ M-}\%$
 - Mitte des Dämmstoffs (Position 6) $12 \text{ kg/m}^3 / 9,6 \text{ M-}\%$
 - Letzter cm des Dämmstoffs auf der Seite zum Innenraum (Position 7) $8 \text{ kg/m}^3 / 6,4 \text{ M-}\%$
 - Gesamter Dämmstoffquerschnitt (Bereich DA) $12 \text{ kg/m}^3 / 9,6 \text{ M-}\%$

Damit liegen die Werte für die Mitte und den letzten cm des Dämmstoffs (Positionen 6 und 7) sowie die Werte für den gesamten Dämmstoffquerschnitt im Bereich der vom Hersteller angegebenen 6-8 M-% (Quelle Beneder, Xella Österreich) bzw. 8-10 M-% (Quelle Holger, Xella Deutschland). Bei Position 5 liegt der angesetzte Grenzwert mit 12 M-% etwas über den vom Hersteller genannten Werten.

7. Die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zum Bemessungswert an Position 5 liegt zwischen 3,1 % und 18,8 %, wie Tabelle 43 und Tabelle 44 zeigt. Über die gesamte Dämmstoffdicke liegt der Wert im Jänner für Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ im Bereich „Kante“ im Monatsmittel bei bis zu $15,9 \text{ kg/m}^3$. In der nach Norden und Westen orientierten Wand bei bis zu $12,6 \text{ kg/m}^3$ (Tabelle 47 und Tabelle 48) und damit knapp über dem zuvor definierten Grenzwert.
8. Über die gesamte Dämmstoffdicke erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit von der Bemessungswärmeleitfähigkeit von $0,045 \text{ W/mK}$ auf $0,054 \text{ W/mK}$ (Tabelle 49 und Tabelle 50), was einer Erhöhung um bis zu 16,6 % entspricht (Tabelle 51 und Tabelle 52).

3.4.6 Eingeschwungener Zustand

Die Funktionsfähigkeit eines Innendämmsystems gilt als nachgewiesen, wenn ein eingeschwungener Zustand erreicht wird. Es darf zu keiner kontinuierlichen Auffeuchtung der Konstruktion kommen. Nach einer Einschwingphase müssen sich Feuchteintrag und Trocknung im Jahresgang die Waage halten.

Tabelle 57 Wassergehaltsänderung der Gesamtkonstruktion von 4. zu 5. Berechnungsjahr, Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Wassergehaltsänderung Gesamtkonstruktion 4. zu 5. Jahr											
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	NKO	3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ID01_06_AK03_SR11	NKO	6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ID01_09_AK03_SR11	NKO	9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ID01_12_AK03_SR11	NKO	12	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ID01_03_AK03_SR11	WKO	3	3,0%	3,1%	3,1%	3,3%	3,3%	3,1%	3,4%	3,3%	3,1%
ID01_06_AK03_SR11	WKO	6	2,9%	3,1%	3,1%	3,4%	3,4%	3,2%	3,4%	3,3%	3,0%
ID01_09_AK03_SR11	WKO	9	3,0%	3,2%	3,2%	3,5%	3,5%	3,3%	3,6%	3,4%	3,1%
ID01_12_AK03_SR11	WKO	12	3,2%	3,3%	3,3%	3,6%	3,6%	3,4%	3,7%	3,6%	3,2%

Tabelle 58 Wassergehaltsänderung der Gesamtkonstruktion von 4. zu 5. Berechnungsjahr, Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“)

Wassergehaltsänderung Gesamtkonstruktion 4. zu 5. Jahr							
	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11	NKO	3	-0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
ID01_06_AK05_SR11	NKO	6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ID01_09_AK05_SR11	NKO	9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ID01_12_AK05_SR11	NKO	12	0,0%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
ID01_03_AK05_SR11	WKO	3	0,3%	0,4%	0,4%	0,5%	0,7%
ID01_06_AK05_SR11	WKO	6	0,4%	0,5%	0,6%	0,8%	1,0%
ID01_09_AK05_SR11	WKO	9	0,6%	0,7%	0,8%	1,1%	1,2%
ID01_12_AK05_SR11	WKO	12	0,7%	0,9%	0,9%	1,3%	1,4%

Tabelle 58 zeigt die jährliche Wassergehaltsänderung der Gesamtkonstruktion vom vierten zum fünften Jahr der Simulationsberechnungen. Als Richtwert für die Beurteilung wird in [48] eine jährliche Wassergehaltsänderung von weniger als 1%, bezogen auf den Vorjahreswassergehalt empfohlen. Dieser Richtwert wird im Bereich Nord (1) eingehalten. Im Bereich „West“ (2) wird dieser Richtwert mit zunehmender Dämmstoffdicke bei „IK04“ und „IK05“ überschritten (3). Mit zunehmender Wanddicke nimmt auch die Dauer der Einschwingphase zu. Diese kann, abhängig von den Anfangsbedingungen und der Konstruktion, mehrere Jahre betragen. Die Simulationsberechnungen werden für 5 Jahre durchgeführt. Es zeigt sich, dass Aussagen über die Funktionsfähigkeit eines

Innendämmsystems bereits zulässig sind, auch wenn der eingeschwungene Zustand noch nicht erreicht ist.

Tabelle 59 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) an der Position 5, Monatsmittelwert, für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen

Kriterium 'maximal zulässiger Wassergehalt'										
Reduktion der Dämmwirkung Position 5										
Monatsmittelwert - Grenzwert 16 kg/m ³										
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	
ID01_03_AK03_SR11_nord (n)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3 cm
ID01_03_AK03_SR11_kante (k)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_03_AK03_SR11_west (w)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_06_AK03_SR11_nord (n)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6 cm
ID01_06_AK03_SR11_kante (k)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_06_AK03_SR11_west (w)	✓	✓	✓	✓	✗ (3)	✓	✓	✓	✓	
ID01_09_AK03_SR11_nord (n)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9 cm
ID01_09_AK03_SR11_kante (k)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_09_AK03_SR11_west (w)	✓	✓	✓	✗ (1)	✗ (4)	✓	✓	✓	✓	
ID01_12_AK03_SR11_nord (n)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12 cm
ID01_12_AK03_SR11_kante (k)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_12_AK03_SR11_west (w)	✓	✓	✓	✗ (2)	✗ (5)	✓	✓	✓	✓	

Tabelle 59 zeigt die Beurteilung anhand des maximal zulässigen Wassergehalts im 1. cm der Dämmung (Position „N5“ (n), „K5“ (k), „W5“ (w)) für Standort Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“). Wird dieser Wassergehalt überschritten, kommt es zu einer unzulässigen Reduktion des Wärmedurchlasswiderstandes des Bauteilquerschnitts von mehr als 10 %. Dieses Kriterium wird bei der nach Westen orientierten Fassade bei Schlagregen für „IK04“ ab 9 cm (1, 2), für „IK05“ bereits ab 6 cm Dämmstoffdicke (3, 4, 5) überschritten.

Tabelle 60 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) über die gesamte Dämmstoffdicke, Monatsmittelwert, für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen

Kriterium 'maximal zulässiger Wassergehalt'									
Reduktion der Dämmwirkung ü. gesamten Dämmstoff									
Monatsmittelwert - Grenzwert 12 kg/m ³									
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 60 zeigt die Beurteilung anhand des maximal zulässigen Wassergehalts, bezogen auf die gesamte Dämmstoffdicke (Bereich „NDA“, „KDA“, „WDA“). Im Bereich „Kante“ wird der definierte Grenzwert von 12 kg/m³ bei 3 cm und 6 cm dicker Dämmung bei „IK04“ und „IK05“ überschritten.

Tabelle 61 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) an der Position 5, Monatsmittelwert, für Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen

Kriterium 'maximal zulässiger Wassergehalt'					
Reduktion der Dämmwirkung Position 5					
Monatsmittelwert - Grenzwert 16 kg/m ³					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK03_SR11_nord	(n) ✓	✓	✓	✓ (1)	✓ (1)
ID01_03_AK03_SR11_kante	(k) ✓	✓	✓	✗ (2)	✗ (2)
ID01_03_AK03_SR11_west	(w) ✓	✓	✓	✓ (1)	✓ (1)
ID01_06_AK03_SR11_nord	(n) ✓	✓	✓	✗ (3)	✗ (3)
ID01_06_AK03_SR11_kante	(k) ✓	✓	✓	✓ (4)	✗ (5)
ID01_06_AK03_SR11_west	(w) ✓	✓	✓	✗ (3)	✗ (3)
ID01_09_AK03_SR11_nord	(n) ✓	✓	✓	✗ (6)	✗ (6)
ID01_09_AK03_SR11_kante	(k) ✓	✓	✓	✓ (7)	✓ (7)
ID01_09_AK03_SR11_west	(w) ✓	✓	✓	✗ (6)	✗ (6)
ID01_12_AK03_SR11_nord	(n) ✓	✓	✓	✓ (8)	✓ (8)
ID01_12_AK03_SR11_kante	(k) ✓	✓	✓	✓ (9)	✓ (9)
ID01_12_AK03_SR11_west	(w) ✓	✓	✓	✗ (10)	✗ (10)

Tabelle 61 zeigt die Beurteilung anhand des maximal zulässigen Wassergehalts im 1. cm der Dämmung (Position „N5“ (n), „K5“ (k), „W5“ (w)) für Standort Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt}

„AK05“). Dieses Kriterium wird im Vergleich zu Standort Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) für Innenraumklima „IK04“ im Bereich „Kante“ bei 3 cm (2), für Innenraumklima „IK05“ im Bereich „Kante“ bei 3 cm (2) und 6 cm (5), im Bereich Nord bei 6 cm (3) und 9 cm (6) sowie im Bereich „West“ bei 6 cm (3), 9 cm (6) und 12 cm (10) Dämmstoffdicke überschritten.

Tabelle 62 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) über die gesamte Dämmstoffdicke, Monatsmittelwert, für Außenklima Klagenfurt ($HSKD_{Klagenfurt,kalt}$ „AK05“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen

Kriterium 'maximal zulässiger Wassergehalt' Reduktion der Dämmwirkung ü. gesamten Dämmstoff Monatsmittelwert - Grenzwert 12 kg/m ³					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_03_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗
ID01_06_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_06_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗
ID01_09_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_09_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗
ID01_12_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 62 zeigt die Beurteilung anhand des maximal zulässigen Wassergehalts bezogen auf die gesamte Dämmstoffdicke. Im Bereich „Kante“ wird der definierte Grenzwert von 12 kg/m³ bei 3, 6 und 9 cm dicker Dämmung bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ und im Bereich „West“ bei 3, 6 und 9 cm dicker Dämmung für „IK05“ überschritten.

Conclusio

1. Mit zunehmender Wanddicke nimmt die Dauer der Einschwingphase zu. Diese beträgt, abhängig von den Anfangsbedingungen, mehrere Jahre.
2. In den für 5 Jahre durchgeführten Simulationsberechnungen ist die Einschwingphase nicht vollständig abgeschlossen, was bedeutet, dass sich Feuchteintrag und Trocknung im Jahresgang nicht die Waage halten, wie anhand der Wassergehaltsänderung der Gesamtkonstruktion vom vierten zum fünften Jahr beurteilt werden kann.
3. Als Richtwert für die Beurteilung wird nach WTA Merkblatt 6-5-14 [55] eine jährliche Wassergehaltsänderung von weniger als 1%, bezogen auf den Vorjahreswassergehalt empfohlen. Dieser Richtwert wird im Bereich Nord eingehalten, im Bereich „West“ wird er mit zunehmender Dämmstoffdicke bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ überschritten (Tabelle 58).
4. Die Beurteilung anhand des maximal zulässigen Wassergehalts in Position 5 für Außenklima Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) ergibt eine Überschreitung bei der nach

Westen orientierten Fassade bei Schlagregen für Innenraumklima „IK04“ ab 9 cm, für „IK05“ bereits ab 6 cm Dämmstoffdicke (Tabelle 59).

5. Bezogen auf die gesamte Dämmstoffdicke wird der definierte Grenzwert von 12 kg/m³ bei 3 und 6 cm dicker Dämmung bei Innenraumklima „IK04“ und Innenraumklima „IK05“ überschritten (Tabelle 60). Für Außenklima Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) wird an Position 5 im Vergleich dazu für Innenraumklima „IK04“ im Bereich „Kante“ bei 3 cm, für „IK05“ im Bereich „Kante“ zwischen 3 cm und 6 cm, im Bereich Nord zwischen 6 cm und 9 cm und im Bereich „West“ ab 3 cm Dämmstoffdicke überschritten (Tabelle 61).
6. Bezogen auf die gesamte Dämmstoffdicke wird der Grenzwert bei 3, 6 und 9 cm dicker Dämmung bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ und im Bereich „West“ bei 3, 6 und 9 cm dicker Dämmung für „IK05“ überschritten (Tabelle 62).

3.4.7 Frost-Tau-Wechsel

Das Kriterium Frost ist in erster Linie auf die Bestandskonstruktion bezogen und basiert auf der Bewertung der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, auf der Bewertung des Sättigungsgrades und auf der Bewertung des Verhältnisses von Eis- zu Porenvolumen.

Tabelle 63 zeigt die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel im 5. Jahr der Simulationsberechnungen. An der Position „W0“ erhöht sich, auf Grund der Dämm-Maßnahme die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel von 6 auf 20 bis 30.

Tabelle 63 Anzahl der Frost-Tau-Wechsel an der Positionen „N0“ und „W0“ in a5, für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

Frost-Tau-Wechsel 5. Jahr											
Variante	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_06_AK03_SR11	N0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_09_AK03_SR11	N0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_12_AK03_SR11	N0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_03_AK03_SR11	W0	3	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ID01_06_AK03_SR11	W0	6	21	20	23	20	20	20	20	20	21
ID01_09_AK03_SR11	W0	9	30	30	30	29	30	31	30	30	30
ID01_12_AK03_SR11	W0	12	25	30	30	30	30	30	30	30	30

Der Sättigungsgrad ist das Verhältnis des vorhandenen Wassergehalts zur Porosität. Tabelle 64 zeigt die maximalen Feuchtesättigungsgrade an den Positionen „N0“ und „W0“ für Jänner für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“). Ausschlaggebend für ein Schadensrisiko ist der in Tabelle 65 dargestellte Feuchtesättigungsgrad für den ein Richtwert von 30 % die nicht überschritten werden sollte.

Tabelle 64 Maximaler Feuchtesättigungsgrad an den Positionen „N0“ und „W0“ für Jänner in a5, Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

moisture saturation degree Jänner - Maxima											
	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N0	3	0,144	0,144	0,144	0,142	0,143	0,144	0,144	0,144	0,144
ID01_06_AK03_SR11	N0	6	0,148	0,148	0,148	0,146	0,147	0,148	0,148	0,148	0,148
ID01_09_AK03_SR11	N0	9	0,150	0,150	0,150	0,149	0,149	0,150	0,150	0,150	0,150
ID01_12_AK03_SR11	N0	12	0,151	0,151	0,151	0,150	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
ID01_03_AK03_SR11	W0	3	0,335	0,335	0,335	0,334	0,335	0,335	0,335	0,335	0,335
ID01_06_AK03_SR11	W0	6	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336
ID01_09_AK03_SR11	W0	9	0,337	0,337	0,337	0,336	0,336	0,337	0,337	0,337	0,337
ID01_12_AK03_SR11	W0	12	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337

Tabelle 64 zeigt, dass dieses Kriterium für die nach Westen orientierte Fassade für alle Innenraumklimata und Dämmstoffdicken überschritten wird. Mit einem Feuchtesättigungsgrad von 0,332 wird dieses Kriterium bereits bei der nach Westen orientierten ungedämmten Bestandswand überschritten.

Ausgehend von einem maximalen Eis- zu Porenvolumen-Verhältnis von 0,017 für den ungedämmten Bestand erfolgt durch die Dämmmaßnahme eine Erhöhung auf bis zu 0,043 für die nach Westen orientierte Wand.

Tabelle 66 zeigt das maximalen Eis- zu Porenvolumen. Trotz der Überschreitung des Grenzwerts von 30 % beim Feuchtesättigungsgrad ist aber noch nicht mit einem Schaden zu rechnen, da die Poren nicht vollständig mit Eis gefüllt sind (Tabelle 67). Grund dafür ist, dass dem Grenzwert beim Feuchtesättigungsgrad ein Sicherheitsfaktor 2 bezogen auf kritische Sättigungsgrade hinterlegt ist. Höhere Sättigungsgrade sind zulässig, sofern die relative Luftfeuchte innerhalb der Materialschicht unter 95 % bleibt.

Tabelle 65 Maximaler Feuchte-Sättigungsgrad an den Positionen „N0“ und „W0“ im Jänner, 5. Jahr, für Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

moisture_saturation_degree - Jänner - max a5										
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	
ID01_03_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_06_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_09_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_12_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ID01_03_AK03_SR11	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
ID01_06_AK03_SR11	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
ID01_09_AK03_SR11	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
ID01_12_AK03_SR11	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	

Tabelle 66 Maximales Eis zu Porenvolumen – Verhältnis an den Positionen „N0“ und „W0“ für Jänner, 5. Jahr, Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

ice volume to pore ratio											
5. Jahr - Maxima											
	Pos.	cm	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11	N0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_06_AK03_SR11	N0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_09_AK03_SR11	N0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_12_AK03_SR11	N0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ID01_03_AK03_SR11	W0	3	0,039	0,039	0,039	0,038	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
ID01_06_AK03_SR11	W0	6	0,041	0,041	0,041	0,040	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041
ID01_09_AK03_SR11	W0	9	0,042	0,042	0,042	0,041	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
ID01_12_AK03_SR11	W0	12	0,021	0,043	0,043	0,042	0,042	0,043	0,043	0,043	0,043

Tabelle 67 Beurteilungskriterium ice volume to pore ratio an den Positionen „N0“ und „W0“, im Jänner, 5. Jahr, Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“)

ice volume to pore ratio - max a5										
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	
ID01_03_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Conclusio

1. Für die nach Norden orientierte – nicht schlagregenbelastete Wand – besteht kein Risiko für Schäden durch Frost-Tau-Wechsel. Der Feuchtesättigungsgrad – als Verhältnis des vorhandenen Wassergehalts zur Porosität, für das ein Richtwert von unter 30 % gilt – liegt deutlich unter diesem Grenzwert.
2. Auf Grund der Dämmmaßnahme erhöht sich die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel. Für Wien „AK03“ beispielsweise von 6 Frost-Tau-Wechseln beim ungedämmten Bestand auf 20 bis 30 wie Tabelle 63 zeigt.
3. Das Kriterium Feuchtesättigungsgrad wird für die nach Westen orientierte Fassade bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) für alle Innenraumklimata und Dämmstoffdicken wie auch für die ungedämmte Bestandswand überschritten.
4. Ausgehend von einem maximalen Eis- zu Porenvolumen-Verhältnis von 0,017 für den ungedämmten Bestand erfolgt durch die Dämmmaßnahme eine Erhöhung auf bis zu 0,043 für die nach Westen orientierte Wand.
5. Trotz der knappen Überschreitung des Grenzwerts von 30 % beim Feuchtesättigungsgrad ist - da die Poren nicht vollständig mit Eis gefüllt sind - nicht mit einem Schaden zu rechnen (Tabelle 67).

3.4.8 Einfluss Außenklima „mittel“ und „kalt“

Grundsätzlich entsprechen „mittlere Jahre“ – z.B. für Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) – den Anforderungen für instationäre Simulationsberechnungen. Extreme Wettersituationen enthalten sie aber – wenn überhaupt – nur eher zufällig (vgl. [58]). Es stellt sich also die Frage ob die Berechnung mit „mittleren Jahren“ zulässig ist um die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion zu beurteilen, da die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion nicht nur bei „mittleren Bedingungen“ sondern auch unter „extremen Bedingungen“ – in diesem Fall bei einer ausgeprägten Kälteperiode - gegeben sein sollte.

Sowohl für Wien als auch für Klagenfurt stellt sich heraus, dass die im Vorfeld für die Erzeugung der HSKD halbautomatisch erstellten Testreferenzjahre für das „mittlere“ und das „kalte“ Jahr ident sind. Die Ergebnisse der Simulationsberechnungen können demnach gut miteinander verglichen werden.

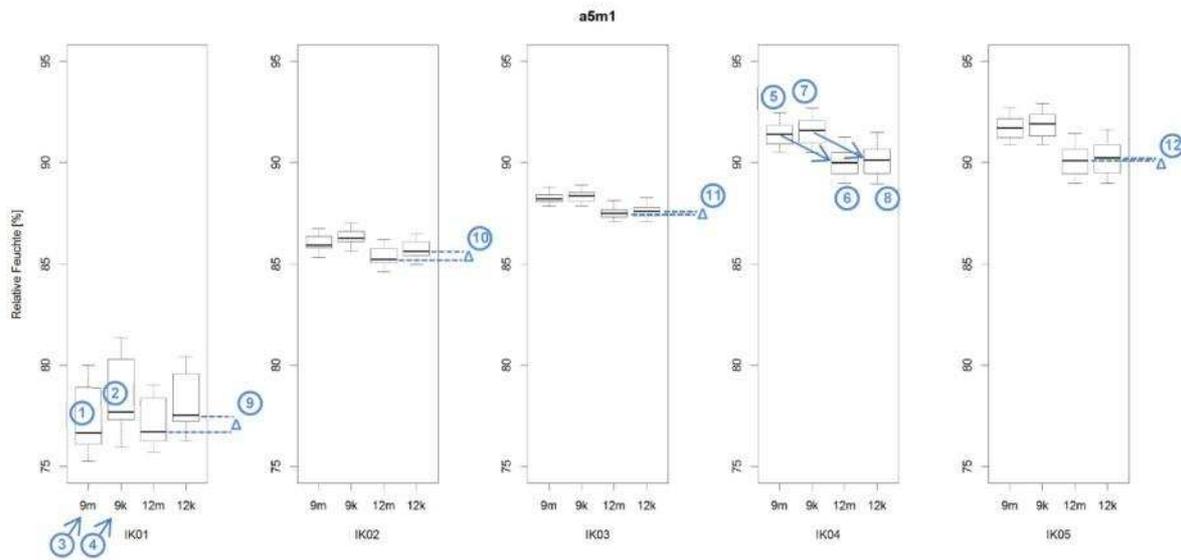


Abbildung 109 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ und „kalt“ (k) – $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ auf die relative Feuchte im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position N5) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr.

Den Einfluss des Außenklimas auf die relative Feuchte im 1. cm der Dämmung zeigt der Vergleich von $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ (2) mit $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ (1) im Jänner. Die relative Feuchte liegt bei der nach Norden orientierten Wand an der Position „N5“ bei $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ – bedingt durch die geringeren Außenlufttemperaturen – jeweils über jener von $HSKD_{Wien,mittel}$ (4>3). Sowohl bei Außenklima $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK03“ als auch bei Außenklima $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK16“ sinkt die relative Feuchte – unabhängig vom Innenraumklima – im ersten 1. cm der Dämmung bei zunehmender Dämmstoffdicke (5>6 bzw. 9>12).

Der Einfluss des Außenklimas auf die relative Feuchte (Δ rel. F) im 1. cm der Dämmung (Position „N5“) ist bei niedrigen Feuchtlasten aus dem Innenraumklima stärker ausgeprägt – siehe dazu den Unterschied zwischen 9m(ittel) und 9k(alt) bzw. 12m(ittel) und 12k(alt) bei

Innenraumklima „IK01“ – und nimmt mit zunehmender Feuchtelast aus dem Innenraumklima ab (9→10→11→12).

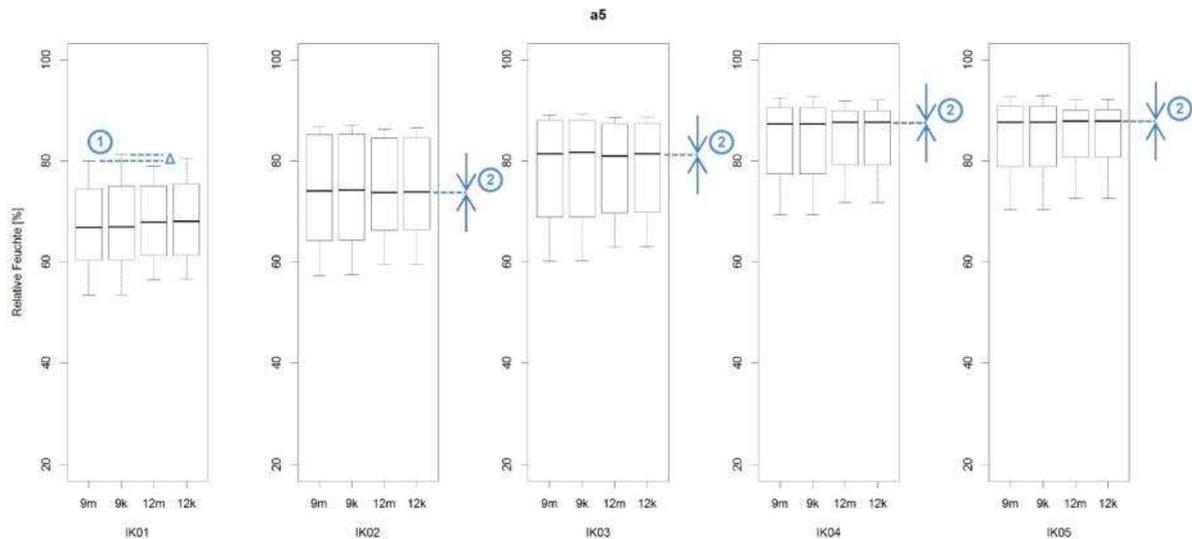


Abbildung 110 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ und „kalt“ (k) – $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ auf die relative Feuchte im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im 5. Jahr.

Außenklima $HSKD_{Wien,mittel}$ (AK03) zeigt im Vergleich mit $HSKD_{Wien,kalt}$ (AK16), abgesehen von der durch die niedrigeren Temperaturen im Jänner beim „kalten“ Jahr (Abbildung 111) bedingten höheren relativen Feuchten (1), in der Jahresbetrachtung keinen relevanten Unterschied (2). Grund dafür ist, dass sich die relative Feuchte, wie auch die Temperatur in der Konstruktion rasch – in Abhängigkeit der anliegenden Klimabedingungen – einstellen.

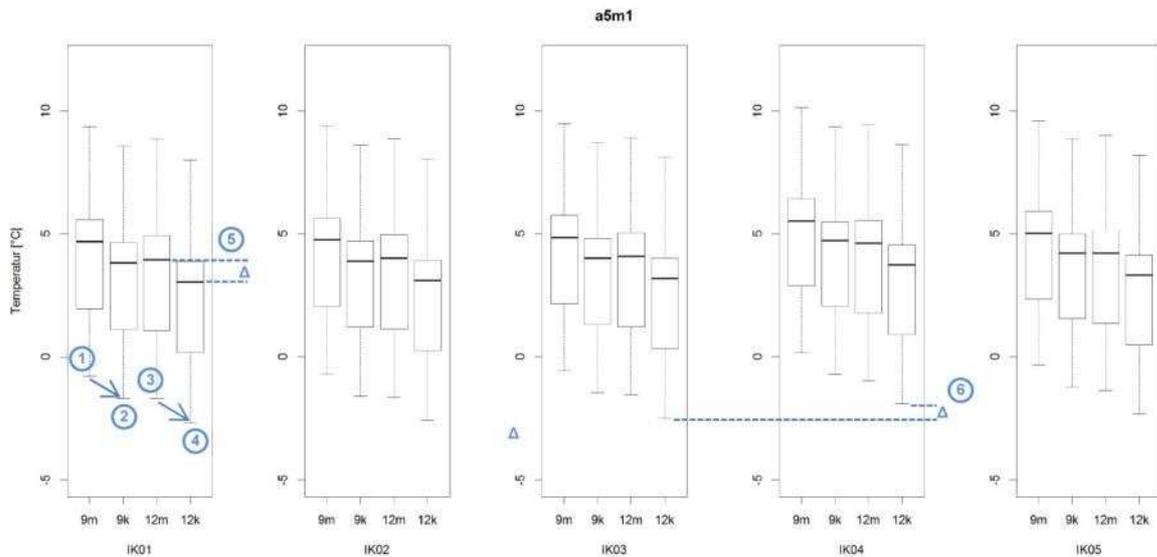


Abbildung 111 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ und „kalt“ (k) – $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ auf die Temperatur im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr

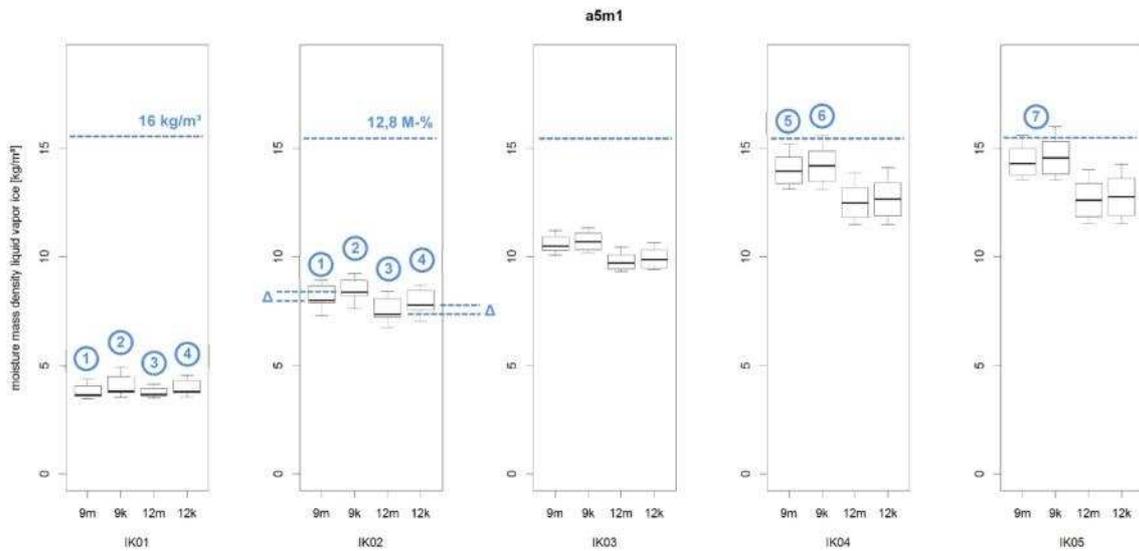


Abbildung 112 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD_{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD_{Wien,kalt} „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr

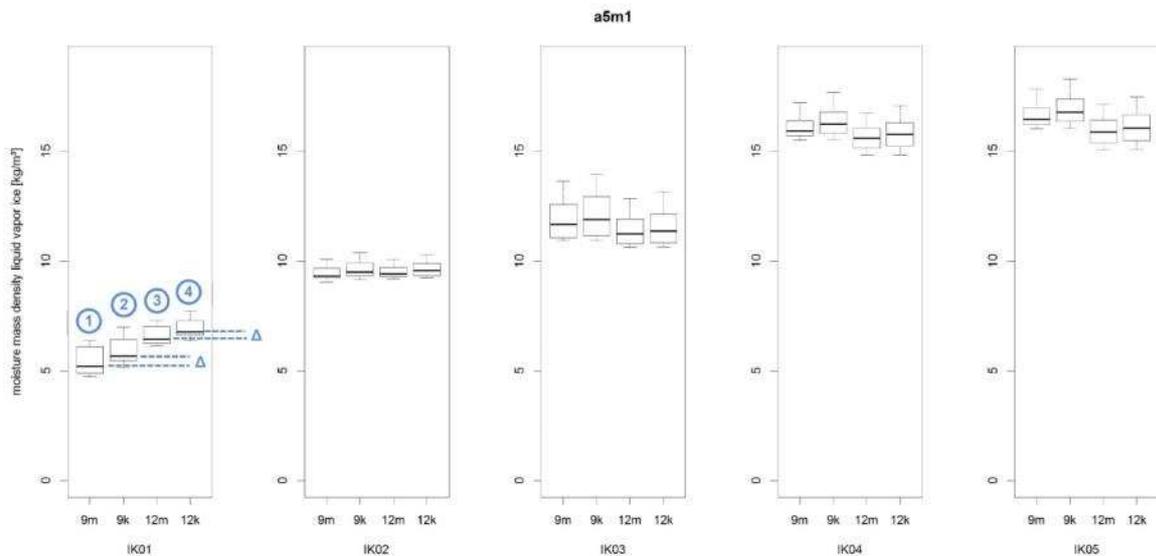


Abbildung 113 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD_{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD_{Wien,kalt} „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr

Auf Grund der Unterschiede in den Außenklimata HSKD_{Wien,mittel} „AK03“ und HSKD_{Wien,kalt} „AK16“ stellen sich die in Abbildung 112 und Abbildung 113 dargestellten höheren Wassergehalt (Δ) bei HSKD_{Wien,kalt} „AK16“ im Jänner ein (2>1, 4>3). Abbildung 114 und Abbildung 115 zeigt, dass diese Erhöhung der Wassergehalte im Jänner keinen maßgeblichen Einfluss auf den Wassergehalt über das Jahr hat.

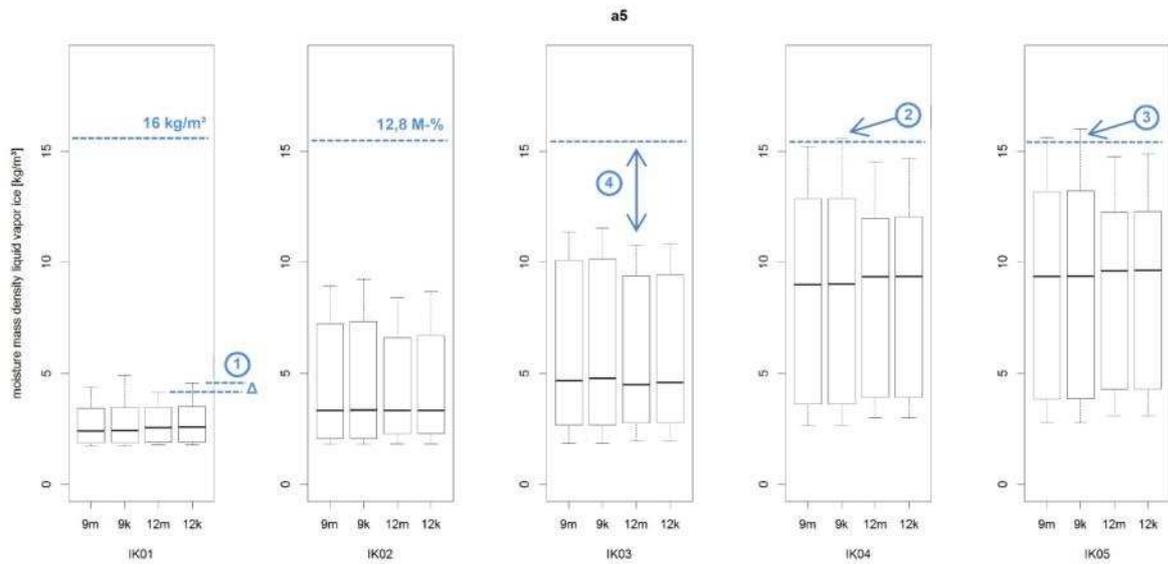


Abbildung 114 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ und „kalt“ (k) – $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“, 5. Jahr

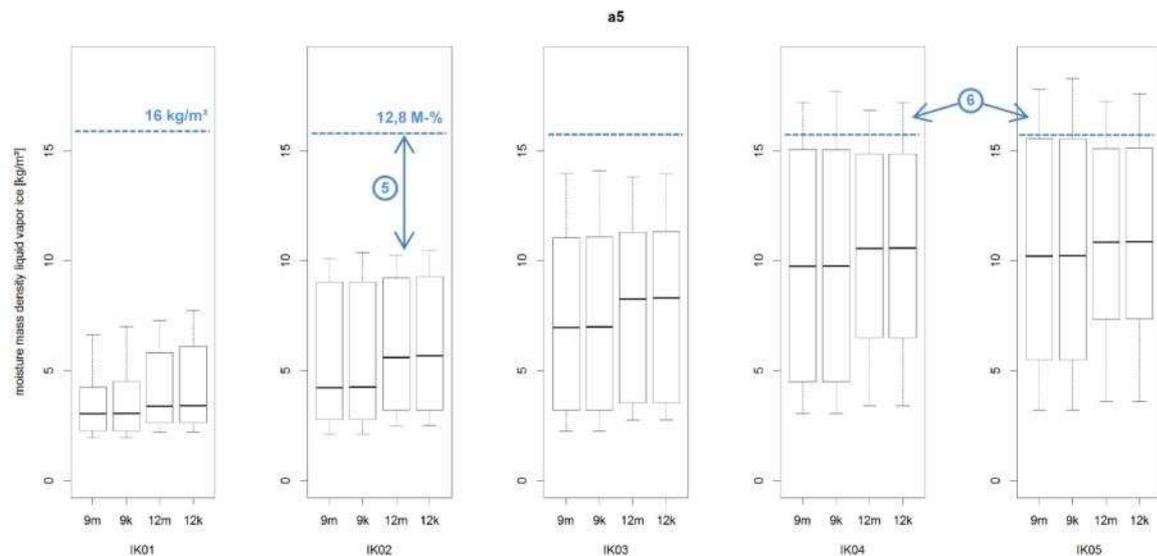


Abbildung 115 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ und „kalt“ (k) – $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“, 5. Jahr

Conclusio

1. Im Vergleich der Außenklimata $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ und $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ zeigt sich, dass die relative Feuchte in der Dämmung im Jänner bei Außenklima $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ jeweils über jener von $HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“ liegt, wobei der Einfluss maßgeblich vom Innenraumklima bestimmt wird (Abbildung 109).
2. Über das Jahr ergeben sich hinsichtlich der relativen Feuchte keine relevanten Unterschiede (Abbildung 111).

- Bei $HSKD_{Wien,kalt}$ „AK16“ im Jänner stellen sich höhere Wassergehalte ein (Abbildung 112 und Abbildung 113), die aber keinen maßgeblichen Einfluss auf den Wassergehalt über das Jahr haben (Abbildung 114 und Abbildung 115).

3.4.9 Einfluss Schlagregen und solare Direktstrahlung

Der Einfluss der Parameter Schlagregen und direkte Solarstrahlung wird nachfolgend anhand der Ergebnisse für Wassergehalt und relative Feuchte für die Dämmstoffdicken 9 cm und 12 cm dargestellt. Wobei jeweils folgende Kombinationen analysiert werden:

- „ohne Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR00)
- „ohne Schlagregen“-„mit direkter Solarstrahlung“ (SR01)
- „mit Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10)
- „mit Schlagregen“-„mit direkter Solarstrahlung“ (SR11)

Die Untersuchung erfolgt für das Standortklima Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“).

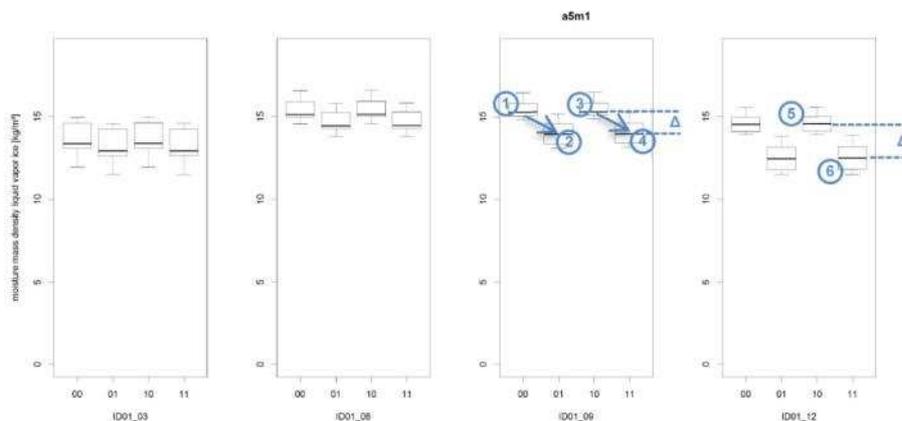


Abbildung 116 Einfluss direkte Solarstrahlung auf den Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung „ID01“ der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“), Innenraumklima „IK04“, bei Aussenklima Wien ($HSKD_{Wien,mittel}$ „AK03“) im Jänner, 5. Jahr

Abbildung 116 zeigt den Einfluss der solaren Direktstrahlung auf den Wassergehalt im ersten cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“). Anhand der reduzierten Wassergehalte (Δ) der Varianten „mit solarer Direktstrahlung“ zeigt sich der positive Einfluss der solaren Direktstrahlung auf die Gebrauchstauglichkeit (1→2 bzw. 3→4) der Innendämmung. Dieser positive Einfluss steigt mit zunehmender Dämmdicke (Vergleich $\Delta 3-4$ und $\Delta 5-6$). Auf Grund der Tatsache, dass die nach Norden orientierte Wand nicht mit Schlagregen belastet ist (die schlagregenbelastete Fassade am Standort Wien ist auf Grund der Hauptwindrichtung die Westfassade), sind die Ergebnisse für „ohne Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR00) und „mit Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10) nach Norden jeweils ident (1=3 bzw. 2=4).

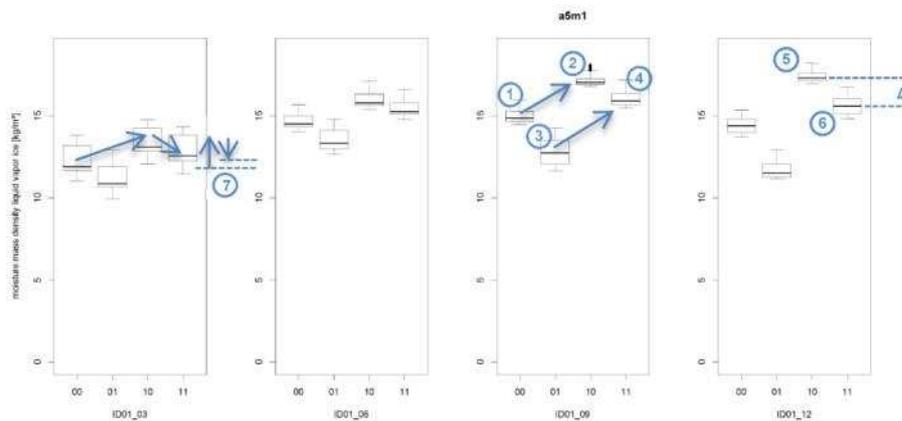


Abbildung 117 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf den Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung „ID01“ der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“), Innenraumklima „IK04“, bei Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr

In der nach Westen orientierten – also der schlagregenbelasteten – Wand ist, wie Abbildung 117 zeigt, der Einfluss des Schlagregens durch eine Erhöhung des Wassergehalts im ersten cm der Dämmung (Position „W5“) bei den Varianten „mit Schlagregen“ - „ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10) und „mit Schlagregen“-„mit direkter Solarstrahlung“ (SR11) dargestellt (1→2 bzw. 3→4). Die höchsten Werte zeigt erwartungsgemäß die Variante (2) „mit Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10). In der Regel wird bei einer vorliegenden Schlagregenbelastung auch von solarer Direktstrahlung auszugehen sein, was eine Berechnung dieser Variante „mit Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10) obsolet erscheinen lässt. Allerdings lässt sich aus der Differenz der Wassergehalte von Variante „mit Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10) minus „mit Schlagregen“-„mit direkter Solarstrahlung“ (SR11) das Trocknungspotential (Δ) auf Grund solarer Direktstrahlung berechnen (5 minus 6).

Grundsätzlich gilt, dass die Erhöhung des Wassergehalts auf Grund der Schlagregenbelastung durch die solare Direktstrahlung teilweise kompensiert wird (7), wie die Varianten „mit direkter Solarstrahlung“ (SR11) in Abbildung 117 zeigen.

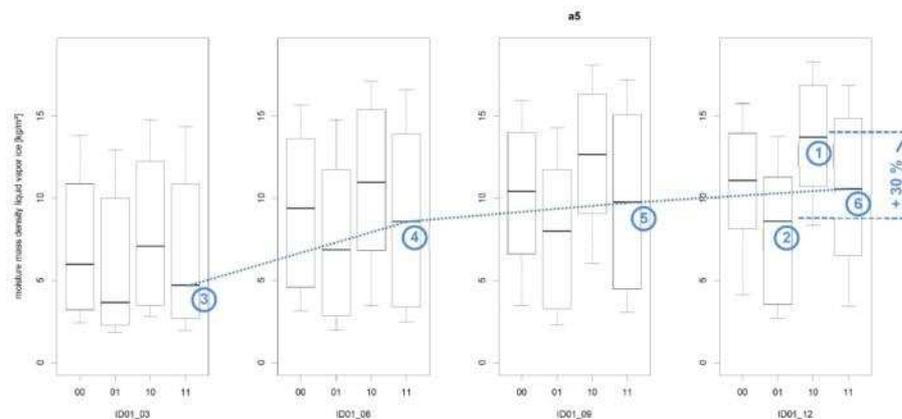


Abbildung 118 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf den Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung „ID01“ der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“), Innenraumklima „IK04“, bei Aussenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr

Analog zu Abbildung 117 wird in Abbildung 118 der Einfluss von Schlagregen und direkter Solarstrahlung auf den Wassergehalt über das Jahr dargestellt. Es zeigt sich, dass an der für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit relevanten Position „W5“ – dem 1. cm der Dämmung – der Median beim „worst case“ (1) - „mit Schlagregen“-„ohne direkte Solarstrahlung“ (SR10) gegenüber dem „best case“ (2) - „ohne Schlagregen“-„mit direkter Solarstrahlung“ (SR01) etwa 30 % höher liegt. Die Parameter „Schlagregen“ und „direkte Solarstrahlung“ spielen demnach bei der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit eine wesentliche Rolle. Mit zunehmender Dämmstoffdicke nehmen auch die Wassergehalte im 1. cm der Dämmung zu (3→4→5→6).

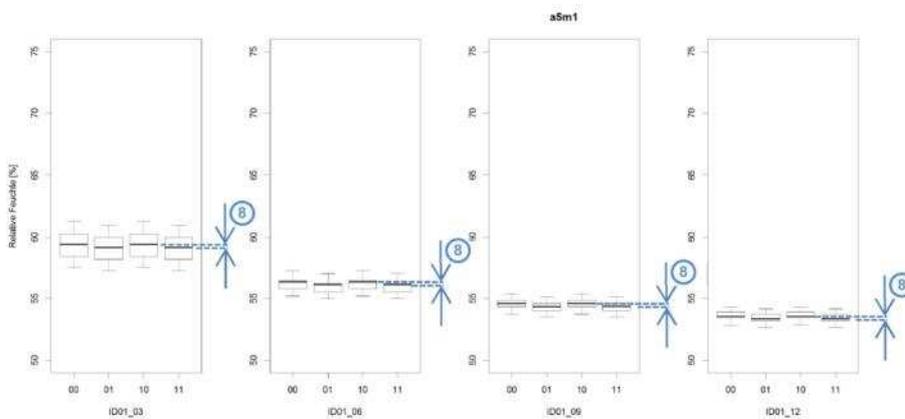


Abbildung 119 Einfluss direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Norden orientierten Wand (Position „N3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr

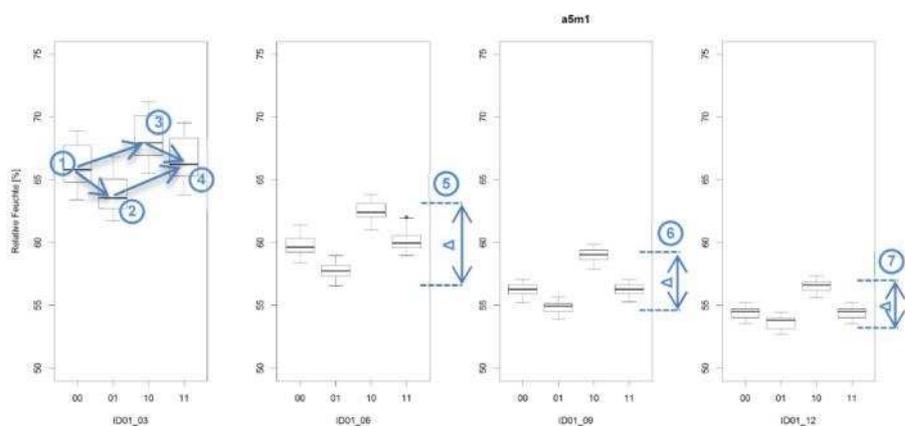


Abbildung 120 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten Wand „ID01“, nach Nord-Westen orientierten Wandkante (Position „K3“), Innenraumklima „IK04“, bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr

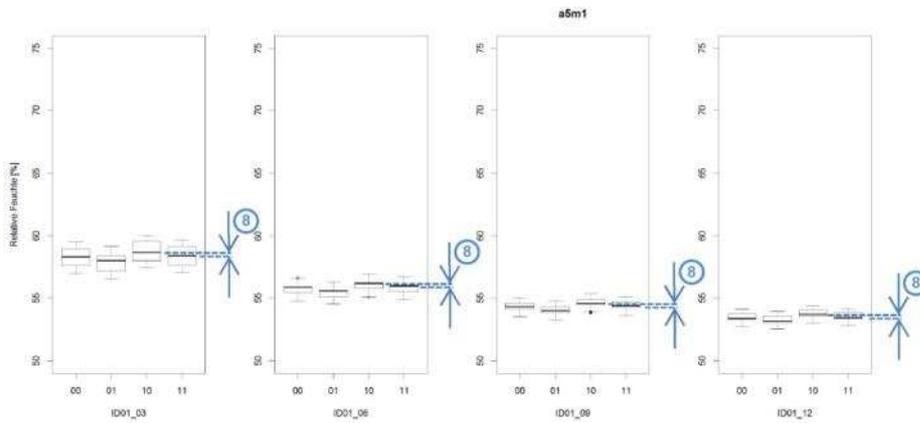


Abbildung 121 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Westen orientierten Wand (Position „W3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr

Während Schlagregen und solare Direktstrahlung deutlichen Einfluss auf den Wassergehalt in der Konstruktion zeigen, wird die relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Wandbereich (Position „N3“ und „W3“) nur unwesentlich beeinflusst, wie Abbildung 119 und Abbildung 121 zeigt (8). Im Bereich „Kante“ (Position „K3“) wird die relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche stärker beeinflusst (1→2→3→4) (Abbildung 120), wobei dieser Einfluss – auf Grund der stärkeren thermischen Entkopplung – mit zunehmender Dämmstoffdicke abnimmt (5→6→7).

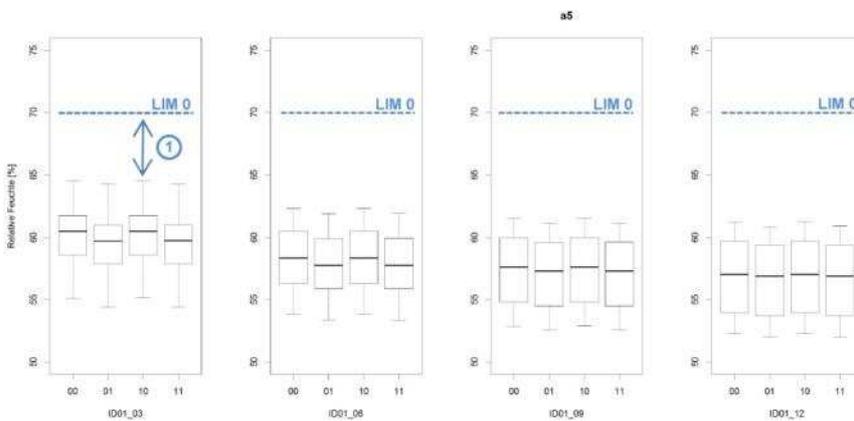


Abbildung 122 Einfluss direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Norden orientierten Wand (Position „N3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr

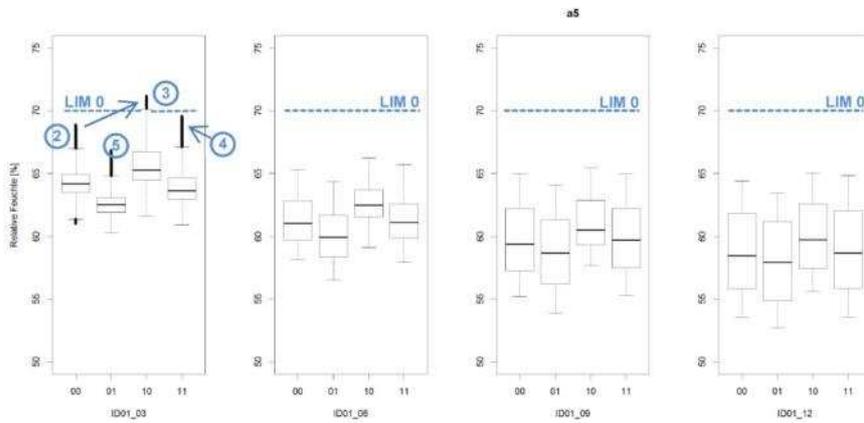


Abbildung 123 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der nach Nord-Westen orientierten innen gedämmten „ID01“ Wandkante (Position „K3“), Innenraumklima „IK04“, bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr

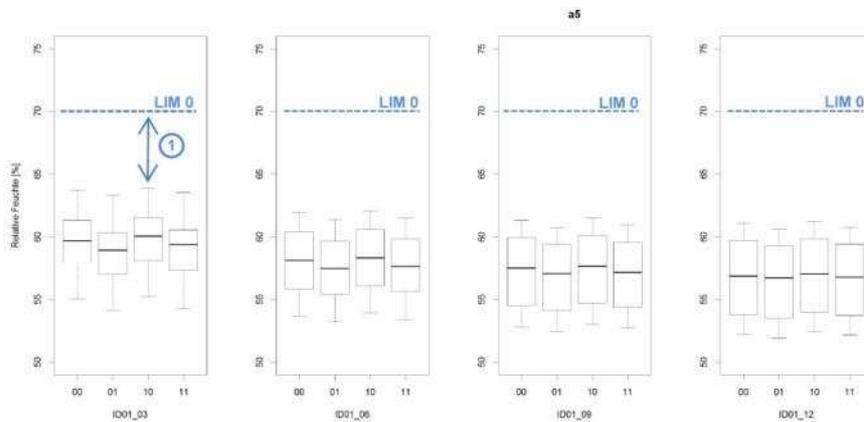


Abbildung 124 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Westen orientierten Wand (Position „W3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr

Wie Abbildung 120 (3) für Jänner, zeigt die Darstellung der relativen Feuchte der raumseitigen Oberfläche über das Jahr (Abbildung 122 bis Abbildung 124) im Bereich „Kante“ (Position „K3“) den Einfluss von Schlagregen (3, 4) und der solarer Direktstrahlung (4, 5) (Abbildung 123). Während der Einfluss beim ungestörten Wandbereich (Position „N3“ und „W3“) hinsichtlich der Beurteilung von Schimmelpilzbildung keine Rolle spielt (1), kommt es bei einer Dämmstoffdicke von 3 cm bei Schlagregenbelastung zu kritischen – weil über „LIMO“ (der Grenzkurve, ab der Myzelwachstum bei Substratgruppe 0 möglich ist) liegenden Werten (3). Wie in 1.4.4 Risiko Schimmelpilzbildung Tabelle 32 gezeigt, wird zwar das Kriterium Grenzkurve überschritten, jedoch nicht die für Schimmelpilzbildung erforderliche Dauer, womit eine Schimmelpilzbildung durch detaillierte Analyse ausgeschlossen werden kann. Liegt neben der Schlagregenbelastung auch direkte Solarstrahlung, vor besteht auch bei 3 cm Dämmstoffdicke kein Risiko für Schimmelpilzbildung, da die Werte (4) unterhalb der Grenzkurve „LIMO“ liegen.

Conclusio

1. Der Vergleich der Parameter Schlagregen und direkte Solarstrahlung zeigt, dass sich erstens auf Grund der Tatsache, dass die nach Norden orientierte Wand nicht mit Schlagregen belastet ist, keine Unterschiede zwischen „SR00“ und „SR10“ nach Norden ergeben (Abbildung 116).
2. Der Einfluss des Schlagregens durch die Erhöhung des Wassergehalts ist anhand der nach Westen orientierten Wand Position „W5“ deutlich erkennbar, wobei die höchsten Werte bei der Variante „SR10“ liegen (Abbildung 117).
3. Die Parameter Schlagregen und Solare Direktstrahlung tragen nur im Bereich „Kante“ zu einer deutlichen Veränderung der relativen Feuchte der raumseitigen Oberfläche bei (Abbildung 120).
4. Auch bezogen auf das Jahr (Abbildung 122 bis Abbildung 124) ist im Bereich „Kante“ der Einfluss des Schlagregens und der solaren Direktstrahlung auf die relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche (Abbildung 123) deutlich ausgeprägt.
5. Die erhöhte Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im Bereich „Kante“ hat allerdings keinen Einfluss auf die Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung (Tabelle 32).

3.4.10 Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2

Die Berechnung und Beurteilung der Konstruktion anhand der ÖNorm B 8110-2 [49] führt zu dem Ergebnis, dass keine der untersuchten Varianten als „geeignet“ eingestuft wird. Für den Standort Wien (Tabelle 68) erfüllt zwar die mit 3 cm gedämmte nach Westen orientierte ‚48er‘-Bestandswand die Anforderung, dass das Kondensat über das Jahr wieder austrocknen kann (1), jedoch wird der Grenzwert des Feuchtegehalts in der Konstruktion überschritten (2). Für das Außenklima Klagenfurt wird ebenfalls bei allen Konstruktionen der Grenzwert des maximal zulässigen Feuchtegehalts (3) überschritten. Bei der ‚48er‘-Bestandswand ist das Kriterium der Austrocknungsdauer bei 3 cm (4) und 6 cm (5) erfüllt, bei der nach Norden orientierten ‚30er‘-Bestandswand bei 3 cm Dämmstoffdicke (6), wie (Tabelle 69) zeigt. Im Vergleich dazu liefern die Ergebnisse der hygrisch-thermischen Simulation die in Tabelle 70 für Wien und in Tabelle 71 für Klagenfurt dargestellten Beurteilungen. Die meisten der untersuchten Varianten (grün hinterlegt) liefern eine positive Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit. Für Innenraumklima „IK04“, „IK05“, „IK07“ und „IK08“ ergeben sich für Wien insbesondere bei der nach Westen orientierten und mit Schlagregen beaufschlagten Wand ab einer Dämmstoffdicke von 6 cm negative Beurteilungen. Gleiches gilt für Klagenfurt, wobei dort im Bereich zwischen 6 cm und 9 cm auch die nach Norden orientierte Wand bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ negativ beurteilt wird.

Diese deutlichen Unterschiede in der Bewertung sind in erster Linie darauf zurückzuführen, dass bei der Berechnung anhand der ÖNorm B 8110-2 die für diese Konstruktion relevanten Feuchte-Transportprozesse nicht berücksichtigt werden und dadurch kapillar leitfähige Baustoffe falsch-negativ beurteilt werden. Bei der Beurteilung solcher kapillar leitfähiger Baustoffe wird deshalb die Nachweisführung mittels instationärer hygrisch-thermischer

Berechnungen anhand der in dieser Arbeit beschriebenen Kriterien und Grenzgrößen empfohlen.

Tabelle 68 Ergebnisse der Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2 für Standort Wien, Hohe Warte, Normaußentemperatur -9,4 °C, Monatsmitteltemperatur im Jänner -1,64 °C

Gebrauchstauglichkeit nach ÖNORM B8110-2, AK03, Wien					
	Bew.	Kondens.	tko < ttr	Dauer (h)	U-Wert
ID01_03_AK03_30	✗	5,268	✗	5088	0,781
ID01_03_AK03_48	✗ ← ②	3,937	✓ ①	3624	0,682
ID01_06_AK03_30	✗	4,101	✗	5088	0,514
ID01_06_AK03_48	✗	3,459	✗	5088	0,469
ID01_09_AK03_30	✗	3,211	✗	5088	0,383
ID01_09_AK03_48	✗	2,881	✗	5088	0,357
ID01_12_AK03_30	✗	2,611	✗	5088	0,305
ID01_12_AK03_48	✗	2,419	✗	5088	0,288

Tabelle 69 Ergebnisse der Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2 für Standort Klagenfurt, Norm-Außentemperatur -12,2 °C, Monatsmitteltemperatur im Jänner -2,57 °C

Gebrauchstauglichkeit nach ÖNORM B8110-2, AK05, Klagenfurt					
	Bew.	Kondens.	tko < ttr	Dauer (h)	J-Wert
ID01_03_AK05_30 Nord	✗ ← ③	5,172	✓ ⑥	3624	0,781
ID01_03_AK05_48 West	✗ ← ③	3,935	✓ ④	3624	0,682
ID01_06_AK05_30 Nord	✗	3,944	✗	5088	0,514
ID01_06_AK05_48 West	✗ ← ③	3,320	✓ ⑤	4368	0,469
ID01_09_AK05_30 Nord	✗	3,096	✗	5088	0,383
ID01_09_AK05_48 West	✗	2,772	✗	5088	0,357
ID01_12_AK05_30 Nord	✗	2,520	✗	5088	0,305
ID01_12_AK05_48 West	✗	2,331	✗	5088	0,288

Tabelle 70 Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit für Innendämmsystem „ID01“ am Standort Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“) anhand hygrisch-thermischer Simulationsrechnung

Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit für AK03 Wien									
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09
ID01_03_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
ID01_06_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_09_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
ID01_12_AK03_SR11_west	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓

3 cm ← Nachweis für „Kante“ anhand ÖNorm B 8110-2 nicht möglich

6 cm

9 cm

12 cm

Tabelle 71 Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit für Innendämmsystem „ID01“ am Standort Klagenfurt (HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“) anhand hygrisch-thermischer Simulationsrechnung

Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit für AK05 Klagenfurt					
	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05
ID01_03_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_03_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_03_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✓	✗
ID01_06_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_06_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_06_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_09_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_09_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_09_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✗	✗
ID01_12_AK05_SR11_nord	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK05_SR11_kante	✓	✓	✓	✓	✓
ID01_12_AK05_SR11_west	✓	✓	✓	✗	✗

3 cm ← Nachweis für „Kante“ anhand ÖNorm B 8110-2 nicht möglich

6 cm

9 cm

12 cm

Conclusio

1. Der Nachweis nach ÖNorm B 8110-2 führt bereits ab 3 cm Dämmstoffdicke – und damit für alle untersuchten Varianten – zu negativen Beurteilungen.
2. Die Resultate der Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2 sind vergleichbar mit jenen der hygrisch-thermischen Simulation mit Innenraumklima „IK05“ mit Schlagregen und einer Dämmstoffdicke von 6 cm oder mehr.
3. Die Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2 führt bei kapillar leitfähigen Baustoffen zu falsch-negativen Ergebnissen und ist deshalb für die Nachweisführung solcher Baustoffe nur geeignet, wenn sich die tatsächlichen Feuchtetransportmechanismen in der Konstruktion auf Diffusion beschränken. Berücksichtigt man den Entwurf zur ÖNorm B 8110-2 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und*

- Kondensationsschutz* [69] vom 21.03.2019, so ist die Beschränkung auf Diffusion noch auf Konvektion zu erweitern.
4. Bei Baustoffen und Konstruktionen, bei denen der kapillare Feuchtetransport eine wesentliche Rolle einnimmt wird, die Nachweisführung anhand instationärer hygrisch-thermischer Berechnungen empfohlen.

3.5 Resümee und Empfehlungen

Im Zuge der Arbeit haben sich auch in diesem Abschnitt einige wichtige Punkte herauskristallisiert. Nachfolgend werden Handlungs- und Planungsempfehlungen, auf Basis der in 1.4 zusammengestellten Ergebnisse, gegeben. Diese Empfehlungen sind sowohl Hilfestellung bei der Durchführung und Auswertung instationärer Simulationsberechnungen wie auch bei der Bemessung und Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit einer Innendämmung. Bei deren Einhaltung ist eine sichere und vollständige Planung und Dimensionierung eines Innendämmsystems möglich.

3.5.1 Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von instationären Simulationsberechnungen

Für die Beurteilung von Innendämmsystemen anhand instationärer Simulationsberechnungen werden anhand der Erfahrungen aus den durchgeführten Parameterstudien folgende 3 Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung solcher und ähnlich geführter Nachweise gegeben.

1. Die Simulationsdauer sollte 5 oder mehr Jahre betragen. Wenn auch das Kriterium des eingeschwungenen Zustands vom 4. auf das 5. Jahr mitunter noch nicht erfüllt ist, führt eine Simulationsdauer von 5 Jahren in der Regel bereits zu aussagekräftigen Ergebnissen hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit.
2. Für die Aufbereitung der Berechnungsergebnisse wird empfohlen
 - a. die Ergebnisse als Zeitreihen bezogen auf die einzelnen Messgrößen grafisch darzustellen.
 - b. die Daten so aufzubereiten, dass eine statistische Auswertung wie Mittelwertbildung (z.B. Monats- oder Tagesmittelwerte), sowie die Ausgabe von Extremwerten, der Verteilung und Häufigkeiten möglich ist.
 - c. die Beurteilung anhand der in 1.2.10 detailliert beschriebenen Kriterien durchzuführen.
 - i. Das Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche zur Vermeidung gesundheitsschädigender Wirkungen.
 - ii. Der Wassergehalt in der Konstruktion bzw. im Dämmstoff als Kriterium für die technische Funktionalität.
 - iii. Das Kriterium „Eingeschwungener Zustand“ als Indikator dafür, ob es zu einer kontinuierlichen Auffeuchtung der Konstruktion kommt.
 - iv. Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel in Kombination mit dem Porensättigungsgrad, als Kriterium für die mechanische Belastung der Baustoffe.

- d. die Beurteilung für die in 1.2.5 definierten Positionen bzw. Bereiche durchzuführen, insbesondere für
 - i. den 1. cm der Dämmung auf Seite zum Mauerwerk (Position 5),
 - ii. die Klebeschicht (Position 4),
 - iii. den Bestandsinnenputz (Position 2) und
 - iv. die innere Wandoberfläche (Finish, Position 8).
3. Für die Analyse der Zeitreihen wird empfohlen
- a. eine vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Messpositionen zu erstellen. Diese ermöglicht eine rasche optische Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse (z.B. anhand des Verlaufs der Temperatur).
 - b. kritische Positionen in der Konstruktion anhand des Verlaufs der relativen Feuchte (Abbildung 79) zu identifizieren.
 - c. eine Abschätzung hinsichtlich des Risikos für Schimmelpilzbildung an den raumseitigen Oberflächen (Position „N3“, „K3“, „W3“) auf Grund der Höhe der relativen Feuchte (Abbildung 80) vorzunehmen.
 - d. eine Einschätzung hinsichtlich des eingeschwungenen Zustands sowie der maximal zulässigen Wassergehalte der einzelnen Positionen (z.B. 1 cm der Dämmung auf der Seite zum Mauerwerk (Position „N5“, „K5“, „W5“) bzw. der einzelnen Bereiche (z.B. gesamte Dämmstoffdicke (Bereich „NDA“, „KDA“, „WDA“) anhand des Verlaufs des Wassergehalts (Abbildung 81) zu treffen.
 - e. das Feuchteverhalten der Dämmung anhand eines Vergleichs der positionsbezogenen und der bereichsbezogenen Feuchtegehalte (Abbildung 83 und Abbildung 84) zu analysieren.
 - f. die Belastung der Konstruktion anhand des Verlaufs des Verhältnisses von Eis- zu Porenvolumen (Abbildung 85) zusammen mit dem Sättigungsgrad und der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel zu beurteilen.

3.5.2 Empfehlungen für die Bemessung und Beurteilung einer Innendämmung

Aus den Ergebnissen der Parameterstudien und den daraus gewonnenen Erkenntnissen werden folgende 10 Empfehlungen für die Bemessung und Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit einer Innendämmung hinsichtlich des Einflusses des Innenraumklimas ausgesprochen.

1. Die Wahl des Innenraumklimas für die Simulationsberechnungen ist ausschlaggebend für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der geplanten Innendämmmaßnahme und muss sorgfältig überlegt werden. Sollten keine

genauerer Informationen vorliegen, wird die Nachweisführung anhand von Innenraumklima mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], bei dem zusätzlich die Temperaturkurve um 3 °C nach oben verschoben wird, („IK04“) empfohlen.

2. Es wird die Nachweisführung anhand halbsynthetischer Klimadatensätze $HSKD_{\text{kalt}}$ für den jeweiligen Standort empfohlen. Diese $HSKD_{\text{kalt}}$ beinhalten eine Kälteperiode, in die der kälteste Tag mit einem Tagesmittelwert entsprechend ÖNorm B 8110-2 fällt (siehe dazu Kapitel 1.2.9.1). Für den Standort Wien ist – auf Grund der geringen Unterschiede, die sich auf die Minimal-Temperaturen im Jänner beschränken – auch eine Berechnung mit $HSKD_{\text{mittel}}$ zulässig, wie die Ergebnisse in Kapitel 1.4.8 zeigen.
3. Für eine standortunabhängige Berechnung von Bauteilen wird für die Nachweisführung im Raum Österreich die Simulationsberechnung anhand des Außenklimas $HSKD_{\text{Klagenfurt,kalt}}$ „AK05“ empfohlen.
4. Die Beurteilungskriterien hinsichtlich des maximal zulässigen Feuchtegehalts im Dämmstoff sind produktspezifisch, idealerweise in Abstimmung mit dem Hersteller, festzulegen. Als Grenzwerte für Beurteilung der hier untersuchten Mineraldämmplatte werden 16 kg/m³ (12,8 M-%) an Position 5, dem 1. cm des Dämmstoffs auf der Seite zum Mauerwerk, bzw. 12 kg/m³ (9,6 M-%) über den gesamten Dämmstoffquerschnitt (Bereich „NDA“, „KDA“, „WDA“) empfohlen.
5. Der Einfluss von Schlagregen und solarer Direktstrahlung ist maßgebend für das Feuchteverhalten der Konstruktion. Es wird empfohlen die Nachweisführung entsprechend der Orientierung der Konstruktion unter Berücksichtigung von Schlagregen und solarer Direktstrahlung (SR11) durchzuführen.
6. Zugunsten einer detaillierteren Betrachtung wird empfohlen den Nachweis hinsichtlich der Vermeidung von Schimmelpilzbildung entsprechend dem WTA Merkblatt 6-3-05 [46] anhand des Verallgemeinerten Isoplethenmodells für Sporenauskeimung bzw. Myzelwachstum vorzunehmen, was bedeutet neben der Substratgruppe sowohl Dauer wie Häufigkeit kritischer Zustände bei der Beurteilung zu berücksichtigen.
7. Für die Beurteilung einer Frostgefährdung der Bestandskonstruktion wird die Beurteilung anhand des Sättigungsgrades sowie des Verhältnisses Eis- zu Porenvolumen empfohlen. Für den Sättigungsgrad wird ein Grenzwert von 0,6 und für das Verhältnis Eis- zu Porenvolumen ein Grenzwert von 0,9 gewählt der nicht überschritten werden sollte.
8. Bei einer Simulationsdauer von 5 Jahren oder weniger wird empfohlen, Wassergehaltsänderungen der Gesamtkonstruktion vom vorletzten auf das letzte Jahr, die mehr als 3,5 % betragen, gezielt auf kontinuierliche Auffeuchtung der Konstruktion zu prüfen.

9. Hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit und der Einsatzbereiche werden folgende Aussagen getroffen:
 - a) Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit wird empfohlen, dass sowohl die Grenzwerte des Wassergehalts im ersten Zentimeter der Dämmung auf der Seite zum Mauerwerk sowie über den gesamten Dämmstoffquerschnitt eingehalten werden (Tabelle 59 und Tabelle 60 für Außenklima HSKD_{Wien,mittel} „AK03“ bzw. Tabelle 61 und Tabelle 62 für HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“). Aus der Zusammenstellung der Beurteilung der einzelnen Kriterien ergibt sich die Gebrauchstauglichkeit für die untersuchte Bestandskonstruktion und die Einsatzbereiche der Innendämmung „ID01“ in Abhängigkeit vom Innenraumklima (Tabelle 70 und Tabelle 71).
 - b) Das Kriterium „keine Schimmelpilzbildung“ wird für die untersuchten Aufbauten ab einer Dämmstoffdicke von 3 cm bei Außenklima HSKD_{Wien,mittel} „AK03“, bzw. HSKD_{Wien,kalt} „AK16“ und bei Außenklima HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“ ab einer Dämmstoffdicke von 6 cm für alle untersuchten Innenraumklimata eingehalten.
 - c) Mit niedriger („IK01“), mittlerer („IK02“) und hoher Feuchtelast des Innenraumklimas („IK03“) nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45] erfüllen alle Varianten die Grenzwerte des Kriteriums Wassergehalt. Bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ – dies entspricht näherungsweise einem Innenraumklima mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] – kommt es ab 9 cm bzw. 12 cm Dämmstoffdicke in der mit Schlagregen beaufschlagten Westwand zur Überschreitung der Grenzwerte im ungestörten Wandbereich. Im Bereich „Kante“ zeigt sich, dass der Grenzwert des Wassergehalts über die gesamte Dämmstoffdicke mit „AK03“ bei niedrigen Dämmstoffdicken (3 cm und 6 cm) bei Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ überschritten wird. Bei Außenklima HSKD_{Klagenfurt,kalt} „AK05“ kommt eine Überschreitung der Grenzwerte im ersten Zentimeter der Dämmung im Bereich Nord bei 6 cm und 9 cm und über die gesamte Dämmstoffdicke im Bereich „Kante“ bei 9 cm für Innenraumklima „IK04“ und „IK05“ hinzu.
10. Da der Nachweis anhand der ÖNorm B 8110-2 die für die Konstruktion relevanten Feuchte-Transportprozesse nicht berücksichtigt und dadurch zu falsch-negativen Ergebnissen bei der Beurteilung kapillar leitfähiger Baustoffe führt, wird für solche und ähnliche Baustoffe die Nachweisführung mit thermischer Simulationsberechnung und die Beurteilung anhand der in dieser Arbeit beschriebenen Kriterien und Grenzgrößen empfohlen.

Es ist zu beachten, dass mit der Wahl kritischer Außenklimata, kritischer Innenraumklimata in Kombination mit strengen Grenzen die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der Konstruktionen schon bei geringen Dämmstoffdicken zu negativen Ergebnissen führt.

Die in den WTA-Merkblättern, aber auch in den ÖNorm EN 13788 oder ÖNorm EN 15026 definierten Innenraumklimata bilden zum Teil sehr hohe Feuchtelasten ab. Dem gegenüber

stehen Feuchtelasten aus den Ergebnissen der thermischen Gebäudesimulation die deutlich niedriger ausfallen. Daraus kann geschlossen werden, dass die in den Merkblättern und Normen definierten Feuchtelasten – obgleich sie auf einer breiten und belastbaren Raumklimadaten abgeleitet werden – einige Sicherheiten beinhalten.

Grundsätzlich wird die Empfehlung ausgesprochen, die Rahmenbedingungen für die Nachweisführung möglichst genau in Erfahrung zu bringen, da übertriebene Sicherheiten, beispielsweise bei der Annahme zu kritischer Klimadaten sonst zu falsch-negativen Beurteilungen der Gebrauchstauglichkeit führen.

Umgekehrt dürfen relevante Parameter wie Verschattung oder Schlagregen in der Beurteilung nicht vernachlässigt werden. Ein kritisches Innenraumklima kann nicht zwangsweise eine Vernachlässigung kritischer Außenklimaparameter kompensieren.

In dieser Arbeit werden auf der einen Seite kritische und mit bei einigen Dämmstoffdicken mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Schäden führende Innenraumklimata – wie „IK04“, „IK05“ und „IK07“ – aufgezeigt. Auf der anderen Seite werden damit Innenraumklimata – wie „IK01“, „IK02“, „IK03“, „IK06“ – identifiziert, bei denen die Gebrauchstauglichkeit gewährleistet wird. Damit wird dem Planer und Architekten die erforderliche Planungssicherheit gegeben.

Für die untersuchten Konstruktionen wird unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine dauerhaft funktionstüchtige Innendämmung sichergestellt. Durch die Einhaltung der Grenzwerte beeinflussbarer Variablen, wie Temperatur und relative Feuchte der Raumluft – die beispielsweise durch Beheizung und Belüftung steuerbar sind –, werden Schäden vermieden.

Die vergleichende Darstellung der Innenraumklimata mit ihren Feuchtelasten erlaubt eine situationsgerechte Einschätzung bauphysikalischer Reserven der Konstruktion. Das in dieser Arbeit erworbene und geprüfte Wissen kann so verstärkt in der Praxis angewendet, die Akzeptanz für Innendämmung erhöht, und letztendlich die Sanierungsrate gesteigert werden.

4 Aktuelle Entwicklungen und Ausblick

Im Schwerpunkt »zukunftsfähig« des Österreichischen Baukultur Reports [70] wird die energetische Sanierung von Wohngebäuden als wesentliche Herausforderung analysiert und die Dämmung der Gebäudehülle als Maßnahme zur Senkung des Heizwärmebedarfs als besonders effektiv bezeichnet. (vgl. [70])

In Österreich gibt es mit rund 2,08 Mio. Wohngebäuden und 4,7 Mio. Wohnungen ein breites Anwendungsgebiet für Innendämmung. Diese Wohngebäude gliedern sich in 87 % Ein- und Zweifamilienhäuser und 13 % Mehrfamilienhäuser. Etwa 45 % der Wohnungen liegen in Ein- und Zweifamilienhäusern, 52 % in Mehrfamilienhäusern und 3 % in Nichtwohngebäuden. [71] Dem Gebäudebestand von vor 1970 – entspricht 45 % der gesamten Wohnnutzfläche – wird das höchste Potential zur Einsparung von Treibhausgas-Emissionen durch thermisch-energetische Sanierung zugesprochen. [71] Dem Wiener gründerzeitlichen Wohngebäudebestand ist ein CO^2_{equ} -Emissionsanteil von 6 % des österreichischen Gesamtwohngebäudebestandes zuzuordnen. Dementsprechend kommt den Wohngebäuden dieser Periode besondere Bedeutung zu. [70] Bezogen auf die Gesamtzahl an Bauwerken stellen gemäß Denkmalschutzgesetz etwa 1,3 % ein Zeugnis »geschichtlicher, künstlerischer oder sonstiger kultureller Bedeutung« dar. Das Einsparungspotenzial an CO^2_{equ} – Emissionen durch Fassadendämmung in denkmalgeschützten und baukulturell wertvollen Wohnbauten in Bezug auf die Gesamtemissionen bei Wohnbauten liegt bei etwa 1 %. [70]

Die seit 2014 bestehende Österreichische Gebäuderenovierungsstrategie sieht Maßnahmen wie Wohnbau-, Energie- und Umweltförderung sowie Energieeffizienzprogramme der Bundesländer, Umweltförderung im Inland sowie eine Sanierungsoffensive der Österreichischen Bundesregierung vor. [71] Das Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz (Klimaschutzgesetz) [72] ermöglicht eine koordinierte Umsetzung wirksamer Maßnahmen zum Klimaschutz wobei insbesondere Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Endenergieverbrauch und Steigerung der Gesamtenergieeffizienz im Gebäudebereich berücksichtigt werden. [71] Die Entscheidung Nr. 406/2009/EG über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2013 bis 2020 sieht für Österreich eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 in Sektoren außerhalb des Emissionshandels um 16 % gegenüber 2005 vor [73]. Dieses Ziel wurde auch im österreichischen Klimaschutzgesetz [72] festgeschrieben.

Im Gebäudesektor – Wohngebäude sowie private und öffentliche Dienstleistungsgebäude – sind die Treibhausgasemissionen in Österreich seit 2005 um ein Drittel zurückgegangen. Dazu beigetragen haben die thermische Sanierung bestehender Gebäude sowie die steigenden baurechtlichen Anforderungen für Sanierungen. Für Wohnbauförderung wurden energetische Standards festgeschrieben, welche nochmals über diese baurechtlichen

Standards hinausgehen. Zusätzlich zur Wohnbauförderung der Länder bietet der Bund im Rahmen der Sanierungsoffensive Förderungen für Gebäudesanierungen „Sanierungsscheck“ für private Haushalte und Wohngebäudeeigentümer an wodurch beachtliche Volumina an Gebäudesanierungen bzw. Umstellungen von Heizungssystemen auf erneuerbare Energie realisiert wurden. [73] 2017 wurde der Zielpfad zur Reduktion der Treibhausgasemissionen dennoch überschritten. Gemäß den Vorgaben des Österreichischen Klimaschutzgesetzes werden daher zusätzliche Maßnahmen zur Umsetzung gebracht um eine Zieleinhaltung sicherzustellen. [73] In Österreich wurden die Kerninhalte der Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU) durch das Bundes-Energieeffizienzgesetz [74] (Bundes-Energieeffizienzgesetz; BGBl. I Nr. 72/2014 umgesetzt.

Die umfassende thermische Sanierungsrate zeigt im Betrachtungszeitraum 2008–2018 mit 0,7 % zwar eine geringfügig steigende Tendenz jedoch konnte das in der Klimastrategie für Wohngebäude geplante Ziel einer Steigerung von 3 % bis 2020 nicht erreicht werden. [71] Bevölkerungswachstum, zunehmende Wohnnutzfläche und wachsende Komfortbedürfnisse führten zuletzt zu einem starken Anstieg im Neubau von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden während die Sanierungsaktivitäten nur geringfügig stiegen. Dies führt zu einer Stabilisierung des Emissionsniveaus. Für einen kontinuierlichen Reduktionstrend werden deshalb in der Klima- und Energiestrategie konkrete Maßnahmen und Instrumente im Rahmen einer „Wärmestrategie“ unter Berücksichtigung der baukulturellen Leitlinien des Bundes und des Baukulturreport diskutiert. Dabei ist für Sanierungen. u.a. die thermisch-energetische Sanierung des Gebäudebestands sowie Effizienzverbesserung bei Heizsystemen eine Verdoppelung der Sanierungsrate im Zeitraum 2020 bis 2030 vorgesehen. Kostenoptimale Niveaus sollen auch bei Teilsanierung realisiert werden. Darüber hinaus wird die Reduktion des Kühlbedarfs von Gebäuden sowie die Erhöhung des Anteils effizienter erneuerbarer Energieträger und Fernwärme/-kälte für Heizung, Warmwasser und Kühlung, vorgesehen. Durch Standards, Bewusstseinsbildung, Information, Beratung und Weiterbildung der Klimaschutzinitiative klimaaktiv werden Anreize und Markimpulse zum Einsatz erneuerbarer Energieträger, für Energieeffizienzmaßnahmen und den Bereich Bauen und Sanieren geschaffen. Bis 2050 wird eine vollständige Dekarbonisierung des Sektors angestrebt. (vgl. [73])

Eine Orientierung, was im Bereich Bauen und Sanieren langfristig vernünftig ist geben u.a. Qualitätsstandards der Nachhaltigkeitszertifizierung. So zielt der klimaaktiv Gebäudestandard – bei dem der Anteil der Sanierungen bezogen auf die Gebäudefläche immerhin bei 20 % liegt – auf eine hohe Marktdurchdringung klimafreundlicher Bauweisen für nachhaltiges Bauen und Sanieren. [75] Eine qualitativ hochwertige Sanierung stellt darin den Schlüssel für langfristig wirksamen Klimaschutz dar, wobei der Energieeffizienz neben Planungs- und Ausführungsqualität, Qualität der Baustoffe und der Konstruktion, Komfort und Raumluftqualität eine bedeutende Rolle zukommt. (vgl. [75])

Im zweiten nationalen Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich (NEEAP 2017) wird gemäß Energieeffizienzrichtlinie 2012/27/EU eine langfristige Strategie zur

Mobilisierung von Investitionen zur Renovierung öffentlicher und privater Wohn- und Geschäftsgebäude festgelegt. [76] Je nach Gebäudetyp werden Renovierungskonzepte erstellt, wobei umfassende Renovierungen auch in mehreren Stufen erfolgen dürfen. Mit dieser zukunftsgerichteten Perspektive können Investitionsentscheidungen von Einzelpersonen, Bauwirtschaft und Finanzinstituten gelenkt werden. Es werden ausschließlich umfassende Sanierungen bzw. größere Renovierungen angestrebt, was angesichts des notwendigen Finanzierungsaufwandes auf einer offenen Zeitskala ermöglicht wird. (vgl. [76])

Eine Vorbildrolle in Bezug auf nachhaltiges und ressourcenschonendes Bauen möchte der Bund durch die Anwendung des Nachhaltigkeitsprinzips anhand der Umsetzung von Aspekten der Ökologie, Ökonomie, des Sozialen und der Kultur beim Bauen, Erneuern und Betreiben eigener Immobilien wahrnehmen. Hierzu wird in den Baukulturellen Leitlinien des Bundes [77] u.a. ein Maßnahmenplan zu Energieeffizienzmaßnahmen an denkmalgeschützten Gebäuden erarbeitet und eine Optimierung der Rahmenbedingungen für die Erhaltung, die zeitgenössische Weiterentwicklung und adäquate Nutzung des baukulturellen Erbes Österreichs angestrebt. Um nachhaltige und zukunftsfähige Wohnungssanierungsmaßnahmen sicherzustellen sollen öffentliche Mittel an Qualitätskriterien gebunden werden. So werden beispielsweise im Rahmen der Umweltförderung ambitionierte Qualitätskriterien wie jene des klimaaktiv-Gebäudestandards für Sanierung verankert. (vgl. [77])

Im Gebäudesektor besteht damit weiterhin erhebliches Potential zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen. [71] Über diese Reduktion hinaus werden thermischen Sanierungsmaßnahmen – wie Innendämmung – weitere positive Effekte zugeschrieben. Dazu zählen Werterhaltung, Wohnqualität, reduzierte Betriebskosten der Haushalte, Gesundheit der BewohnerInnen sowie Versorgungssicherheit, inländische Wertschöpfung und die mit einer verstärkten Sanierungstätigkeit verbundene Konjunkturbelebung und Beschäftigungsnachfrage. Bei den meisten Gebäuden mit hohem Verbesserungspotenzial der Energieeffizienz der Gebäudehülle besteht eine im Vergleich zur Kapitalmarktrendite attraktive Amortisation der Bauteilerneuerung. (vgl. [71])

Im Bundesverfassungsgesetz über die Nachhaltigkeit, den Tierschutz, den umfassenden Umweltschutz, die Sicherstellung der Wasser- und Lebensmittelversorgung und die Forschung [78] bekennt sich die Republik Österreich (Bund, Länder und Gemeinden) zum Prinzip der Nachhaltigkeit bei der Nutzung der natürlichen Ressourcen, um auch zukünftigen Generationen bestmögliche Lebensqualität zu gewährleisten. Vor dem Hintergrund des Klimaschutzgesetzes [72], des Klimaschutzberichtes [71], des integrierten nationalen Energie- und Klimaplanes für Österreich [73], der baukulturellen Leitlinien des Bundes [77] und des Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetz [79] werden im Regierungsprogramm 2020 – 2024 [80] für die Sanierung von Wohngebäuden umfassende Aktionspakete definiert. Dazu zählen die Reformation des Wohnrechts für mehr sozialen Ausgleich, ökologische Effizienz, mehr Rechtssicherheit und höhere Wirtschaftlichkeit, die

Stärkung der Sanierung in der Wohnbauförderung, eine effizientere Baulandbewirtschaftung – Sanierung und Nachverdichtung soll vor Neubau verstärkt gefördert werden –, sowie Beratung hinsichtlich ökologischer und nachhaltiger Sanierungsmaßnahmen. Die Umstellung des Energiesystems – Phase-Out von fossilen flüssigen Energieträgern für Heizzwecke bis 2040 und der Ersatz fossiler Brennstoffe durch erneuerbare und effiziente Fernwärme auf Basis erneuerbarer Energieträger, [73] – wird im Gebäudesektor durch thermische Sanierung – 3 % Sanierungsquote mit verbindlichen Leitlinien für ökologisch vorbildhafte Sanierung – und den konsequenten Umstieg auf Heiz- und Kühlsystemen mit erneuerbaren Energien und unterstützt. Eine langfristige koordinierte Förderoffensive und Anpassung der Wohnbauförderung an Klimaschutzziele resultiert in einer Steigerung der Sanierungsqualität und führt zu einer raschen Verbrauchsreduktion und Kostenersparnis für die Haushalte. (vgl. [80])

Damit werden die Rahmenbedingungen für eine Steigerung der Sanierungsrate und die breite Anwendung von Innendämmung weiter verbessert wodurch die angestrebten Klimaschutzziele im Gebäudebereich erreicht werden können. Innendämmung stellt für alle Gebäudetypologien des Gebäudebestandes – auch für denkmalgeschützte Gebäude und erhaltenswerte Bausubstanz – eine baukulturverträgliche Technologie dar um die Energieeffizienz zu steigern, Emissionen zu reduzieren, den thermischen Komfort anzuheben und Bauschäden zu reduzieren.

Innendämmung stellt wie Baukultur eine Querschnittsmaterie dar, die in fast alle Lebensbereiche wirkt. Die Themen umfassen bauphysikalische und bautechnische Aspekte, Ökologie und Nachhaltigkeit, Gesundheit, rechtliche und wirtschaftliche Belange, Information und Ausbildung, Klimawandel sowie den Umgang mit erhaltenswürdiger Bausubstanz. Innendämmung vereint die im österreichische Baukulturreport [81] definierten Kriterien gelungener Baukultur. Innendämmung ist nachhaltig und bringt Ausgleich zwischen sozialen, ökonomischen, ökologischen und kulturellen Zielsetzungen. Sie ist ressourcenschonend und geht maßvoll mit bestehenden Gebäuden, Energie und Rohstoffen um. Innendämmung ist sorgfältig bis ins Detail geplant, professionell ausgeführt und dadurch hochwertig. Innendämmung reagiert robust auf technologische, ökologische, ökonomische und soziale Veränderungen und ist zudem gesundheitsfördernd. Innendämmung ist integraler Bestandteil energieeffizienten und klimagerechten Bauens. Zusammen mit weiteren Sanierungsmaßnahmen steigert Innendämmung den thermischen Komfort und schützt vor Überhitzung im Sommer. Die Ergebnisse dieser Arbeit – die Wechselwirkungen »Innenraumklima und Innendämmung« – können damit auch im Kontext der Wechselwirkungen »Klimawandel und Baukultur« betrachtet werden.

5 Weiterführender Forschungsbedarf

Die einschneidenden Veränderungen zur Erreichung der Klimaschutzziele und die angestrebte vollständige Dekarbonisierung des Gebäudesektors [73] ergibt im Bereich Innendämmung einen vielfältigen weiterführenden Forschungsbedarf.

Der Verzicht auf die Verbrennung von Heizöl, Kohle und fossilem Gas für die Bereitstellung von Wärme und Kälte im Gebäudesektor, also die vollständige Wärme- und Kälteversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger [80], resultiert in einer breiten Anwendung von Niedertemperaturheizsystemen und Bauteilaktivierung. Damit diese Systeme auch funktionieren ist der Heizwärmebedarf der Bestandsgebäude durch entsprechende Dämmstandards zu reduzieren. Hinsichtlich der Wechselwirkungen von Innendämmung und den darauf applizierten Flächenheizungen besteht Forschungsbedarf. Darüber hinaus rückt – insbesondere bei Bauteilaktivierung – der Effekt der Flankendiffusion über einbindende Bauteile im Zusammenhang mit Innendämmung in den Fokus.

Der Einsatz von Innendämmung im feuchte- und schadsalzbelastetem Kellerbereich wirft weitere Forschungsfragen auf. Die Kombination von feuchtebelastetem Mauerwerk, Innendämmung und lüftungstechnischen Maßnahmen stellt dabei einen kaum untersuchten Bereich dar. Gegebenenfalls kann bei geringen und mittleren Feuchtelasten auf aufwendige Abdichtungsmaßnahmen verzichtet werden.

Im Hinblick auf die Entwicklung von Hitzetagen, Hitzeperioden und Tropennächten [82] können die hier durchgeführten Untersuchungen zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung fortgeführt und vertieft werden. So sind in Kombination mit Innendämmung Verschattungs- und Lüftungsstrategien zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung bzw. zur Reduktion des Kühlbedarfs zu untersuchen.

Bereits durchgeführte Studien [41] zu ökologischer und wirtschaftlicher Amortisation von Innendämmung bilden die Grundlage für die Untersuchung der Auswirkungen von Innendämmung auf den Gebäudelebenszyklus. Im Hinblick auf die künftigen Klimaszenarien [83] steht insbesondere der Einfluss der Innendämmung auf das Heizen und Kühlen im Fokus der Lebenszyklusbetrachtungen.

Literaturverzeichnis

1. **Nackler, J.:** *Sommerlicher Wärmeschutz - Vergleich von Berechnungsansätzen und Entwicklung eines Planungsinstrumentes für Entwurfsfindung und Nachweis.* Dissertation, Wien: Technische Universität Wien - Institut für Architektur und Entwerfen, 2017
2. **Haferland, F., W. Heindl und H. Fuchs:** *Ein Verfahren zur Ermittlung des wärmetechnischen Verhaltens ganzer Gebäude unter periodisch wechselnder Wärmeeinwirkung - Ein Beitrag zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes.* Berichte aus der Bauforschung Heft99: p. 5-40, Wien: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 1975
3. **ÖNorm B 8110-3 (2012-03):** *Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2012
4. **DIN EN ISO 13791 (2012-08):** *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.* DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2012
5. **ÖNorm EN ISO 13786 (2008-04):** *Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen Dynamisch-thermische Kenngrößen Berechnungsverfahren.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2008
6. **ÖNorm EN ISO 13792 (2005-06):** *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Vereinfachtes Berechnungsverfahren.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2005
7. **Treberspurg, M., M. Djalili und U. Ertl-Balga:** *Sommertauglichkeit im Gebäudebestand.* Wien: Universität für Bodenkultur - Institut für Konstruktiven Ingenieurbau - Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, 2011
8. **Ipser, C., T. Steiner, K. Kreč und K. Stieldorf:** *Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 3 - Parameterstudien und Planungsempfehlungen zur Entwurfsoptimierung und Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
9. **ÖNorm B 8110-3 (1999-12):** *Wärmeschutz im Hochbau - Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 1999
10. **ÖNorm B 8110-6 (2010-01):** *Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren — Heizwärmebedarf und Kühlbedarf.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2010
11. **Reisinger, K., W. Prause, und H. Feix:** *Klimaneutrale Gründerzeithäuser - Wege, Potenziale und Umsetzungsmöglichkeiten.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
12. **IBO:** *Passivhaus Bauteilkatalog - ökologisch bewertete Konstruktionen.* Onlineversion., IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Verein) und IBO GmbH, Wien 2012

13. **Nicolai, A., et al.:** *Programmpaket Delphin - Coupled Heat, Air, Moisture and Salt Transport*. Dresden: TU Dresden, 2004
14. **Kreč, K.:** Materialdatenkatalog WAEBED, GEBA.
15. **Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.): *VDI Wärmeatlas*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2006
16. **ON-V 31 (2003):** *Bauwesen 1 - Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2003
17. **ÖNorm EN 12524 (2000-09):** *Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften Tabellierte Bemessungswerte*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2000
18. **DIN 4108-4 (2013-02):** *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*. DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2013
19. **OIB-Richtlinie 6 (2015-03):** *Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik 2015.
20. **Bednar, T., et al.,** Auswirkung verschiedener Baustoffe auf das Sommerverhalten von Gebäuden und den Energieverbrauch, in Endbericht Nachhaltigkeit massiv, AP12., Programm Energie der Zukunft, Wien: Technische Universität Wien - Institut für Hochbau und Technologie - Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, 2008
21. **Bednar, T. und C. Pöhn:** *Einfaches Norm-Simulationstool zur Berechnung der operativen Temperaturen in einem Raum*. Wien: Technische Universität Wien - Institut für Hochbau und Technologie - Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, MA39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, 2010
22. **Rosenberger, R., et al.:** *Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN.*, in Berichte aus Energie und Umweltforschung, Programm Haus der Zukunft, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013
23. **Friembichler, F., et al.:** *Thermische Bauteilaktivierung. Entwicklung eines Rechenkerns*. Berichte aus Energie und Umweltforschung, Programm Haus der Zukunft, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2014.
24. **DIN EN ISO 13786 (2015-06):** *Entwurf - Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren*. DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2015
25. **Kreč, K.:** *Programmpaket GEBA Version 7.0 Simulation des thermischen Verhaltens von Räumen, Raumgruppen oder Gebäuden*. Schönberg am Kamp: 2009.
26. **WTA Merkblatt 6-9 (2015-11):** *Luftdichtheit im Bestand Teil 1: Grundlagen der Planung*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
27. **ÖNorm EN 13829 (2001-05):** *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2001
28. **Kreč, K.:** *OEKLIM, V2.1 Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken für Standorte in Österreich*. Schönberg am Kamp, 2010.

29. **Kreč, K.:** *Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden - Kurzfassung.* Schönberg am Kamp, 2006.
30. **Marton, V., et al.:** *Technologieleitfaden Sonnenschutzsysteme.* Wien: Magistrat der Stadt Wien - Magistratsabteilung 20 – Energieplanung, 2013
31. **Geyer, C., A. Schusser und D. Kehl:** *Parameteruntersuchung des sommerlichen Raumklimas von Wohngebäuden.* Forschungsprogramm Energie in Gebäuden, Bern: Bundesamt für Energie BFE, 2012
32. **ÖNorm EN ISO 7730 (2006-05):** *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2001
33. **Zelger, T., et al.:** *Passivhaus-Bauteilkatalog: Sanierung - Ökologisch bewertete Konstruktionen.* IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (Hrsg.), Basel: Birkhäuser Verlag, 2017.
34. **ÖNorm EN 15251 (2007-09):** *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2007
35. **Passivhaus-Institut:** Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard. Darmstadt, 2016.
36. **ÖNorm EN 13141-7 (2010-12)** *Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschließlich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Wohneinheiten (Wohnung oder Einfamilienhaus).* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2010
37. **Waltjen, T., et al.:** *Handbuch Komfort für Passivhaus-Büros.,* Wien: IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, 2011
38. **Lechner, R., B. Lipp, B. Lubitz-Prohaska und T. Steiner:** *Monitoring der Leitprojekte aus Haus der Zukunft PLUS,* in Berichte aus Energie und Umweltforschung, Programm Haus der Zukunft, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2015
39. **ÖNorm B 8110-6 Beiblatt 5 (2013-05):** *Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Beiblatt 5: Einfamilienhaus – Validierungsbeispiel für die Berechnung des Heizwärmebedarfs unter Berücksichtigung verschiedenster Wärmebereitstellungsgrade.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2013
40. **ÖNorm EN 12831 (2003-12):** *Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2003
41. **Steiner, T. (Hrsg.):** *Ökologie und Ökonomie des Dämmens - Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbausanierung.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
42. **DIN 4108-2 (2013-02):** *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.* DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2013
43. **Töpfer, A.:** *Wie ist der Prozess des Gewinnens und Umsetzens wissenschaftlicher Erkenntnisse insgesamt strukturiert?,* in Erfolgreich Forschen: Ein Leitfaden für Bachelor-, Master-Studierende und Doktoranden. Dresden: Springer Verlag, 2009

44. **WTA Merkblatt 6-1** (2002-05): *Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2002
45. **WTA Merkblatt 6-2** (2002-05): *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2002
46. **WTA Merkblatt 6-3** (2006-04): *Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2006
47. **WTA Merkblatt 6-4** (2009-05): *Innendämmung nach WTA I - Planungsleitfaden*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009
48. **WTA Merkblatt 6-4** (2016-10): *Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
49. **ÖNorm B 8110-2** (2003-07): *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2003
50. **DIN EN ISO 13788** (2013-05): *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren*. DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2013
51. **ÖNorm EN 15026** (2007-06): *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2007
52. **WTA Merkblatt 6-2** (2014-12): *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
53. **Ruisinger, U. und J. Grunewald**: *Feuchteatlas zur Vermeidung Planungsbedingter Feuchteschäden - Neue Beurteilungskriterien zur Bewertung innen gedämmter Konstruktionen*. Forschungszentrum Jülich (Hrsg.), Dresden: Technische Universität Dresden - Fakultät Architektur - Institut für Bauklimatik, 2009
54. **Grunewald, J., P. Häupl, R. Martin und H. Petzold**: *Hygrothermisches Verhalten von Bauwerksteilen mit zusätzlicher Innendämmung*, in WTA – Kolloquium, p. S.155-177, Freiburg/Brsg.: Aedificatio Verlag, 1999
55. **WTA Merkblatt 6-5** (2014-04): *Innendämmung nach WTA II Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
56. **Künzel, H.**: *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*. Dissertation, Stuttgart: Universität Stuttgart - Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, 1994
57. **Kreč, K.**: *Halbsynthetische Klimadaten (HSKD) für Gebäudestandorte in Österreich im Rahmen des Forschungsprojekts Gebäude maximaler Energieeffizienz mit*

integrierter erneuerbarer Energieerschließung. Büro für Bauphysik, Schönberg am Kamp, 2010.

58. **Kreč, K.:** *Konstruktion von "kalten Jahren" für feuchtigkeitstechnische Berechnungen*. Büro für Bauphysik, Schönberg am Kamp, 2017.
59. Delphin 5 Version 5.2 Handbuch.
60. **Steiner, T.:** *Schimmelpilz-Warnsystem*. Niederösterreichischer Wirtschafts- und Tourismusfonds, St. Pölten: IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, Microtronics Engineering, 2014
61. **ÖNorm EN ISO 13788 (2002-01):** *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren Berechnungsverfahren*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2002
62. **Steiner, T.:** *Gründerzeit-Toolbox - ein smartes Konzept für die Sanierung*. Bausubstanz Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, Heft 2, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
63. **Sedlbauer, K.:** *Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen*. Dissertation, Stuttgart: Universität Stuttgart - Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, 2001
64. **WTA Merkblatt 4-11 (2016-03):** *Messung des Wassergehalts bzw. der Feuchte von mineralischen Baustoffen*. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
65. **RCoreTeam:** *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013
66. **DIN EN ISO 12570 (2000-04):** *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur*. DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2000
67. **Bointner, R., et al.:** *Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
68. **Schwaller, J.:** *Ermittlung eines Bemessungs-Außenklimas für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit einer innengedämmten Wandkonstruktion*. Diplomarbeit, Wien: Technische Universität Wien - Institut für Hochbau und Technologie - Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, 2014
69. **ÖNorm B 8110-2 (2019-03):** *Entwurf - Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz*. Wien: Austrian Standards International, 2019
70. **Österreichischer Baukultur Report 2011**. Wien: Bundeskanzleramt Österreich, 2011
71. **Klimaschutzbericht 2019 Analyse der Treibhausgas-Emissionen bis 2017**. Wien: Umweltbundesamt, 2019
72. **Klimaschutzgesetz**. *Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz (Klimaschutzgesetz – KSG)*, Wien: Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2017

73. **Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich. Periode 2021 bis 2030**, Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019
74. **Bundes-Energieeffizienzgesetz. Bundesgesetz über die Steigerung der Energieeffizienz bei Unternehmen und dem Bund (Bundes-Energieeffizienzgesetz – EEffG)**, Wien: Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2014
75. **klimaaktiv Gebäudereport 2017**. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018
76. **Zweiter Nationaler Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich NEEAP 2017. gemäß Energieeffizienzrichtlinie 2012/27/EU**, Wien: Österreichische Energieagentur – AEA / Monitoringstelle im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, 2017
77. **Baukulturelle Leitlinien des Bundes**. Wien: Bundeskanzleramt, Abteilung II/4 Geschäftsstelle des Beirats für Baukultur, 2017
78. **Bundesverfassungsgesetz über die Nachhaltigkeit, den Tierschutz, den umfassender Umweltschutz, die Sicherstellung der Wasser- und Lebensmittelversorgung und die Forschung**. Wien: Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2019
79. **Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetz. Gesetz über die Förderung des Wohnungsneubaus und der Wohnhaussanierung und die Gewährung von Wohnbeihilfe (Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetz – WWFSG)**, Wien: Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 1989.
80. **Aus Verantwortung für Österreich - Regierungsprogramm 2020 – 2024**. Wien: Bundeskanzleramt Österreich, 2020
81. **Dritter Österreichischer Bau-Kultur-Report - Szenarien und Strategien 2050**. Wien: Bundeskanzleramt Österreich, 2017
82. **Steiner, T.: Wiener Tropennächte**, in Jahrbuch Kitting, Wien: IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2020
83. **ÖKS15 Klimaszenarien für Österreich - Daten, Methoden, Klimaanalyse. Endbericht**, Wien: Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, 2018

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 „typisches“ Wiener Gründerzeitgebäude (Quelle: [11], (o.M.))	16
Abbildung 2 Modellraum Kleingartenhaus für ganzjähriges Wohnen „GZH“, kleiner süd-westorientierter Wohnraum im Obergeschoß, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, Nettofläche 10,80 m ² , Glasfläche „GZH V1“: 1,19 m ² süd- und 0,48 m ² westorientiert, ges. 1,66 m ² (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10 % der NFL), Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter raumseitiger Oberfläche 28,59 %.	22
Abbildung 3 Modellraum Einfamilienhaus „EFH“, süd-westorientierter Wohnraum im Obergeschoß, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, Nettofläche 16,62 m ² , Glasfläche „EFH V1“: 1,19 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 1,66 m ² (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10 % der NFL), Glasfläche „EFH V2“: 2,37 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 2,84 m ² (2x südorientierten Glasfläche von „V1“), Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter raumseitiger Oberfläche „EFH V1“ 26,95 %, „EFH V2“ 25,53 %.	22
Abbildung 4 Modellraum Reihenhaushaus „RH“, südorientierter Wohnraum im Obergeschoß, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, Nettofläche 15,80 m ² , Glasfläche „RH V1“: 1,58 m ² südorientierte Glasfläche (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10 % der NFL), Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter raumseitiger Oberfläche 27,60 %.	23
Abbildung 5 Nord-Süd-orientiertes „typisches“ Gründerzeit - Mehrfamilienhaus, Bauklasse III, geschlossene Bauweise, Wohnung SW bestehend aus den Räumen „SW01“ 19,45 m ² , „SW02“ 13,45 m ² , „SW03“ 23,32 m ² und WC 1 m ² (Gesamt-nutzfläche 57,22 m ²), BGF 77,84 m ² , Raumhöhe 3,52 m, beheiztes Bruttovolumen 274 m ³ .	23
Abbildung 6 Erläuterung eines Box-Whisker-Plot anhand der maximal empfundenen Temperatur; Minimum 17,97 °C; 1. Quartil 21,59 °C; Median 23,06 °C; 3. Quartil 24,22 °C; Maximum 26,62 °C	28
Abbildung 7 Einfluss des Standorts auf das Maximum der empfundenen Temperatur im Bestand, grau-rosa Modellraum „SW03“ (Südfassade mit 2 Fenstern), schwarz-blau Modellraum „SW02“ (mit Feuermauer, 1 Fenster) jeweils mit innen und außen liegender Verschattung. Lüftungsvarianten „zu“, „gekipp“ und „offen“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 12 Varianten, insgesamt Ergebnis von 192 Varianten dargestellt).	31
Abbildung 8 Einfluss der Nachtlüftung auf das Maximum der empfundenen Temperatur in Abhängigkeit der Lüftung am Standort Wien, grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster), jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „außen“. Innendämmsysteme „ID00“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten, insgesamt Ergebnis von 1440 Varianten dargestellt).	32
Abbildung 9 Einfluss der Verschattung auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien, Klagenfurt, Innsbruck und Mallnitz, in grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), in schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster) jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „außen“. Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten, insgesamt Ergebnis von 1440 Varianten dargestellt).	34
Abbildung 10 Einfluss des Innendämmsystems auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien in Abhängigkeit der Verschattung „innen“ und „außen“, in grau-rosa der ungedämmte Bestand, in schwarz-blau „SW02“ (1 Fenster), jeweils für die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“. Zusammengefasst die Art der Nachtlüftung „zu“, „gekipp“ und „offen“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ (jeder Boxplot enthält damit 24 Varianten, ausgenommen „Bestand“ mit 12 Varianten (nur Fenster „alt“), insgesamt Ergebnis von 456 Varianten dargestellt).	36
Abbildung 11 Einfluss des Innendämmsystems auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien in Abhängigkeit der Verschattung „innen“ und „außen“, in schwarz-blau „SW03“ (2 Fenster), jeweils für die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“ und die Nachtlüftung „offen“. Zusammengefasst die Art der Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ (jeder Boxplot enthält damit 8 Varianten, insgesamt Ergebnis von 160 Varianten dargestellt).	37

Abbildung 12 Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur in Modellraum Einfamilienhaus (EFH) mit Verglasungsvariante V1 für Innendämmsystem „ID05“ (schwarz dargestellt) und Innendämmsystem „ID04“ (grau dargestellt) bei Nachtlüftung „zu“/„gekippt“/„offen“, außenliegende Verschattung	40
Abbildung 13 Einfluss der Dämmstoffdicke auf die maximal empfundene Temperatur in Modellraum Einfamilienhaus (EFH) Verglasungsvariante V1 für Innendämmsystem „ID05“ (schwarz dargestellt) und Innendämmsystem „ID04“ (grau dargestellt) bei Nachtlüftung „zu“/„gekippt“/„offen“, ohne Verschattung	41
Abbildung 14 Maximal empfundene Temperatur über Dämmstoffdicke, Modellraum Einfamilienhaus mit mindesterforderlicher Belichtungsfläche von 10 % der Nettofläche (EFH V1), Berechnet mit dem Programmpaket Thesim3D, Standort Wien	44
Abbildung 15 Innere Oberflächentemperaturen im Tagesverlauf in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke, Modellraum Einfamilienhaus mit mindesterforderlicher Belichtungsfläche von 10 % der Nettofläche (EFH V1), Berechnet mit dem Programmpaket Thesim3D, Standort Wien	45
Abbildung 16 Einfluss der Geometrie auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien bei Verschattung „innen“ für den Modellraum „SW03“ (2 Fenster), jeweils für die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Nachtlüftung „offen“, Fensterart „alt“, dargestellt nach Geschoßen „EG“, „OG1/OG2“ und „OG3“.	48
Abbildung 17 Einfluss Geometrie auf die maximal empfundene Temperatur in den Modellräumen Kleingartenwohnhaus „GZH V1“ (grün), Einfamilienwohnhaus EFH V1 (blau), und Reihenhaus „RH V1“ (rosa) in Abhängigkeit von Nachtlüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“ sowie Verschattung „ohne“, „außen“ und „innen“. Als ausgefüllter Kreis dargestellt Bestand „ID00“. Jeweils die Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“ und die Fenster „alt“ und „neu“ zusammengefasst. Jeder Boxplot enthält damit 18 Varianten, insgesamt Ergebnis von 513 Varianten dargestellt. Vergrößert dargestellt (rechts unten) Verschattung „außen“ – Nachtlüftung „offen“	50
Abbildung 18 Maximal empfundene Temperatur in den Modellräumen Einfamilienhaus „EFH“, Belichtungsfläche „V1“ in grau/rosa, Belichtungsfläche „V2“ in schwarz/blau in Abhängigkeit von Dämmsystem und Nachtlüftung „zu“, „gekippt“, „offen“, zusammengefasst Verschattung „ohne“, „außen“, „innen“	51
Abbildung 19 Einfluss Verglasungsanteil auf die maximal empfundene Temperatur in den Modellräumen Einfamilienhaus „EFH V1“ in schwarz, Einfamilienhaus „EFH V2“ in grau bei Nachtlüftung „offen“ in Abhängigkeit von Dämmsystem und Verschattung „ohne“, „außen“, „innen“	52
Abbildung 20 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte, Prozente auf ganze Zahlen gerundet	54
Abbildung 21 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte, Prozente auf ganze Zahlen gerundet	55
Abbildung 22 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke, Prozente auf ganze Zahlen gerundet	57
Abbildung 23 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke, Prozente auf ganze Zahlen gerundet	58
Abbildung 24 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Verschattung, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke zusammengefasst, Prozente auf ganze Zahlen gerundet	60
Abbildung 25 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Verschattung, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke zusammengefasst, Prozente auf ganze Zahlen gerundet	62
Abbildung 26 Kenndaten zu Aufbauten, Fenster, Sonnenschutz und Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungsanlage	71
Abbildung 27 Jahresverlauf von PMV- und PPD-Index und Raumlufttemperatur, Variante 1 - Bestand, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	77
Abbildung 28 Jahresverlauf von PMV- und PPD-Index und Raumlufttemperatur, Variante 5 - EnerPhit, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	77

Abbildung 29 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD) im Jahresverlauf, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.	78
Abbildung 30 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD), Zeitraum 17.6 bis 5.9, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.	79
Abbildung 31 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD), Zeitraum 12.7 bis 24.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.	80
Abbildung 32 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur, Zeitraum 12.7 bis 24.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	81
Abbildung 33 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Montag 16.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	82
Abbildung 34 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Donnerstag 19.7, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	82
Abbildung 35 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur, Zeitraum 12.7 bis 24.7, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)	83
Abbildung 36 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Montag 16.7, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)	84
Abbildung 37 Einfluss Dämmstandard auf empfundene Temperatur am Donnerstag 19.7, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)	85
Abbildung 38 Einfluss Raumeigenschaften auf empfundene Temperatur am Donnerstag 19.7	85
Abbildung 39 Relative Feuchte der Raumluft nach Kategorien für „SW02“ (1 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet	94
Abbildung 40 Thermischer Komfort PMV nach Kategorien für „SW02“ (1 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet	96
Abbildung 41 Thermischer Komfort PPD nach Kategorien für „SW02“ (1 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet	98
Abbildung 42 Thermischer Komfort PPD nach Kategorien für „SW03“ (2 Fenster), Prozente auf ganze Zahlen gerundet	101
Abbildung 43 Verteilung der Raumklimadaten Temperatur und relative Feuchte der Raumluft über das Jahr, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Variante Bestand, Komfortbereiche in grün, Winter in rot, Sommer in orange, 8760 Stundenwerte	105
Abbildung 44 Verteilung der Raumklimadaten Temperatur und relative Feuchte der Raumluft über das Jahr, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Variante Minimal, Komfortbereiche in grün, Winter in rot, Sommer in orange, 8760 Stundenwerte	106
Abbildung 45 Verteilung der Raumklimadaten Temperatur und relative Feuchte der Raumluft über das Jahr, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Variante Enerphit, Komfortbereiche in grün, Winter in rot, Sommer in orange, 8760 Stundenwerte	106
Abbildung 46 empfundene Temperatur am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12	108
Abbildung 47 relative Feuchte der Raumluft am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12	108
Abbildung 48 PMV am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12	108
Abbildung 49 PPD am 20. Juli mit Kategorisierung nach Tabelle 12	108
Abbildung 50 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Bestand „V1“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	110
Abbildung 51 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Bestand „V1“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)	110
Abbildung 52 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Sanierung Minimal „V2“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	110
Abbildung 53 Bewertung der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur, Sanierung Enerphit „V5“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	110
Abbildung 54 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Bestand „V1“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Darstellung in Monaten	111

Abbildung 55 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Bestand „V1“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Darstellung in Monaten	111
Abbildung 56 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Minimal „V2“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Darstellung in Monaten	111
Abbildung 57 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Minimal „V2“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Darstellung in Monaten	111
Abbildung 58 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Enerphit „V5“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Darstellung in Monaten	111
Abbildung 59 Beurteilung des thermischen Komforts in Klassen, Sanierung Enerphit „V5“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Darstellung in Monaten	111
Abbildung 60 Untersuchte Positionen (ohne Maßstab)	123
Abbildung 61 Untersuchte Bereiche (ohne Maßstab)	124
Abbildung 62 „kaltes Jahr“ für Wien; Tagesmaxima, Tagesmittelwerte und Tagesminima im Januar (Quelle: [58])	127
Abbildung 63 Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur für Wien; Vergleich „mittleres“ (grün) und „kaltes“ Jahr (schwarz) (Quelle: [58])	128
Abbildung 64 „kaltes Jahr“ für Klagenfurt; Tagesmaxima, Tagesmittelwerte und Tagesminima im Januar (Quelle: [58])	129
Abbildung 65 Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur für Klagenfurt; Vergleich „mittleres“ und „kaltes“ Jahr (Quelle: [58])	129
Abbildung 66 Niederschlag als Eingangsgröße für die Berechnung der Schlagregenbelastung	130
Abbildung 67 Windgeschwindigkeit als Eingangsgröße für die Berechnung der Schlagregenbelastung	131
Abbildung 68 Ableitung der Raumlufttemperatur und -feuchte von Wohnräumen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur, jeweils Tagesmittel. (Quelle: WTA Merkblatt 6-2-14 [52])	132
Abbildung 69 Ergebnis der Gebäudesimulation für Raumklimabedingungen Raumlufttemperatur und relative Feuchte der Raumluft für den Bestand „V1“, Modellraum SW01	135
Abbildung 70 Ergebnis der Gebäudesimulation, Jahresverlauf von Raumlufttemperatur und relativer Feuchte der Raumluft für Bestand „V1“, Modellraum SW01 als Grundlage für Innenraumklima „IK12“ für Bauteilsimulation	136
Abbildung 71 Lufttemperatur ausgewählter Klimadatensätze im Jahresverlauf, in hellgrau die Außenluft-Temperatur am Standort Wien	137
Abbildung 72 Relative Feuchte der Raumluft ausgewählter Innenraumklimadatensätze im Jahresverlauf, in hellgrau die relative Feuchte der Außenluft am Standort Wien	138
Abbildung 73 Temperatur der Raumluft für Innenraumklima „IK01“ bis „IK26“ im Februar	138
Abbildung 74 relative Feuchte der Raumluft für Innenraumklima „IK01“ bis „IK26“ im Jänner	139
Abbildung 75 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (oben) und Myzelwachstum (unten), das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt. Die im Bild dargestellten Diagramme gelten für optimales Substrat (links), für Substratgruppe I (mitte) und für Substratgruppe II (rechts). (Quelle: WTA Merkblatt 6-3-05 [46] Bild 6.1)	142
Abbildung 76 Typ, Einheit und Format der für die Simulationsberechnung definierten Ausgabegrößen	146
Abbildung 77 Zeitlicher Verlauf der Temperatur, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	149
Abbildung 78 Zeitlicher Verlauf der Temperatur im 5. Jahr, Vergleich der Bereiche „Nord“, „Kante“ und „West“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“	150
Abbildung 79 Zeitlicher Verlauf relative Feuchte, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	152

Abbildung 80 Zeitlicher Verlauf relative Feuchte im 5. Jahr, Vergleich der Bereiche „Nord“, „Kante“ und „West“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“	153
Abbildung 81 Zeitlicher Verlauf Wassergehalt „Positionen“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	156
Abbildung 82 Zeitlicher Verlauf Wassergehalt „Bereiche“, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	157
Abbildung 83 Massebezogener Flüssigwassergehalt nach Positionen, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	158
Abbildung 84 Massebezogener Flüssigwassergehalt nach Bereichen, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	158
Abbildung 85 Verhältnis von Eis- zu Porenvolumen, Variante Vollziegelmauerwerk mit Innendämmsystem „ID01“ mit einer Dämmstoffdicke von 9 cm für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,kalt} „AK16“) bei Innenraumklima „IK03“ mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], unter Berücksichtigung direkter Solarstrahlung und Schlagregen „SR11“	159
Abbildung 86 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis IK09.	160
Abbildung 28 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	161
Abbildung 88 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	162
Abbildung 89 Temperatur der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	163
Abbildung 90 Relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	164
Abbildung 91 Relative Feuchte der raumseitigen Oberfläche im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	165
Abbildung 92 Relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	167

Abbildung 93 Relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche im Bereich der nach Nord-West orientierten Kante (Position „K3“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für die ungedämmte Bestandswand und Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	168
Abbildung 94 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N5“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	169
Abbildung 95 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Norden orientierten Außenwand (Position „N5“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	170
Abbildung 96 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Westen orientierten Außenwand (Position „W5“) im Jänner (5. Jahr) für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	171
Abbildung 97 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung im ungestörten Bereich der nach Westen orientierten Außenwand (Position „W5“) im 5. Jahr für das Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) für das Innendämmsystem „ID01“ mit Dämmstoffdicken von 3, 6, 9, 12 cm. Dargestellt für Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“.	172
Abbildung 98 Temperatur, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N3“, im Jänner, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	173
Abbildung 99 Temperatur, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N3“, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	174
Abbildung 100 Relative Feuchte, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N3“, im Jänner, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	175
Abbildung 101 Relative Feuchte, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position N3, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	176
Abbildung 102 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N5“, im Jänner, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	177
Abbildung 103 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „N5“, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	178
Abbildung 104 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „W5“, im Jänner, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	179
Abbildung 105 Wassergehalt, Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) für Innendämmsystem „ID01“ Dämmstoffdicke 3, 6, 9, 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK09“, Position „W5“, 5. Jahr, grau hinterlegt Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	180
Abbildung 106 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung, das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt, Substratgruppe 0 (optimales Substrat), Temperatur- und Feuchtezustände raumseitige Oberfläche (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmung „ID01“ mit 3 cm.	183
Abbildung 107 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung, Substratgruppe 1 (mineralischer Untergrund mit einer angenommenen Verschmutzung), raumseitige Oberfläche im Bereich „Kante“ (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmsystem „ID01“ mit 3 cm.	184

Abbildung 108 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung Substratgruppe 2 (mineralischer Untergrund), raumseitige Oberfläche im Bereich „Kante“ (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmsystem „ID01“ mit 3 cm.	184
Abbildung 109 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf die relative Feuchte im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position N5) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr.	212
Abbildung 110 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf die relative Feuchte im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im 5. Jahr.	213
Abbildung 111 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf die Temperatur im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr	213
Abbildung 112 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr	214
Abbildung 113 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“ im Jänner, 5. Jahr	214
Abbildung 114 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“, 5. Jahr	215
Abbildung 115 Einfluss Aussenklima „mittel“ (m) – HSKD _{Wien,mittel} „AK03“ und „kalt“ (k) – HSKD _{Wien,kalt} „AK16“ auf den Wassergehalt im 1. cm der Dämmung der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“) für Innendämmsystem „ID01“ bei Dämmstoffdicke von 9 und 12 cm, Innenraumklima „IK01“ bis „IK05“, 5. Jahr	215
Abbildung 116 Einfluss direkte Solarstrahlung auf den Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung „ID01“ der nach Norden orientierten Wand (Position „N5“), Innenraumklima „IK04“, bei Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr	216
Abbildung 117 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf den Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung „ID01“ der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“), Innenraumklima „IK04“, bei Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr	217
Abbildung 118 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf den Wassergehalt im 1. cm der Innendämmung „ID01“ der nach Westen orientierten Wand (Position „W5“), Innenraumklima „IK04“, bei Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr	218
Abbildung 119 Einfluss direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Norden orientierten Wand (Position „N3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr	218
Abbildung 120 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten Wand „ID01“, nach Nord-Westen orientierten Wandkante (Position „K3“), Innenraumklima „IK04“, bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr	218
Abbildung 121 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Westen orientierten Wand (Position „W3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner, 5. Jahr	219
Abbildung 122 Einfluss direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Norden orientierten Wand (Position „N3“), Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr	219
Abbildung 123 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der nach Nord-Westen orientierten innen gedämmten „ID01“ Wandkante (Position „K3“), Innenraumklima „IK04“, bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr	220

Abbildung 124 Einfluss Schlagregen und direkte Solarstrahlung auf die relative Feuchte an der raumseitigen Oberfläche der innen gedämmten „ID01“, nach Westen orientierten Wand (Position „W3“, Innenraumklima „IK04“ bei Außenklima Wien (HSKD_{Wien,mittel} „AK03“), 5. Jahr 220

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Innendämmsysteme mit Schichtdicke und Baustoffkennwerten	18
Tabelle 2 Speicherwirksame Masse nach Innendämmsystem für die Außenwand im 4 Obergeschoß inklusive Innendämmung, Berechnung ArchiPHYSIK	38
Tabelle 3 Einfluss Innendämmung auf die maximal empfundene Temperatur in Abhängigkeit von Nachtlüftung und Verschattung, ‚positiver Einfluss‘ in grün (+), ‚negativer Einfluss‘ - abfallender Verlauf in gelb (-), ‚negativer Einfluss‘ - ansteigender Verlauf in orange (--), ‚negativer Einfluss‘ - stark ansteigender Verlauf in rot (---) dargestellt.	43
Tabelle 4 Parameterstudie zur Bestimmung der maßgeblichen Einflussgröße auf die maximal empfundene Temperatur, untersucht: Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Rohdichte.	45
Tabelle 5 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Geschoße und Standorte	54
Tabelle 6 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte	55
Tabelle 7 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke	56
Tabelle 8 Einfluss der Standorte auf Klassifikation für außen und innen liegende Verschattung, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Fenster, Nachtlüftung und Stockwerke	58
Tabelle 9 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Verschattung, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte zusammengefasst	60
Tabelle 10 Einfluss des Innendämmsystems auf Klassifikation der Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), Verschattung, Fenster, Nachtlüftung, Stockwerke und Standorte zusammengefasst	62
Tabelle 11 Klimabeurteilungsskala (vgl. [32])	72
Tabelle 12 Verfahren zur Langzeitbewertung des allgemeinen thermischen Komforts	73
Tabelle 13 Grenzwerte für thermische Behaglichkeit	74
Tabelle 14 Heizwärmebedarf und Heizlast nach energetischem Standard für die süd-west-orientierte Wohnung (SW) im Modellgebäude Mehrfamilienwohnhaus	76
Tabelle 15 Verteilung der empfundenen Temperatur, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung	88
Tabelle 16 Verteilung relative Feuchte der Raumluft, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung	89
Tabelle 17 Verteilung Thermischer Komfort, dargestellt als PMV, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung	90
Tabelle 18 Verteilung Thermischer Komfort, dargestellt als PPD, Bestand „V1“, süd-west orientierte Modellwohnung	91
Tabelle 19 Einfluss energetischer Standard auf Verteilung empfundene Temperatur, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	92
Tabelle 20 Einfluss energetischer Standard auf die Verteilung relative Feuchte der Raumluft, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	93
Tabelle 21 Einfluss energetischer Standard auf den thermischen Komfort, dargestellt als PMV, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	96
Tabelle 22 Einfluss energetischer Standard auf den thermischen Komfort, dargestellt als PPD-Index, Modellraum „SW02“ (1 Fenster)	97
Tabelle 23 Einfluss energetischer Standard auf die Verteilung der empfundenen Temperatur, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)	99
Tabelle 24 Einfluss energetischer Standard auf den thermischen Komfort, dargestellt als PPD, Modellraum „SW03“ (2 Fenster)	101

Tabelle 25 Übertemperaturgradstunden für die süd-west-orientierte Wohnung (SW) im Modellgebäude Mehrfamilienwohnhaus	104
Tabelle 26 Raumklimabedingungen (feuchtelastabhängig, sinusförmig, Periodendauer 1 Jahr) (Quelle: WTA Merkblatt 6-2-01 [45])	133
Tabelle 27 Dauer kritischer Zustände - Sporenauskeimung , Substratgruppe 0, 1 und 2, Beurteilung der Temperatur- und Feuchtezustände der raumseitigen Oberfläche im Bereich „Kante“ (Position „K8“) bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Innendämmsystem „ID01“ mit 3 cm	185
Tabelle 28 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 1	186
Tabelle 29 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 1	186
Tabelle 30 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 2	187
Tabelle 31 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 1	187
Tabelle 32 Einfluss Schlagregen und solare Direktstrahlung auf das Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Kriterium „Grenze“ und „Dauer“, Substratgruppe 1 und 2	188
Tabelle 33 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 1	189
Tabelle 34 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 1	189
Tabelle 35 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Grenze“, Substratgruppe 2	190
Tabelle 36 Risiko der Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche (Position „N8“, „K8“, „W8“) für Aussenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Kriterium „Dauer“, Substratgruppe 2	190
Tabelle 37 Einfluss des Innenraumklimas auf den Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion im Jänner, bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Monatsmittelwert	193
Tabelle 38 Einfluss des Innenraumklimas auf den Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion im Jänner, bei Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Monatsmittelwert	194
Tabelle 39 Reserve auf den minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand auf Grund von Feuchte im Bauteilquerschnitt bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	194
Tabelle 40 Reserve auf den minimal zulässigen Wärmedurchlasswiderstand auf Grund von Feuchte im Bauteilquerschnitt bei Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“)	195
Tabelle 41 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung (Position 5) bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) im Jänner - Monatsmittelwert	196
Tabelle 42 Wassergehalt im 1. cm der Dämmung (Position 5) bei Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) im Jänner – Monatsmittelwert	197
Tabelle 43 Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Mittelwert	197
Tabelle 44 Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Mittelwert	198
Tabelle 45 Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	198
Tabelle 46 Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit im 1. cm der Dämmung (Position 5) im Jänner bei Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“)	199
Tabelle 47 Wassergehalt über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Monatsmittelwert	199
Tabelle 48 Wassergehalt über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Monatsmittelwert	200

Tabelle 49 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Mittelwert	200
Tabelle 50 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Mittelwert	201
Tabelle 51 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), Prozent	201
Tabelle 52 Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Dämmstoffdicke im Jänner für Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), Prozent	202
Tabelle 53 Relation Wärmeleitfähigkeitsanstieg im 1. cm zu gesamter Dämmstoffdicke für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“), jeweils Monatsmittelwerte	202
Tabelle 54 Relation Wärmeleitfähigkeitsanstieg im 1. cm zu gesamter Dämmstoffdicke für Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“), jeweils Monatsmittelwerte	203
Tabelle 55 Minimalwert, Maximalwert und Median der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit nach Dämmstoffdicke über alle untersuchten Innenraumklimata für Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“).	203
Tabelle 56 Minimalwert, Maximalwert und Median der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit nach Dämmstoffdicke über alle untersuchten Innenraumklimata für Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“).	203
Tabelle 57 Wassergehaltsänderung der Gesamtkonstruktion von 4. zu 5. Berechnungsjahr, Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	205
Tabelle 58 Wassergehaltsänderung der Gesamtkonstruktion von 4. zu 5. Berechnungsjahr, Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“)	205
Tabelle 59 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) an der Position 5, Monatsmittelwert, für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen	206
Tabelle 60 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) über die gesamte Dämmstoffdicke, Monatsmittelwert, für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen	207
Tabelle 61 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) an der Position 5, Monatsmittelwert, für Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen	207
Tabelle 62 Beurteilung des Kriteriums ‚maximal zulässiger Wassergehalt‘ (Reduktion der Dämmwirkung) über die gesamte Dämmstoffdicke, Monatsmittelwert, für Außenklima Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) und SR11, Auswertung 5. Jahr der Simulationsberechnungen	208
Tabelle 63 Anzahl der Frost-Tau-Wechsel an den Positionen „N0“ und „W0“ in a5, für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	209
Tabelle 64 Maximaler Feuchtesättigungsgrad an den Positionen „N0“ und „W0“ für Jänner in a5, Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	210
Tabelle 65 Maximaler Feuchte-Sättigungsgrad an den Positionen „N0“ und „W0“ im Jänner, 5. Jahr, für Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	210
Tabelle 66 Maximales Eis zu Porenvolumen – Verhältnis an den Positionen „N0“ und „W0“ für Jänner, 5. Jahr, Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	211
Tabelle 67 Beurteilungskriterium ice volume to pore ratio an den Positionen „N0“ und „W0“, im Jänner, 5. Jahr, Außenklima Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“)	211
Tabelle 68 Ergebnisse der Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2 für Standort Wien, Hohe Warte, Normaußentemperatur -9,4 °C, Monatsmitteltemperatur im Jänner -1,64 °C	222
Tabelle 69 Ergebnisse der Beurteilung nach ÖNorm B 8110-2 für Standort Klagenfurt, Norm-Außentemperatur -12,2 °C, Monatsmitteltemperatur im Jänner -2,57 °C	222
Tabelle 70 Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit für Innendämmsystem „ID01“ am Standort Wien (HSKD _{Wien,mittel} „AK03“) anhand hygrisch-thermischer Simulationsrechnung	223
Tabelle 71 Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit für Innendämmsystem „ID01“ am Standort Klagenfurt (HSKD _{Klagenfurt,kalt} „AK05“) anhand hygrisch-thermischer Simulationsrechnung	223

Anhang

Anhang A – Modellgebäude und Testräume

Anhang B – Konstruktionen

Anhang C – Klimadaten

Anhang D – Musterbericht Simulationsergebnisse

Anhang E – Bezeichnung Simulationsdateien

Anhang F – Liste mit Delphin simulierter Varianten

Lebenslauf

ANHANG

Inhaltsverzeichnis

1	Anhang A – Modellgebäude und Testräume	5
1.1	Kleingartenhaus	6
1.2	Einfamilienhaus	8
1.3	Reihenhaus.....	10
1.4	Mehrfamilienhaus.....	12
1.4.1	Wohneinheiten	14
1.4.2	Testraum SW02	16
1.4.3	Testraum SW03	18
2	Anhang B – Konstruktionen.....	21
2.1	Vollziegelmauerwerk	21
2.2	Innendämmsysteme.....	22
2.3	Bauteile unsaniert	24
2.3.1	Außenwand Erdgeschoß – Bestand „EG78“	24
2.3.2	Außenwand 1. Obergeschoß – Bestand „1OG63“	25
2.3.3	Außenwand 2. Obergeschoß – Bestand „2OG63“	25
2.3.4	Außenwand 3. Obergeschoß – Bestand „3OG48“	26
2.3.5	Außenwand 4. Obergeschoß – Bestand „4OG48“	27
2.3.6	Feuermauer – Bestand „FM33“	27
2.3.7	Wohnungstrennwand – Bestand „WTW32“	28
2.3.8	Feuermauer – Bestand „FM18“	29
2.3.9	Innenwand – Bestand „IW17“	29
2.3.10	Tramdecke – Bestand.....	30
2.3.11	Doppelbaumdecke – Bestand	30
2.3.12	Kappendecke – Bestand.....	31
2.3.13	Tramdecke mit versenkter Schalung – Bestand.....	32
2.3.14	Fehltramdecke – Bestand.....	33
2.3.15	Kastenfenster – Bestand	34
2.3.16	Mittelmauer – Bestand „MM 62“.....	34
2.4	Bauteile thermisch saniert	35
2.4.1	Boden im Erdgeschoß – saniert	35
2.4.2	Decke über 4. Obergeschoß – saniert.....	35
2.4.3	Kastenfenster saniert mit Wiener-Komfort-Fenster (Innenflügel 2SVG)	36
2.4.4	Bestandswand + Innendämmung „ID07“	37
3	Anhang C – Klimadaten	49
3.1	Innenraumklimata nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12].....	49

3.2	Extreme Innenraumklimata auf Basis „hohe Feuchtelast“ nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12]	49
3.3	Innenraumklimata nach EN 15026 [13] und WTA Merkblatt 6-2-14/D [14]	49
3.4	Raumklimabedingungen nach EN 13788 [15]	49
3.5	Raumklimabedingungen aus den Ergebnissen der Gebäudesimulation	50
4	Anhang D – Musterbericht Simulationsergebnisse	71
	VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05	72
4.1	Relative Feuchte	72
4.1.1	Relative Feuchte - Positionen	72
4.1.2	Relative Feuchte im 5. Jahr – Positionen	73
4.2	Temperatur	74
4.2.1	Temperatur – Positionen	74
4.2.2	Temperatur im 5. Jahr – Positionen	75
4.3	Flüssigwassergehalt	76
4.3.1	Flüssigwassergehalt, massebezogen – Positionen	76
4.3.2	Flüssigwassergehalt, massebezogen – Bereiche	77
4.3.3	Flüssigwassergehalt, massebezogen im 5. Jahr – Positionen	78
4.3.4	Flüssigwassergehalt, massebezogen im 5. Jahr – Bereiche	79
4.3.5	Flüssigwassergehalt, volumenbezogen – Positionen	80
4.3.6	Flüssigwassergehalt, volumenbezogen – Bereiche	81
4.3.7	Flüssigwassergehalt, volumenbezogen im 5. Jahr – Positionen	82
4.3.8	Flüssigwassergehalt, volumenbezogen im 5. Jahr – Bereiche	83
4.4	Wassergehalt	84
4.4.1	Wassergehalt – Positionen	84
4.4.2	Wassergehalt – Bereiche	85
4.4.3	Wassergehalt im 5. Jahr – Positionen	86
4.4.4	Wassergehalt im 5. Jahr – Bereiche	87
4.5	Frost-Tau-Zyklen	87
4.6	Verhältnis Eisvolumen zu Porenvolumen	87
4.7	Wasserdampfgehalt	88
4.7.1	Wasserdampfgehalt – Positionen	88
4.7.2	Wasserdampfgehalt im 5. Jahr – Positionen	89
4.8	Innenraumklima	90
4.9	Untersuchte Bereiche	90
5	Anhang E – Bezeichnung Simulationsdateien	91
6	Anhang F – Liste mit Delphin simulierter Varianten	92
	Abbildungsverzeichnis Anhang	100
	Tabellenverzeichnis Anhang	102
	Literaturverzeichnis Anhang	104
	Lebenslauf	105

Beruflicher Werdegang	105
Ausbildung - Hochschule	106
Gremien- und Vereinsarbeit	106
Lehrtätigkeit	107
Betreute Bachelor- und Masterarbeiten	107
Schriftleitung WTA-Merkblätter	108
Publikationen	111

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Anhang A – Modellgebäude und Testräume

Nach [1] wird sich der österreichische Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 von 1,746 Mio. Gebäude um 20,8 % auf 2,110 Mio. Gebäude erhöhen, wobei sich die Gesamtzahl der Gebäude im Jahr 2050 voraussichtlich aus 12% (255.000) Nicht -Wohngebäuden – und 88 % (1,855 Mio.) Wohngebäude zusammensetzt. Der größte Teil dieses Wachstums wird bis zum Jahr 2020 erwartet, gefolgt von einer Stagnation der Gebäudezahl nach 2030. Im nach wie vor stattfindenden Neubau werden nur noch abgerissene Gebäude substituiert. Die Bauwirtschaft wird demnach eine starke Umstrukturierung hin zur Gebäudesanierung erleben. Vor diesem Hintergrund wird der Fokus dieser Arbeit auf die Betrachtung und Untersuchung des Gebäudetyps Wohngebäude gelegt und beschränkt sich auf Bestandsbauten. Ausgangsbasis für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen bilden die im Projekt GEBINT [2] entwickelten Modellgebäude Kleingartenhaus (GKZ), Einfamilienhaus (EFH), Reihenhaus (RH) und das bei Reisinger [3] im Zuge einer Machbarkeitsstudie beschriebene Projekt Novaragasse 49. Diese werden aufgrund der im Zuge der Entwicklung durchgeführten Recherchen als statistisch fundiert und repräsentativ beurteilt. Zur Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellungen werden Sie hinsichtlich Bauteilaufbauten und Bauteilkenndaten adaptiert um dem zuvor erwähnten Umstand, dass Innendämmung überwiegend im Gebäudebestand Einsatz findet und der Schwerpunkt dieser Arbeit deshalb im Sanierungsbereich liegt gerecht zu werden. Die Adaption umfasst eine die Anpassung des Wandbildners und des Dämmsystems. Größe der Fenster, Raumabmessungen, Orientierung, Lüftungsebenen und andere Parameter werden zwecks einer Vergleichbarkeit mit den Simulationsergebnissen aus GEBINT beibehalten. Wie auch in [2] werden die für die Sommertauglichkeitssimulation definierten Testräume jeweils grafisch aufbereitet. Die raumangrenzenden Bauteile werden flächenanteilig nach Eigenschaften wie Transparenz, Wärmedurchgangskoeffizient, Orientierung, usw. tabellarisch erfasst. Die jeweiligen Tabellen enthalten außerdem eine kurze Raumbeschreibung mit Informationen zu den Raumabmessungen und andere Kennzahlen zu den vorgesehenen Simulationsvarianten. Die untersuchten Modellgebäude und Modellräume werden nachfolgend detailliert beschrieben.

1.1 Kleingartenhaus

Tabelle 1: Beschreibung Testraum Kleingartenhaus

Typ:	Testraum zu Modellgebäude Kleingartenhaus für ganzjähriges Wohnen
Kürzel:	GZH
Beschreibung:	kleiner süd-westorientierter Wohnraum im Obergeschoß, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen
NFL:	10,80 m ²
Berücksichtigte Abmessungen:	
Länge:	377,5 cm
Breite:	345,5 cm
Höhe:	287,5 cm
Volumen:	37,50 m ³
Luftwechselzahl n.	
ÖNORM B 8110-3:	2,50 1/h
Varianten:	
GZH_V1:	1,19 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 1,66 m ² (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10% der NFL)
GZH_V2:	2,37 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 2,84 m ² (2 x südorientierten Glasfläche von V1)
GZH_V3:	4,74 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 5,2 m ² (4 x südorientierten Glasfläche von V1)

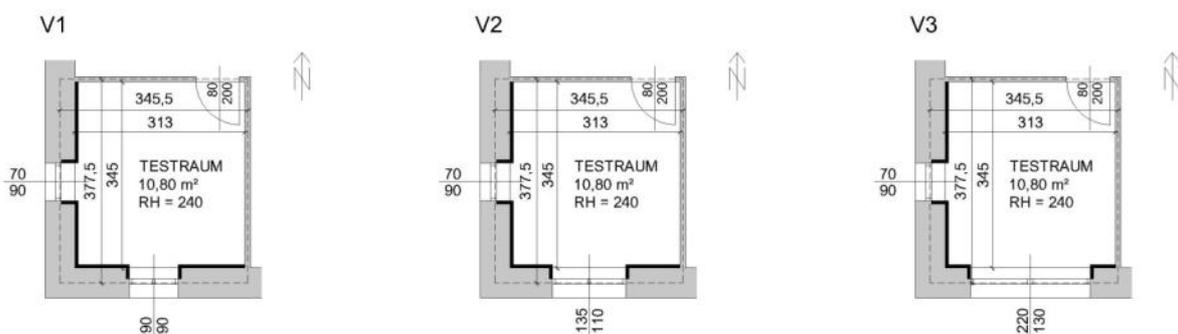


Abbildung 1 Grundriss Testraum GZH (Kleingartenhaus mit ganzjähriger Wohnnutzung) mit unterschiedlich großer südorientierter Verglasung.

Der längenbezogene Fehler welcher sich in Folge der Vereinfachung durch eindimensionale Betrachtung ergibt liegt bei etwa 4 % bezogen auf die Gesamtlänge bei V1 (Abwicklung inkl. Laibungsbereich) der Innendämmung.

Tabelle 2 Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbofläche nach Varianten

Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbofläche nach Varianten	
V1 m	28,59 %
V2 m	27,60 %
V3 m	25,56 %

Tabelle 3 Flächenaufstellung zu Testraum GZH (Kleingartenhaus mit ganzjähriger Wohnnutzung)

Bauteil	Fläche V1 [m ²]	Fläche V2 [m ²]	Fläche V3 [m ²]	Transparenz	Aufbau massiv	U-Wert [W/m ² K]	Orientierung	Neigung	g-Wert	τ-Wert
Außenwand Süd	9,12	8,45	7,07	0	AWm 05 a	0,115	180	0		
Außenwand West	10,22	10,22	10,22	0	AWm 05 a	0,115	270	0		
Innenwand	19,19	19,19	19,19	0	IWm 01 e	1,299	X	0		
Innentüre	1,60	1,60	1,60	0	IT 01 e	1,798	X	0		
Fensterrahmen Süd	0,21	0,29	0,46	0	FR 01 e	0,704	180	0		
Fensterrahmen West	0,15	0,15	0,15	0	FR 01 e	0,704	270	0		
Verglasung Süd	0,60	1,20	2,40	1	6.512.08	0,7	180	0	0,6	0,54
Verglasung West	0,48	0,48	0,48	1	6.512.08	0,7	270	0	0,6	0,54
Geschossdecke	13,04	13,04	13,04	0	GDm 01 e	0,772	0	-90		
Flachdach	13,04	13,04	13,04	0	DAm 03 a	0,102	0	90		
Summe	67,66	67,66	67,66							

1.2 Einfamilienhaus

Tabelle 4 Beschreibung Testraum Einfamilienhaus

Typ:	Testraum zu Modellgebäude Einfamilienhaus
Kürzel:	EFH
Beschreibung:	süd-westorientierter Wohnraum im Obergeschoß, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen
NFL:	16,62 m ²
Berücksichtigte Abmessungen:	
Länge:	446,0 cm
Breite:	434,5 cm
Höhe:	310,0 cm
Volumen:	60,07 m ³
Luftwechselzahl n.	
ÖNORM B 8110-3:	2,50 1/h
Varianten:	
EFH_V1:	1,19 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 1,66 m ² (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10% der NFL)
EFH_V2:	2,37 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 2,84 m ² (2 x südorientierten Glasfläche von V1)
EFH_V3:	4,74 m ² süd- und 0,48 m ² westorientierte Glasfläche, ges. 5,2 m ² (4 x südorientierten Glasfläche von V1)

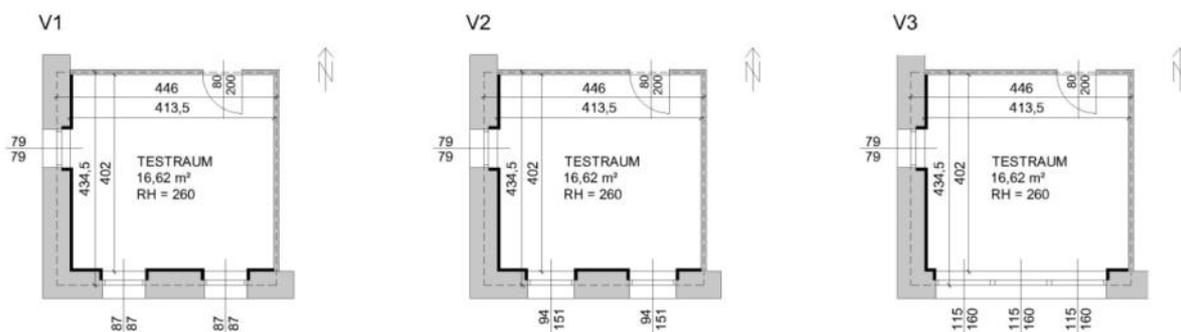


Abbildung 2 Grundriss Testraum EFH (Einfamilienhaus) mit unterschiedlich großer südorientierter Verglasung.

Tabelle 5 Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbofläche nach Varianten

Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbofläche nach Varianten	
V1 m	26,95 %
V2 m	25,53 %
V3 m	22,66 %

Tabelle 6 Flächenaufstellung zu Testraum EFH (Einfamilienhaus)

Bauteil	Fläche V1 [m ²]	Fläche V2 [m ²]	Fläche V3 [m ²]	Transparenz	Aufbau massiv	U-Wert [W/m ² K]	Orientierung	Neigung	g-Wert	τ-Wert
Außenwand Süd	12,31	10,99	8,31	0	AWm 05 a	0,115	180	0		
Außenwand West	12,85	12,85	12,85	0	AWm 05 a	0,115	270	0		
Innenwand	25,70	25,70	25,70	0	IWm 01 e	1,299	X	0		
Innentüre	1,60	1,60	1,60	0	IT 01 e	1,798	X	0		
Fensterrahmen Süd	0,33	0,47	0,80	0	FR 01 e	0,704	180	0		
Fensterrahmen West	0,15	0,15	0,15	0	FR 01 e	0,704	270	0		
Verglasung Süd	1,19	2,37	4,73	1	6.512.08	0,7	180	0	0,6	0,27
Verglasung West	0,48	0,48	0,48	1	6.512.08	0,7	270	0	0,6	0,27
Geschossdecke	19,38	19,38	19,38	0	GDm 01 e	0,772	0	-90		
Flachdach	19,38	19,38	19,38	0	DAm 03 a	0,102	0	90		
Summe	93,35	93,35	93,35							

1.3 Reihenhaus

Für den nord-südorientierten Modellgebäudetyp Reihenhaus wird folgender Testraum definiert.

Tabelle 7 Beschreibung Testraum Reihenhaus

Typ:	Testraum zu Modellgebäude nord-südorientiertes Reihenhaus
Kürzel:	RHn
Beschreibung:	südorientierter Wohnraum im Obergeschoss, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen
NFL:	15,80 m ²
Berücksichtigte Abmessungen:	
Länge:	502,5 cm
Breite:	362,5 cm
Höhe:	310,0 cm
Volumen:	56,47 m ³
Luftwechselzahl n.	
ÖNORM B 8110-3:	1,50 1/h
Varianten:	
RH_ns_V1:	1,58 m ² südorientierte Glasfläche (mindest erforderliche Belichtungsfläche nach OIB RL 3, Glaslichte = 10% der NFL)
RH_ns_V2:	2,37 m ² südorientierte Glasfläche (1,5 * V1, da angenommen wird, dass die zusätzlichen Verglasungsflächen auch auf Nicht-Aufenthaltsräume wie Verkehrsflächen, Sanitärräume, ... verteilt werden)
RH_ns_V3:	4,74 m ² südorientierte Glasfläche (2 * V2)

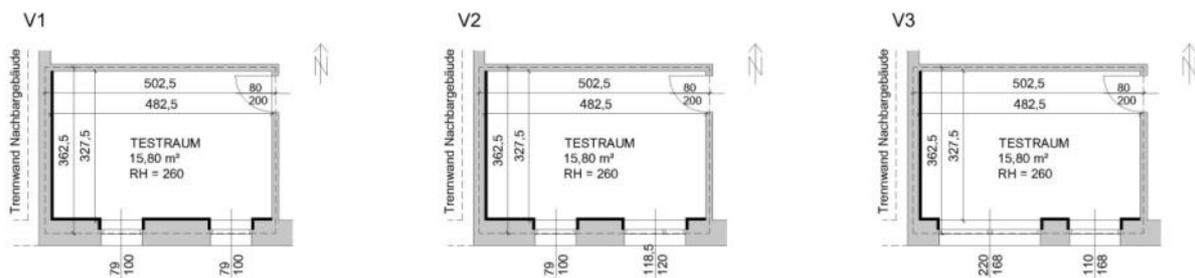


Abbildung 3 Grundriss Testraum RHn (nord-südorientiertes Reihenhaus) mit unterschiedlich großer südorientierter Verglasung.

Tabelle 8 Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbofläche nach Varianten

Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbofläche nach Varianten	
V1 m	27,60 %
V2 m	26,56 %
V3 m	23,62 %

Tabelle 9 Flächenaufstellung zu Testraum RHn (nord-südorientiertes Reihenhaus)

Bauteil	Fläche V1 [m ²]	Fläche V2 [m ²]	Fläche V3 [m ²]	Transparenz	Aufbau massiv	U-Wert [W/m ² K]	Orientierung	Neigung	g-Wert	τ-Wert
Außenwand	13,62	12,69	10,03	0	AWm 05 a	0,115	180	0		
Trennwand	11,24	11,24	11,24	0	TWm 01 e	0,35	X	0		
Innenwand	25,22	25,22	25,22	0	IWm 01 e	1,299	X	0		
Innentüre	1,60	1,60	1,60	0	IT 01 e	1,798	X	0		
Fensterrahmen	0,38	0,52	0,80	0	FR 01 e	0,704	180	0		
Verglasung	1,58	2,37	4,74	1	6.512.08	0,7	180	0	0,6	0,54
Geschossdecke	18,22	18,22	18,22	0	GDm 01 e	0,772	0	-90		
Flachdach	18,22	18,22	18,22	0	DAm 03 a	0,102	0	90		
Summe	90,06	90,06	90,06							

1.4 Mehrfamilienhaus

Der Prototyp für ein urbanes Mehrfamilienwohnhaus – ein „typisches“ Wiener Gründerzeitgebäude wird wie folgt festgelegt. Der Baukörper wird Nord-Süd-orientiert untersucht.

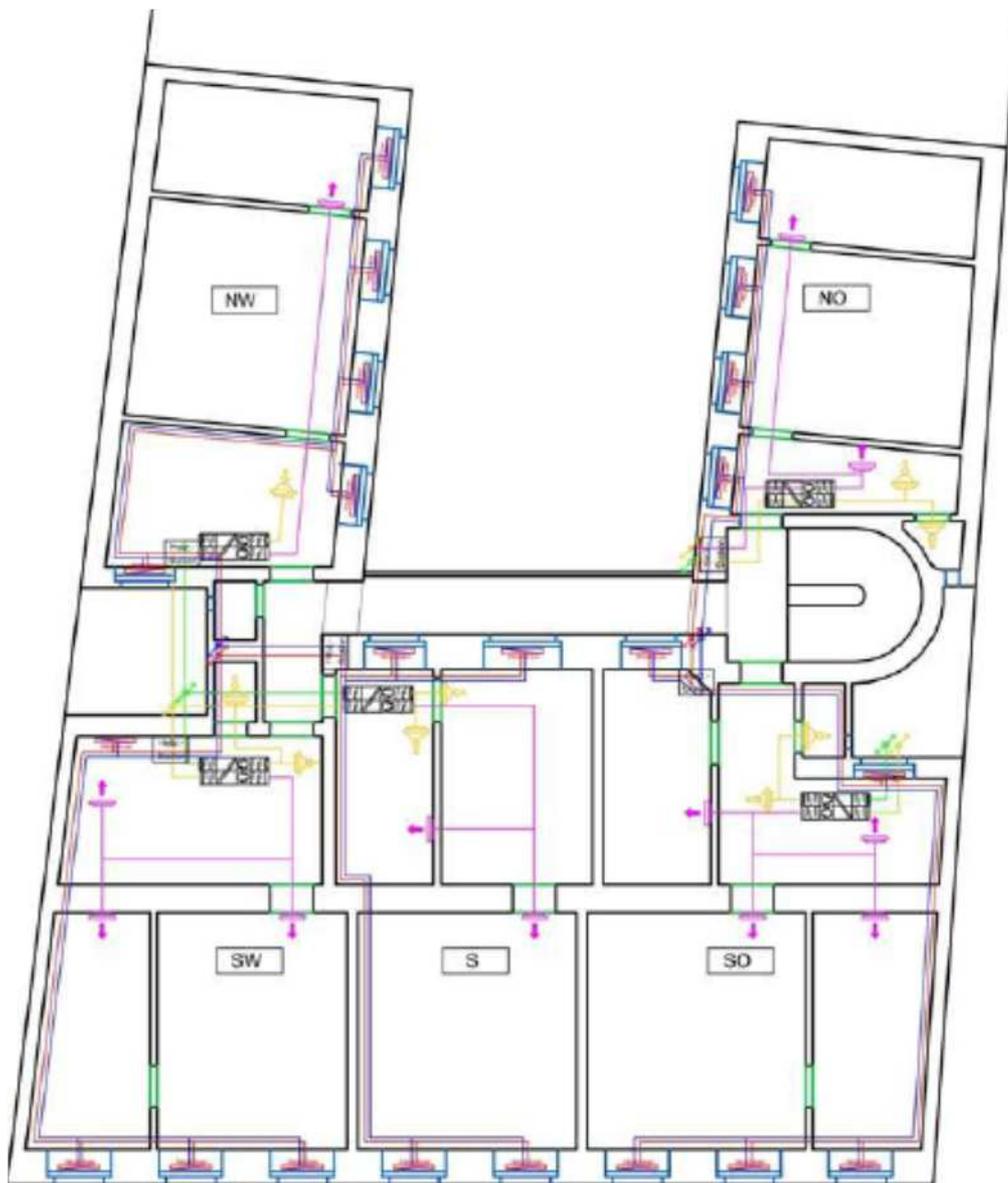


Abbildung 4 Novaragasse 49, Machbarkeitsstudie [3] (o.M.)

Tabelle 10 Kenndaten des Modellgebäudes - Mehrfamilienhaus

Typ:	Mehrfamilienhaus
Kürzel:	MFH
Beschreibung:	Nord-Süd -orientiertes „typisches Gründerzeit - Mehrfamilienhaus, Bauklasse III, geschlossene Bauweise
Baukörper:	länglicher Baukörper (20 m breit, 13 m Trakttiefe, 16 m Gebäudehöhe), 45° Dachneigung, First mit Nord-Süd-Verlauf, Edgeschoß + 4 Vollgeschosse, Dachgeschoß je nach Fragestellung ausgebaut oder unbeheizt. 17 Wohneinheiten (im Schnitt 72,3 m ²), Keller unbeheizt
BGF:	1637,82 m ²
WNFL:	1229,05 m ²
Volumen:	5025,58 m ³
Hüllfläche:	1302,89 m ²
AV-Verhältnis:	0,26
Personenbelegung:	statistisch: 28,9 Personen berücksichtigt: 29 Personen
Parameter:	Innendämmsystem, Stockwerk
Modellraum	SW02 und SW03

1.4.1 Wohneinheiten

Tabelle 11 Kenndaten der untersuchten Wohneinheiten

Wohnung	Raum	NF	NF Summe	BGF Summe	Raumhöhe	Volumen	Summe Volumen
		m ²	m ²	m ²	m	m ³	m ³
Wohnung	NO01	11,13			3,52	39,18	
NO	NO02	20,67			3,52	72,76	
	NO03	8,08			3,52	28,44	
	WC	1	40,88	59,11	3,52	3,52	143,90
Wohnung	SO01	11,86			3,52	41,75	
SO	SO02	26,8			3,52	94,34	
	SO03	14,16			3,52	49,84	
	SO04	16,27			3,52	57,27	
	WC	1	70,09	95,9	3,52	3,52	246,72
Wohnung	SU01	11,03			3,52	38,83	
SU	SU02	17,01			3,52	59,88	
	SU03	26,69	54,73	74,23	3,52	93,95	192,65
Wohnung	SW01	19,45			3,52	68,46	
SW	SW02	13,45			3,52	47,34	
	SW03	23,32			3,52	82,09	
	WC	1	57,22	77,84	3,52	3,52	201,41
Wohnung	NW01	12,37			3,52	43,54	
NW	NW02	24,73			3,52	87,05	
	NW04	15,8	52,9	72,29	3,52	55,62	186,21

Tabelle 12 Fortsetzung Kenndaten der untersuchten Wohneinheiten

Wohnung	Personen bei 42,90 WNF/Person	Personen gerundet	Beh. Brutto Volumen m ³		HWB kWh/m ² a	Heizlast W
Wohnung NO	0,96	1	208,07	von bis	120,91 mit Nachbarbebauung ohne Nachbarbebauung 168,17	2793 3679
Wohnung SO	1,63	2	337,57	von bis	85,25 mit Nachbarbebauung ohne Nachbarbebauung 105,34	3550 4173,5
Wohnung SU	1,28	1	261,29		50,28	3197
Wohnung SW	1,33	1	274,00	von bis	62,18 mit Nachbarbebauung ohne Nachbarbebauung 102,33	2255,5 3267,4
Wohnung NW	1,23	1	254,46		110,62 von mit bis ohne Nachbarb. 164,52	3313,2 4555,7

1.4.2 Testraum SW02

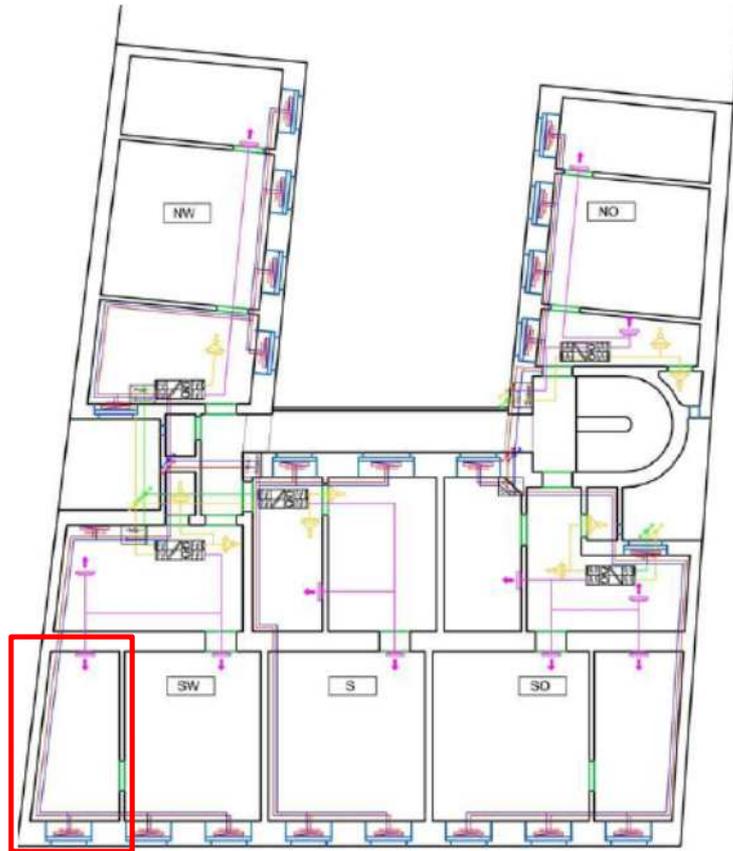


Abb. 5 Modellraum SW02, (Vgl. Novaragasse 49 Machbarkeitsstudie [3]) (o.M.)

Tabelle 13 Wohnraum SW02, Flächenaufstellung

Bauteil	Fläche	Fläche netto	Transparenz	Aufbau	U-Wert	Orientierung
Außenwand Süd	8,72 m ²	7,74 m ²	0	W 48	1,175	180
Parapet	0,98 m ²	-	0	FM 33	1,572	180
Außenwand West	16,87 m ²	-	0	W 48	1,175	276
Innenwand nord	6,71 m ²	-	0	W 63	0,939	0
Innenwand ost	16,75 m ²	14,65 m ²	0	IW 17	2,439	90
Innentür ost	2,10 m ²	-	0	IT		180
Fensterfläche	2,35 m ²	-	-	-	2,58	180
Fensterrahmen	-	0,97 m ²	0	-	1,24	180
Verglasung	-	1,38 m ²	1	-	2,91	180
Geschossdecke	13,44 m ²	-	0	DE	3,7	-
Boden	13,44 m ²	-	0	BO	3,7	-

Tabelle 14 Wohnraum SW02, berücksichtigte Abmessungen

berücksichtigte Abmessungen*	
l	5,39 m
b	2,48 m
h	3,10 m
Fläche	13,37 m ²
Vol	41,44 m ³

*Innenabmessungen
bei Wänden inkl. Fenster- und Rahmen-
und Parapetfläche, inkl. Innentüren

Tabelle 15 Wohnraum SW02, Flächenaufstellung nach Geschoßen

		EG	OG1/OG2	OG3/OG4
W1	MM	6,71 m ²	6,71 m ²	6,71 m ²
W2	IW17	16,75 m ²	17,22 m ²	17,68 m ²
W3	AW	8,72 m ²	8,72 m ²	8,72 m ²
W4	FM33	16,87 m ²	17,39 m ²	17,80 m ²
BO		13,44 m ²	13,83 m ²	14,19 m ²
DE		13,44 m ²	13,83 m ²	14,19 m ²
Länge		5,39	5,54	5,69
Breite		2,48	2,48	2,48
Anzahl FE		1	1	1

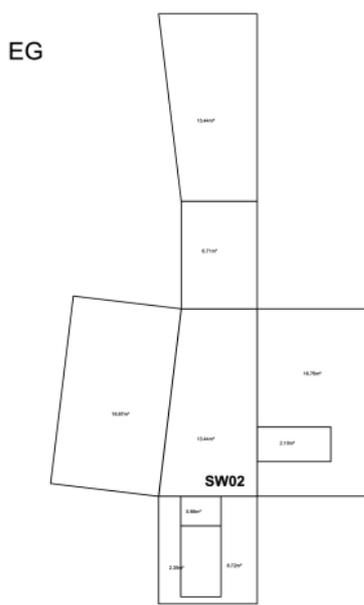


Abbildung 6 Abwicklung
Modellraum SW02, Erdgeschoß
(o.M.)



Abbildung 7 Abwicklung
Modellraum SW02, 1. und 2.
Obergeschoß (o.M.)

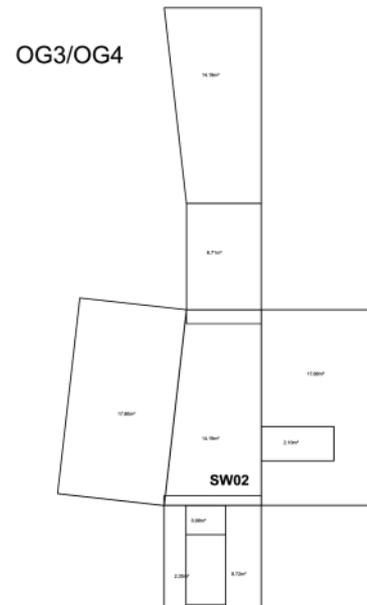


Abbildung 8 Abwicklung
Modellraum SW02, 3. und 4.
Obergeschoß (o.M.)

1.4.3 Testraum SW03

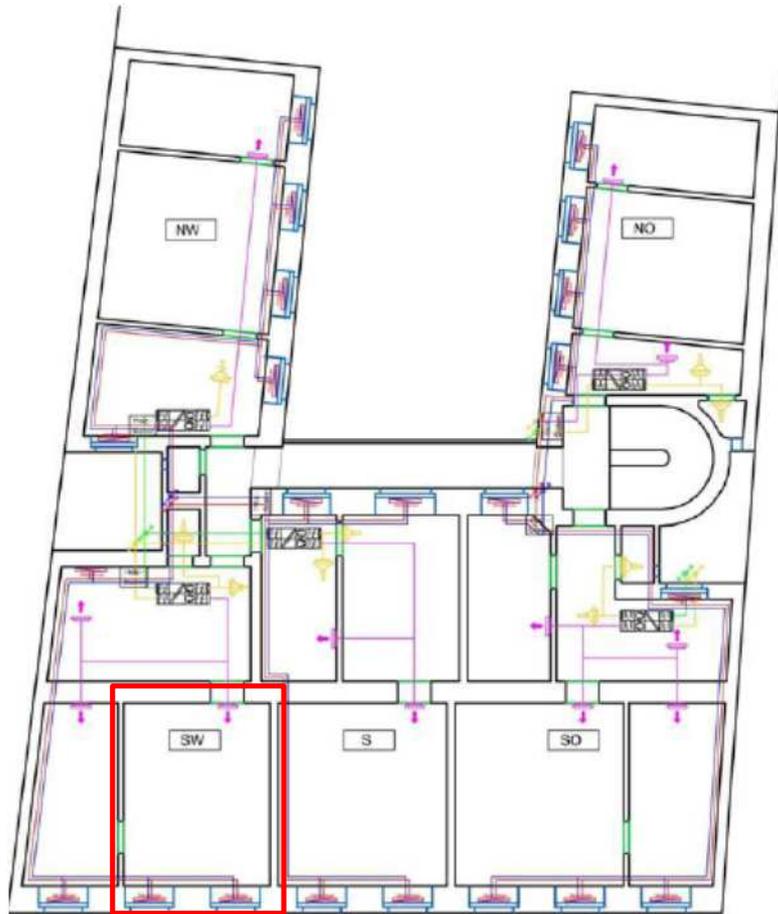


Abb. 9 Modellraum SW03, (Vgl. Novaragasse 49 Machbarkeitsstudie [3]) (o.M.)

Tabelle 16 Wohnraum SW03, Flächenaufstellung

Bauteil	Fläche	Fläche netto	Transparenz	Aufbau	U-Wert	Orientierung
Außenwand Süd	13,38 m ²	11,42 m ²	0	W 48	1,175	180
Parapet	1,96 m ²	-	0	FM 33	1,572	180
Wohnungstrennw. Ost	16,75 m ²	-	0	WTW 32	1,603	90
Innenwand nord	13,38 m ²	11,28 m ²	0	W 63	0,939	0
Innenwand west	16,75 m ²	14,65 m ²	0	IW 17	2,439	270
Innentür nord	2,10 m ²		0	IT	-	0
Innentür west	2,10 m ²		0	IT	-	180
Fensterfläche	4,70 m ²		-	-	2,58	180
Fensterrahmen	-	0,97 m ²	0	-	1,24	180
Verglasung	-	1,38 m ²	1	-	2,91	180
Geschossdecke	23,32 m ²	-	0	DE	3,7	-
Boden	23,32 m ²	-	0	BO	3,7	-

Tabelle 17 Wohnraum SW03, berücksichtigte Abmessungen

berücksichtigte Abmessungen*:	
l	5,40 m
b	4,31 m
h	3,10 m
Fläche	23,27 m ²
Vol	72,15 m ³

*Innenabmessungen:

bei Wänden inkl. Fenster- und Rahmen- und Parapetfläche, inkl. Innentüren

Tabelle 18 Wohnraum SW03, Flächenaufstellung nach Geschoßen

		EG	OG1/OG2	OG3/OG4
W1	MM	13,38 m ²	13,38 m ²	13,38 m ²
W2	IW17	16,75 m ²	17,22 m ²	17,68 m ²
W3	AW	13,38 m ²	13,38 m ²	13,38 m ²
W4	FM33	16,75 m ²	17,22 m ²	17,68 m ²
BO		23,32 m ²	23,97 m ²	24,62 m ²
DE		23,32 m ²	23,97 m ²	24,62 m ²
Länge		5,4	5,65	5,7
Breite		4,31	4,31	4,31
Anzahl FE		2	2	2



Abbildung 10 Abwicklung
Modellraum SW03, Erdgeschoß
(o.M.)

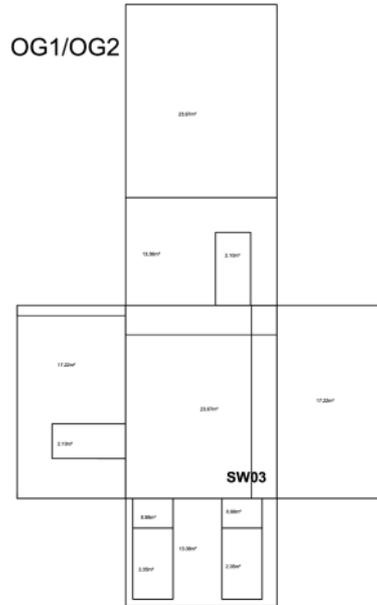


Abbildung 11 Abwicklung
Modellraum SW03, 1. und 2.
Obergeschoß (o.M.)

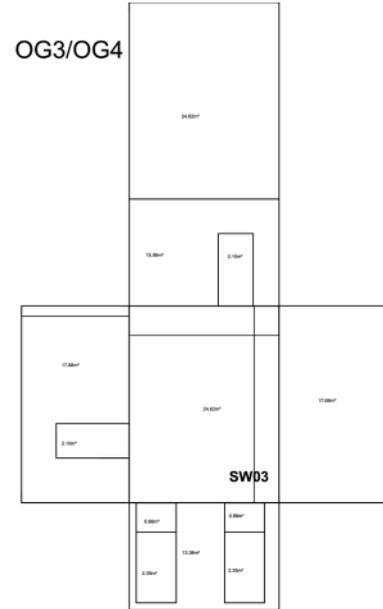


Abbildung 12 Abwicklung
Modellraum SW03, 3. und 4.
Obergeschoß (o.M.)

2 Anhang B – Konstruktionen

2.1 Vollziegelmauerwerk

Die Analyse des sommerlichen Temperaturverhaltens mittels Simulation wird an Bestands-Konstruktionen in Ziegelbauweise durchgeführt. Da für die Formulierung allgemeingültiger Planungsempfehlungen möglichst repräsentative Konstruktionen erforderlich sind, werden für die Prototypenentwicklung Bebauungsbestimmungen, Benchmarks und statistische Daten herangezogen. Zur Weiterbearbeitung werden die Konstruktionen jeweils grafisch aufbereitet und die Bauteile nach Eigenschaften wie Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmespeicherkapazität, Diffusionswiderstand, u.ä. in Tabellen erfasst. Für die Sommertauglichkeitsberechnungen herangezogene bauphysikalische Materialkennwerte wie etwa die Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK], die Dichte ρ [kg/m³] und spezifische Wärmekapazität c [J/kgK] entstammen der Onlineversion des IBO Passivhaus Bauteilkatalogs [4], den Materialdatenbibliotheken des Programmpakets Delphin [5] sowie ArchiPHYSIK 9 05/2011. Im Vorfeld werden die verwendeten Kenndaten mit Daten aus der Literatur, hier hauptsächlich mit dem Materialdatenkatalogen [6], dem VDI Wärmeatlas [7] und dem Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen [8], der ÖNorm EN 12524 [9], der DIN 4108-4 [10] und Produktdatenblättern abgestimmt. Für die Berechnungen werden die Wanddicken von ‚Tramdecke im EG‘ gewählt.

Tabelle 19: Bestandskonstruktion Ziegelmauerwerk Gründerzeit nach Geschoßen

	Gesamtmauer- dicke [cm]	U-Wert [W/m ² K]	bewertetes Schall- dämmmaß [dB]
Tramdecke im EG			
EG	78	0,782	74,3
1. OG	63	0,939	71,3
2. OG	63	0,939	71,3
3. OG	48	1,175	67,5
4. OG	48	1,175	67,5
Doppelbaumdecke im EG			
EG	108	0,585	78,9
1. OG	93	0,67	76,8
2. OG	78	0,786	74,2
3. OG	63	0,939	71,3
4. OG	48	1,175	67,5
Feuermauer	33	1,572	62,3
Feuermauer	18	2,37	53,8

2.2 Innendämmsysteme

Bei der Einteilung der Innendämmsysteme wird entsprechend WTA Merkblatt 6-5 [11] zwischen Kondensat verhindernden, Kondensat begrenzenden und Kondensat tolerierenden Innendämmsystemen unterschieden.

- Kondensat verhinderndes Innendämmsystem**
 Vermeidung von Tauwasserbildung durch absolut diffusionsdichte Schicht wie z.B. Vakuumdämmung, oder Schaumglas + Kleber und Oberflächenfinish. (ID08 und ID09)
- Kondensat begrenzendes Innendämmsystem**
 Begrenzung der Tauwasserbildung durch diffusionshemmende Schicht. Beispielsweise Mineralwolle + Dampfbremse + Gipskartonplatte + Oberflächenfinish. (nicht untersucht)
- Kondensat tolerierendes Innendämmsystem**
 Management der ggf. vorhandenen Kondensate durch diffusionsoffene bzw. kapillar leitfähige Stoffe. Beispielsweise Calciumsilikat + Kleber + Oberflächenfinish. (ID01 bis ID07).

Nachfolgend sind die Bauteilschichten inklusive der Schichtdicken und Baustoffkennwerte für die untersuchten Innendämmsysteme beschrieben.

Tabelle 20: Innendämmsystem „ID01“ - Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz

ID01	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz	0,015	0,55	1116	1800
ZellulosefaserflockenWände	0,08	0,04	1900	80

Tabelle 21: Innendämmsystem „ID02“ - Perlitedämmplatte mit Innenputz

ID02	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Innenputz	0,01	0,41	1358	1094
Perlitedämmplatte	0,08	0,047	1131	158
Mineralischer Kleber	0,01	0,289	1461	1164

Tabelle 22: Innendämmsystem „ID03“ - Calciumsilikatplatte mit Innenputz

ID03	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Innenputz	0,015	0,41	1358	1094
Calciumsilikatplatte	0,1	0,06	1000	170
Mineralischer Kleber	0,01	0,289	1461	1164

Tabelle 23: Innendämmsystem „ID04“ - Sto in Avero mit Grundputz und Oberputz

ID04	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m³]
Oberputz	0,015	0,097	1200	500
Grundputz	0,005	0,7	900	1600
Sto in Avero	0,06	0,016	1000	150
Mineralischer Kleber	0,01	0,289	1461	1164

Tabelle 24: Innendämmsystem „ID05“ - Sto in Comfort mit Grundputz und Oberputz

ID05	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m³]
Oberputz	0,015	0,097	1200	500
Grundputz	0,005	0,7	900	1600
Sto in Comfort	0,08	0,045	1131	120
Mineralischer Kleber	0,01	0,289	1461	1164

Tabelle 25: Innendämmsystem „ID06“ - Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz

ID06	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m³]
Lehmputz	0,02	0,81	1000	1700
Holzfaserplatte	0,06	0,058	1474	250
Lehmörtel	0,02	0,9	1000	1800

Tabelle 26: Innendämmsystem „ID07“ - Schilf/Strohplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz

ID07	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m³]
Lehmputz	0,02	0,81	1000	1700
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,1	0,056	2000	190
Lehmörtel	0,02	0,9	1000	1800

Tabelle 27: Innendämmsystem „ID08“ - Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz

ID08	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m³]
Innenputz	0,015	0,41	1358	1094
Kaltbitumenkleber	0,002	0,23	1260	1050
Schaumglas	0,08	0,045	840	120
Kaltbitumenkleber	0,002	0,23	1260	1050

Tabelle 28: Innendämmsystem „ID09“ - Vakuumisulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz

ID09	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Innenputz	0,015	0,41	1358	1094
Kaltbitumenkleber	0,002	0,23	1260	1050
VIP	0,02	0,008	1000	190
Kaltbitumenkleber	0,002	0,23	1260	1050

2.3 Bauteile unsaniert

Nachfolgend sind die Bauteilschichten inklusive der Schichtdicken und Baustoffkennwerte für die untersuchte Bestandskonstruktion angeführt, wobei aufgrund der bautechnischen Gegebenheiten zwischen den Geschoßen unterschieden wurde. Die für das sommerliche Temperaturverhalten relevanten Bauteilkennwerten sind für die jeweiligen Bauteile in Tabellenform zusammengefasst.

2.3.1 Außenwand Erdgeschoß – Bestand „EG78“

Tabelle 29: Bauteilschichten und Materialkennwerten – Außenwand Erdgeschoß – Bestand „EG78“

EG (EG Tramdecke) 78	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,74	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 30: Bauteilkennwerten – Außenwand Erdgeschoß – Bestand „EG78“

Außenwand im EG bei Tramdecke im EG									
Dicke des Bauteils			0,78	m					
Flächenbezogene Masse des Bauteils			1250	kg/m ²					
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			1,109	m ² K/W					
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	innen	113,6	kg/m ²	12 h	innen	80,9	kg/m ²	
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	außen	124,1	kg/m ²	12 h	außen	91	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw_a	24 h	innen	8,64	kg/m ²	12 h	innen	12,31	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw_a	24 h	außen	9,45	kg/m ²	12 h	außen	13,85	kg/m ²	
Amplitudendämpfung	24 h		417,9	-	12 h		6801,9	-	
Phasenverschiebung	24 h		1,7	h	12 h		6,2	h	

2.3.2 Außenwand 1. Obergeschoß – Bestand „1OG63“

Tabelle 31: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Außenwand 1. Obergeschoß – Bestand „1OG63“

1 OG 63	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,59	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 32: Bauteilkennndaten – Außenwand 1. Obergeschoß – Bestand „1OG63“

Außenwand im 1 OG bei Tramdecke im EG									
Dicke des Bauteils			0,63	m					
Flächenbezogene Masse des Bauteils			1010	kg/m ²					
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,895	m ² K/W					
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	innen	113,2	kg/m ²	12 h	innen	80,8	kg/m ²	
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	außen	123,6	kg/m ²	12 h	außen	91	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	8,61	kg/m ²	12 h	innen	12,31	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	9,41	kg/m ²	12 h	außen	13,85	kg/m ²	
Amplitudendämpfung	24 h		114,4	-	12 h		1088,7	-	
Phasenverschiebung	24 h		20,8	h	12 h		2,7	h	

2.3.3 Außenwand 2. Obergeschoß – Bestand „2OG63“

Tabelle 33: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Außenwand 2. Obergeschoß – Bestand „2OG63“

2 OG 63	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,59	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 34: Bauteilkennndaten – Außenwand 2. Obergeschoß – Bestand „2OG63“

Außenwand im 2 OG bei Tramdecke im EG								
Dicke des Bauteils			0,63	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			1010	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,895	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	113,2	kg/m ²	12 h	innen	80,8	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	123,6	kg/m ²	12 h	außen	91	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	8,61	kg/m ²	12 h	innen	12,31	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	9,41	kg/m ²	12 h	außen	13,85	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		114,4	-	12 h		1088,7	-
Phasenverschiebung	24 h		20,8	h	12 h		2,7	h

2.3.4 Außenwand 3. Obergeschoß – Bestand „3OG48“

Tabelle 35: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Außenwand 3. Obergeschoß – Bestand „3OG48“

3 OG (EG Tramdecke) 48	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,44	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 36: Bauteilkennndaten – Außenwand 3. Obergeschoß – Bestand „3OG48“

Außenwand im 3 OG bei Tramdecke im EG								
Dicke des Bauteils			0,48	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			770	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,681	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	113,8	kg/m ²	12 h	innen	80,4	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	124,3	kg/m ²	12 h	außen	90,5	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	8,66	kg/m ²	12 h	innen	12,25	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	9,46	kg/m ²	12 h	außen	13,79	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		31,3	-	12 h		174,2	-
Phasenverschiebung	24 h		15,8	h	12 h		11,2	h

2.3.5 Außenwand 4. Obergeschoß – Bestand „4OG48“

Tabelle 37: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Außenwand 4. Obergeschoß – Bestand „4OG48“

4 OG (EG Tramdecke) 48	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,44	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 38: Bauteilkennndaten – Außenwand 4. Obergeschoß – Bestand „4OG48“

Außenwand im 4 OG bei Tramdecke im EG									
Dicke des Bauteils				0,48	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils				770	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände				0,681	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	innen	113,8	kg/m ²	12 h	innen	80,4	kg/m ²	
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	außen	124,3	kg/m ²	12 h	außen	90,5	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen $s_{w,a}$	24 h	innen	8,66	kg/m ²	12 h	innen	12,25	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen $s_{w,a}$	24 h	außen	9,46	kg/m ²	12 h	außen	13,79	kg/m ²	
Amplitudendämpfung	24 h		31,3	-	12 h		174,2	-	
Phasenverschiebung	24 h		15,8	h	12 h		11,2	h	

2.3.6 Feuermauer – Bestand „FM33“

Tabelle 39: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Feuermauer – Bestand „FM33“

Feuermauer 30	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,29	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 40: Bauteilkenndaten – Feuermauer – Bestand „FM33“

Feuermauer 33cm								
Dicke des Bauteils			0,33	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			530	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,466	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	113,2	kg/m ²	12 h	innen	80,8	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	123,7	kg/m ²	12 h	außen	91	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	8,62	kg/m ²	12 h	innen	12,31	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	9,41	kg/m ²	12 h	außen	13,85	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		8,5	-	12 h		27,6	-
Phasenverschiebung	24 h		10,8	h	12 h		7,7	h

2.3.7 Wohnungstrennwand – Bestand „WTW32“

Tabelle 41: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Wohnungstrennwand – Bestand „WTW32“

Wohnungstrennwand 32	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,015	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,29	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 42: Bauteilkenndaten – Wohnungstrennwand – Bestand „WTW32“

Wohnungstrennwand 32cm								
Dicke des Bauteils			0,32	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			512	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,454	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	113,2	kg/m ²	12 h	innen	80,9	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	119,2	kg/m ²	12 h	außen	86,8	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	8,61	kg/m ²	12 h	innen	12,31	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	9,07	kg/m ²	12 h	außen	13,22	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		7,9	-	12 h		24,8	-
Phasenverschiebung	24 h		10,5	h	12 h		7,4	h

2.3.8 Feuermauer – Bestand „FM18“

Tabelle 43: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Feuermauer – Bestand „FM18“

Feuermauer 18	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkzementputz, außen (1800)	0,025	0,8	1100	1800
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,14	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 44: Bauteilkennndaten – Feuermauer – Bestand „FM18“

Feuermauer 18cm									
Dicke des Bauteils			0,18	m					
Flächenbezogene Masse des Bauteils			290	kg/m ²					
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,252	m ² K/W					
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	innen	103,7	kg/m ²	12 h	innen	80,1	kg/m ²	
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$	24 h	außen	114,2	kg/m ²	12 h	außen	90,4	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	7,9	kg/m ²	12 h	innen	12,19	kg/m ²	
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	8,69	kg/m ²	12 h	außen	13,77	kg/m ²	
Amplitudendämpfung		24 h	2,2	-	12 h	4,4	-		
Phasenverschiebung		24 h	5,9	h	12 h	4,2	h		

2.3.9 Innenwand – Bestand „IW17“

Tabelle 45: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Innenwand – Bestand IW17“

Innenwand 17	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,14	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 46: Bauteilkenndaten – Innenwand – Bestand IW17“

Innenwand 17cm								
Dicke des Bauteils			0,17	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			266	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,242	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	102,6	kg/m ²	12 h	innen	79,5	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	102,6	kg/m ²	12 h	außen	79,5	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	7,81	kg/m ²	12 h	innen	12,11	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	7,81	kg/m ²	12 h	außen	12,11	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		2	-	12 h		4	-
Phasenverschiebung	24 h		5,6	h	12 h		4	h

2.3.10 Tramdecke – Bestand

Tabelle 47: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Tramdecke – Bestand

Tramdecke	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz auf Schil-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Holzschalung	0,015	0,13	2340	450
Holz dazwischen Luft	0,2	1,07	1215	73
Schlacke	0,08	0,35	1116	750
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740

2.3.11 Dippelbaumdecke – Bestand

Tabelle 48: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Dippelbaumdecke – Bestand

Dippelbaumdecke(SBTK)	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz auf Schil-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Dippelbaum	0,022	0,13	2340	450
Schüttung	0,06	0,033	880	750
Klinkerziegel	0,04	1,13	2340	450

Tabelle 49: Bauteilkenndaten

Dippelbaumdecke								
Dicke des Bauteils			0,35	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			267,4	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			4,793	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	43,7	kg/m ²	12 h	innen	35,5	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	36,8	kg/m ²	12 h	außen	25,7	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	3,33	kg/m ²	12 h	innen	5,41	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	2,8	kg/m ²	12 h	außen	3,91	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		1840	-	12 h		53240	-
Phasenverschiebung	24 h		6,5	h	12 h		9,4	h

2.3.12 Kappendecke – Bestand

Tabelle 50: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Kappendecke – Bestand

Kappendecke	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz	0,015	1	1116	1800
Ziegelmauerwerk	0,14	0,7	900	1600
Schüttung	0,144	0,35	1116	750
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740

Tabelle 51: Bauteilkenndaten – Kappendecke – Bestand

Kappendecke								
Dicke des Bauteils			0,353	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			395,1	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			4,944	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	133,7	kg/m ²	12 h	innen	91,8	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	55,6	kg/m ²	12 h	außen	42,1	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	10,18	kg/m ²	12 h	innen	13,98	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	4,23	kg/m ²	12 h	außen	6,41	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		659,7	-	12 h		8089,2	-
Phasenverschiebung	24 h		23,3	h	12 h		4,6	h

2.3.13 Tramdecke mit versenkter Schalung – Bestand

Tabelle 52: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Tramdecke mit versenkter Schalung – Bestand

Tramdecke mit versenkter Schalung	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz auf Schil-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Holzschalung	0,015	0,13	2340	450
dazwischen Luft	0,135	1,25	1000	1,2
Holz	0,135	0,13	2340	450
Holz	0,05	0,13	2340	450
dazwischen Luft	0,05	1,25	1000	1,2
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Holz	0,06	0,13	2340	450
dazwischen Schüttung	0,06	0,35	1116	750
Schlacke	0,012	0,35	1116	750
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740

Tabelle 53: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Tramdecke mit versenkter Schalung – Bestand

Tramdecke mit versenkter Schalung	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz auf Schil-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Holzschalung	0,015	0,13	2340	450
Holz dazwischen Luft	0,14	1	1215	73
Holz dazwischen Luft	0,05	1	1295	73
Holzschalung	0,03	0	2340	450
Holz dazwischen Schüttung	0,06	0	1312	702
Schlacke	0,012	0,35	1116	750
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740

2.3.14 Fehlramdecke – Bestand

Tabelle 54: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Fehlramdecke – Bestand

Fehlramdecke	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz auf Schil-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Holzschalung	0,015	0,13	2340	450
dazwischen Luft	0,075	1,25	1000	1,2
Holz	0,075	0,13	2340	450
dazwischen Luft	0,065	1,25	1000	1,2
Holz	0,065	0,13	2340	450
dazwischen Luft	0,155	1,25	1000	1,2
Holz	0,155	0,13	2340	450
Schlacke	0,08	0,35	1116	750
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740

Tabelle 55: Bauteilschichten und Materialkennndaten – Fehlramdecke – Bestand

Fehlramdecke	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz auf Schil-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Holzschalung	0,015	0,13	2340	450
Holz dazwischen Luft	0,075	1,16	1107	37
Holz dazwischen Luft	0,065	0,98	1322	109
Holz dazwischen Luft	0,155	1,07	1215	73
Schlacke	0,08	0,35	1116	750
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740

2.3.15 Kastenfenster – Bestand

Tabelle 56: Bauteilkenndaten – Kastenfenster – Bestand

KF01 Kastenfenster Bestand		
Bezeichnung Materialkatalog	6.108.02	
Uwert-Fenster	2,88	W/m ² K
Uwert-Verglasung	2,91	W/m ² K
Uwert-Rahmen	1,24	W/m ² K
Psi-Wert Glasrandverbund	0,155	W/mK
Energiedurchlassgrad	0,72	
Glasrandverbund	10,02	
Breite	1,09	m
Höhe	1,97	m
Fensterfläche	2,35	m ²
Fensterrahmen	0,97	58,70%
Verglasung	1,38	41,30%

2.3.16 Mittelmauer – Bestand „MM 62“

Tabelle 57: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Mittelmauer – Bestand „MM 62“

Mittelmauer 62	d [m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400
Vollziegelmauerwerk (1600)	0,59	0,7	900	1600
Kalkputz (innen)	0,015	0,7	1130	1400

Tabelle 58: Bauteilkenndaten – Mittelmauer – Bestand „MM 62“

Mittelmauer 62								
Dicke des Bauteils			0,62	m				
Flächenbezogene Masse des Bauteils			1010	kg/m ²				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände			0,895	m ² K/W				
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	innen	113,2	kg/m ²	12 h	innen	80,8	kg/m ²
Flächenspezifische wirksame Masse mw,B,A	24 h	außen	123,6	kg/m ²	12 h	außen	91	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	innen	8,61	kg/m ²	12 h	innen	12,31	kg/m ²
Flächenspezifische Norm-Speichervermögen sw,a	24 h	außen	9,41	kg/m ²	12 h	außen	13,85	kg/m ²
Amplitudendämpfung	24 h		114,4	-	12 h		1088,7	-
Phasenverschiebung	24 h		20,8	h	12 h		2,7	h

2.4 Bauteile thermisch saniert

Nachfolgend sind die Bauteilschichten inklusive der Schichtdicken und Baustoffkennwerte für die untersuchte sanierte Bestandskonstruktion angeführt, wobei aufgrund der bautechnischen Gegebenheiten zwischen den Geschoßen unterschieden wird. Die Bauteilkennwerte sind in den Tabellen Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt, Datenblatt Speicherwirksame Masse und Datenblatt U-Wert dargestellt. Datenblätter und Berechnungen werden exemplarisch anhand von Innendämmsystem „ID07“ abgebildet.

2.4.1 Boden im Erdgeschoß – saniert

Für die untersuchten Modellräume Erdgeschoß wird ein sanierter Fußboden entsprechend Tabelle 59 angenommen.

Tabelle 59: Bauteilschichten und Materialkennwerten – Boden im Erdgeschoß – saniert

<i>Kdu</i>	<i>d [m]</i>	<i>λ [W/mK]</i>	<i>c [J/kgK]</i>	<i>ρ [kg/m³]</i>
Fertigparkett	0,025	0,15	2340	740
Holzschalung	0,025	0,13	2340	450
Schafwolle/Holz	0,05	0,04925	1626	144
Holzfaserplatte	0,02	0,04	2000	160
Schüttung Perlite expandiert verdichtet	0,074	0,05	1000	85
Ziegelmauerwerk	0,14	0,7	900	1600
Kalkputz	0,015	1	1116	1800

2.4.2 Decke über 4. Obergeschoß – saniert

Für die untersuchten Modellräume im 4. Obergeschoß wird von einem nicht ausgebauten, Dachgeschoß, aber von einer gedämmten obersten Geschoßdecke entsprechend Tabelle 60 ausgegangen.

Tabelle 60: Bauteilschichten und Materialkennwerten – Decke über 4. Obergeschoß – saniert

<i>Tdu</i>	<i>d [m]</i>	<i>λ [W/mK]</i>	<i>c [J/kgK]</i>	<i>ρ [kg/m³]</i>
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	0,015	1	1116	1800
Schilf/Strohplatte unverputzt	0,015	0,056	612	190
Doppelbaum	0,022	0,13	2340	450
Schüttung	0,06	0,033	880	750
Klinkerziegel	0,04	1,13	2340	450
Perlite expandiert	0,45	0,05	1000	85
HWL-Porenverschlussplatte	0,025	0,09	1000	450

2.4.3 Kastenfenster saniert mit Wiener-Komfort-Fenster (Innenflügel 2SVG)

Für die Modellräume werden für die sanierten Varianten Kastenfenster Wiener-Komfort-Fenster mit Innenflügel 2SVG entsprechend den in Tabelle 61 dargestellten Kenngrößen festgelegt.

Tabelle 61: Bauteilkennndaten – Kastenfenster – saniert

KF02 Kastenfenster Wiener-Komfort-Fenster (Innenflügel 2SVG)		
Bezeichnung Materialkatalog		
Uwert-Fenster	1,3	W/m ² K
Uwert-Verglasung	1,02	W/m ² K
Uwert-Rahmen	1,24	W/m ² K
Psi-Wert Glasrandverbund	0,043	W/mK
Energiedurchlassgrad	0,58	
Glasrandverbund	10,02	
Breite	1,09	m
Höhe	1,97	m
Fensterfläche	2,35	m ²
Fensterrahmen	0,97	58,70%
Verglasung	1,38	41,30%

Tabelle 64: Speicherwirksame Masse Außenwand Erdgeschoß „EG 78“ + Innendämmung „ID07“

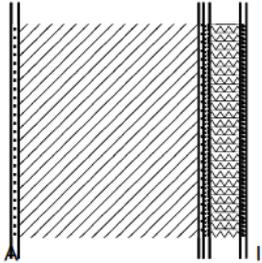
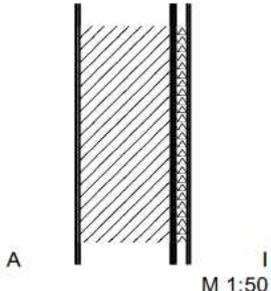
<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="text-align: center;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="text-align: center;">Speichermasse von opaken Bauteilen</h3>								
Objekt Innendämmung_Aufbauten			Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center;">   </div>					
Auftraggeber Firma/Nachname								
Bauteilbezeichnung 1 u. 2 OG + ID07 63 + 14		Bauteil Nr. ID07	 <p style="text-align: right;">M 1:20</p>					
Bauteiltyp Außenwand		AW						
Speicherwirksame Masse innen, 24 Stunden		$m_{w,B,A}$	33,58 [kg/m²]					
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Baustoffschichten			d	λ	c	ρ	$\rho \cdot d$	
von außen nach innen			Dicke	Leitfähigkeit	Spez. Wärme	Dichte	Flächengewicht	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	[kJ/kg K]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	
1	Kalkzementputz, außen (1800) ●		0,0250	0,800	1,100	1.800,0	45,0	
2	Vollziegelmauerwerk (1600) ●		0,5900	0,700	0,900	1.600,0	944,0	
3	Kalkputz (innen) ●		0,0150	0,700	1,130	1.400,0	21,0	
4	Lehmmörtel ●	baubo	0,0200	0,900	1,000	1.800,0	36,0	
5	Schilfdämmplatte ●	baubo	0,1000	0,056	2,000	190,0	19,0	
6	Lehmputz ●	baubo	0,0200	0,810	1,000	1.700,0	34,0	
Dicke des Bauteils			0,770					
Flächenbezogene Masse des Bauteils							1.099,0	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR					2,728		[m ² K/W]	
			24 Stunden		12 Stunden			
			innen	außen	innen	außen		
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$			33,5	124,3	32,8	91,0	[kg/m ²]	
Flächenspezifisches Norm-Speichervermögen $S_{w,a}$			2,55	9,46	5,00	13,85	[W/(m ² K)]	
Amplitudendämpfung			681,2		13.619,8		[-]	
Phasenverschiebung			2,6		6,0		[h]	
<p>Die flächenspezifische speicherwirksame Masse des Bauteiles wurde mittels Rechenverfahren des Forschungsprojektes F 340 ermittelt. Dieses Rechenverfahren gilt gemäß ONORM B 8110, Teil 3 als geeignet.</p> <p>Die speicherwirksame Masse (in kg) beschreibt dieselbe Eigenschaft wie die wirksame Speicherkapazität (in J/K) und wird nur wegen der besonderen Anschaulichkeit verwendet.</p>								

Tabelle 65: U-Wert-Berechnung Außenwand Erdgeschoß „EG 78“ + Innendämmung „ID07“

<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="text-align: center;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="text-align: center;">U-Wert von opaken Bauteilen</h3>									
Objekt Innendämmung_Aufbauten				Verfasser der Unterlagen  					
Auftraggeber Firma/Nachname									
Bauteilbezeichnung EG + ID07 78 + 14			Bauteil Nr. ID07						
Bauteiltyp Außenwand			AW						
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert			0,32 [W / (m²K)]						
			erforderlich	0,35 [W / (m²K)]					
Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen	ID	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d		
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg / m³]	Flächengewicht [kg / m²]	
	Bezeichnung	kurz							
1	Kalkzementputz, außen (1800)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0250	0,800	0,031	1.800,0	45,0	
2	Vollziegelmauerwerk (1600)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,7400	0,700	1,057	1.600,0	1.184,0	
3	Kalkputz (innen)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	0,700	0,021	1.400,0	21,0	
4	Lehmmörtel	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,900	0,022	1.800,0	36,0	
5	Schilfdämmplatte	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,1000	0,056	1,786	190,0	19,0	
6	Lehmputz	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,810	0,025	1.700,0	34,0	
Dicke des Bauteils				0,920					
Flächenbezogene Masse des Bauteils							1.339,0		
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						2,942	[m²K/W]		
					R _{si} , R _{se}				
					Koeffizient	Widerstand			
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen					7,692	0,130			
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen					25,000	0,040			
Summe der Wärmeübergangswiderstände R _{si} + R _{se}					0,170		[m²K/W]		
Wärmedurchgangswiderstand					R _T = R _{si} + $\sum R_t$ + R _{se}		3,112 [m²K/W]		
Wärmedurchgangskoeffizient					U = 1/R _T		0,321 [W / (m²K)]		

ArchiPHYSIK 10.0.0.060 - lizenziert für IBO GmbH

TS

05.06.2014

Tabelle 68: Speicherwirksame Masse Außenwand 2. Obergeschoß „AW OG2 63“ + Innendämmung „ID07“

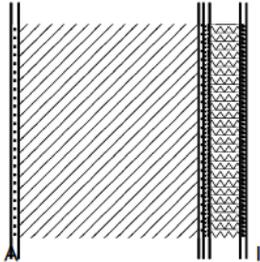
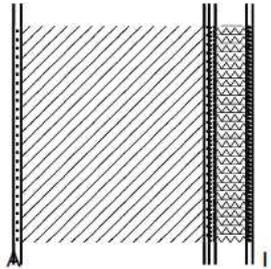
Nachweis des Wärmeschutzes							
OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)							
Speichermasse von opaken Bauteilen							
Objekt Innendämmung_Aufbauten			Verfasser der Unterlagen				
Auftraggeber Firma/Nachname							
Bauteilbezeichnung 1 u. 2 OG + ID07 63 + 14		Bauteil Nr. ID07					
Bauteiltyp Außenwand		AW					
Speicherwirksame Masse innen, 24 Stunden		$m_{w,B,A}$ 33,58 [kg/m²]					
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
Baustoffschichten			d	λ	c	ρ	$\rho \cdot d$
von außen nach innen			Dicke	Leitfähigkeit	Spez. Wärme	Dichte	Flächengewicht
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	[kJ/kg K]	[kg/m ³]	[kg/m ²]
1	Kalkzementputz, außen (1800) ●		0,0250	0,800	1,100	1.800,0	45,0
2	Vollziegelmauerwerk (1600) ●		0,5900	0,700	0,900	1.600,0	944,0
3	Kalkputz (innen) ●		0,0150	0,700	1,130	1.400,0	21,0
4	Lehmmörtel ●	baubo	0,0200	0,900	1,000	1.800,0	36,0
5	Schilfdämmplatte ●	baubo	0,1000	0,056	2,000	190,0	19,0
6	Lehmputz ●	baubo	0,0200	0,810	1,000	1.700,0	34,0
Dicke des Bauteils			0,770				
Flächenbezogene Masse des Bauteils							1.099,0
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR					2,728		[m ² K/W]
			24 Stunden		12 Stunden		
			innen	außen	innen	außen	
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$			33,5	124,3	32,8	91,0	[kg/m ²]
Flächenspezifisches Norm-Speichervermögen $S_{w,a}$			2,55	9,46	5,00	13,85	[W/(m ² K)]
Amplitudendämpfung			681,2		13.619,8		[-]
Phasenverschiebung			2,6		6,0		[h]
<p>Die flächenspezifische speicherwirksame Masse des Bauteiles wurde mittels Rechenverfahren des Forschungsprojektes F 340 ermittelt. Dieses Rechenverfahren gilt gemäß ONORM B 8110, Teil 3 als geeignet.</p> <p>Die speicherwirksame Masse (in kg) beschreibt dieselbe Eigenschaft wie die wirksame Speicherkapazität (in J/K) und wird nur wegen der besonderen Anschaulichkeit verwendet.</p>							

Tabelle 69: U-Wert-Berechnung Außenwand 2. Obergeschoß „AW OG2 63“ + Innendämmung „ID07“

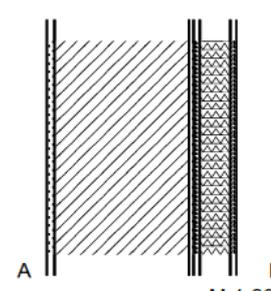
<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="text-align: center;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="text-align: center;">U-Wert von opaken Bauteilen</h3>									
Objekt Innendämmung_Aufbauten			Verfasser der Unterlagen 						
Auftraggeber Firma/Nachname									
Bauteilbezeichnung 1 u. 2 OG + ID07 63 + 14		Bauteil Nr. ID07	 <p style="text-align: right;">M 1:20</p>						
Bauteiltyp Außenwand		AW							
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,35 [W / (m²K)]							
		erforderlich	0,35 [W / (m²K)]						
Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen	ID	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d		
				Dicke	Leitfähigkeit	Durchlassw.	Dichte	Flächengewicht	
	Bezeichnung	kurz		[m]	[W/m K]	[m²K/W]	[kg / m³]	[kg / m²]	
1	Kalkzementputz, außen (1800)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0250	0,800	0,031	1.800,0	45,0	
2	Vollziegelmauerwerk (1600)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5900	0,700	0,843	1.600,0	944,0	
3	Kalkputz (innen)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	0,700	0,021	1.400,0	21,0	
4	Lehmmörtel	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,900	0,022	1.800,0	36,0	
5	Schilfdämmplatte	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,1000	0,056	1,786	190,0	19,0	
6	Lehmputz	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,810	0,025	1.700,0	34,0	
Dicke des Bauteils				0,770					
Flächenbezogene Masse des Bauteils							1.099,0		
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						2,728	[m²K/W]		
					R _{si} , R _{se}				
					Koeffizient	Widerstand			
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen					7,692	0,130			
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen					25,000	0,040			
Summe der Wärmeübergangswiderstände R _{si} + R _{se}					0,170		[m²K/W]		
Wärmedurchgangswiderstand					R _T = R _{si} + $\sum R_t$ + R _{se}		2,898 [m²K/W]		
Wärmedurchgangskoeffizient					U = 1/R _T		0,345 [W / (m²K)]		

ArchiPHYSIK 10.0.0.060 - lizenziert für IBO GmbH

TS

05.06.2014

Tabelle 72: Speicherwirksame Masse Außenwand 4. Obergeschoß „AW OG4 44“ + ID „ID07“

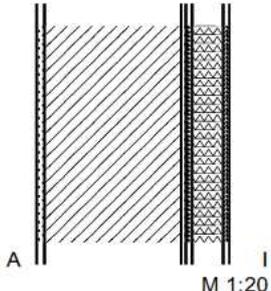
<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="text-align: center;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="text-align: center;">Speichermasse von opaken Bauteilen</h3>								
Objekt Innendämmung_Aufbauten			Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center;">   </div>					
Auftraggeber Firma/Nachname								
Bauteilbezeichnung 3 u. 4 OG + ID07 48 + 14		Bauteil Nr. ID07						
Bauteiltyp Außenwand		AW						
Speicherwirksame Masse innen, 24 Stunden		$m_{w,B,A}$ 33,47 [kg/m²]						
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Baustoffschichten			d	λ	c	ρ	$\rho \cdot d$	
von außen nach innen			Dicke	Leitfähigkeit	Spez. Wärme	Dichte	Flächengewicht	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	[kJ/kg K]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	
1	Kalkzementputz, außen (1800) ●		0,0250	0,800	1,100	1.800,0	45,0	
2	Vollziegelmauerwerk (1600) ●		0,4400	0,700	0,900	1.600,0	704,0	
3	Kalkputz (innen) ●		0,0150	0,700	1,130	1.400,0	21,0	
4	Lehmmörtel ●	baubo	0,0200	0,900	1,000	1.800,0	36,0	
5	Schilfdämmplatte ●	baubo	0,1000	0,056	2,000	190,0	19,0	
6	Lehmputz ●	baubo	0,0200	0,810	1,000	1.700,0	34,0	
Dicke des Bauteils			0,620					
Flächenbezogene Masse des Bauteils								859,0
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR					2,514		[m ² K/W]	
			24 Stunden		12 Stunden			
			innen	außen	innen	außen		
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$			33,4	124,3	32,8	91,0	[kg/m ²]	
Flächenspezifisches Norm-Speichervermögen $S_{w,a}$			2,54	9,46	5,00	13,85	[W/(m ² K)]	
Amplitudendämpfung			186,4		2.179,9		[-]	
Phasenverschiebung			21,6		2,5		[h]	
<p>Die flächenspezifische speicherwirksame Masse des Bauteiles wurde mittels Rechenverfahren des Forschungsprojektes F 340 ermittelt. Dieses Rechenverfahren gilt gemäß ONORM B 8110, Teil 3 als geeignet.</p> <p>Die speicherwirksame Masse (in kg) beschreibt dieselbe Eigenschaft wie die wirksame Speicherkapazität (in J/K) und wird nur wegen der besonderen Anschaulichkeit verwendet.</p>								

ArchiPHYSIK 10.0.0.060 - lizenziert für IBO GmbH

TS

05.06.2014

Tabelle 73: U-Wert-Berechnung Außenwand 4. Obergeschoß „AW OG4 44“ + Innendämmung „ID07“

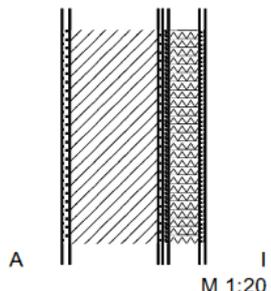
<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="text-align: center;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="text-align: center;">U-Wert von opaken Bauteilen</h3>								
Objekt Innendämmung_Aufbauten				Verfasser der Unterlagen 				
Auftraggeber Firma/Nachname								
Bauteilbezeichnung 3 u. 4 OG + ID07 48 + 14			Bauteil Nr. ID07					
Bauteiltyp Außenwand			AW					
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert			0,37 [W / (m²K)]					
			erforderlich	0,35 [W / (m²K)]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen	ID	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d	
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg / m³]	Flächengewicht [kg / m²]
Bezeichnung	kurz							
1	Kalkzementputz, außen (1800)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0250	0,800	0,031	1.800,0	45,0
2	Vollziegelmauerwerk (1600)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,4400	0,700	0,629	1.600,0	704,0
3	Kalkputz (innen)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	0,700	0,021	1.400,0	21,0
4	Lehmmörtel	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,900	0,022	1.800,0	36,0
5	Schilfdämmplatte	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,1000	0,056	1,786	190,0	19,0
6	Lehmputz	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,810	0,025	1.700,0	34,0
Dicke des Bauteils				0,620				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								859,0
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						2,514	[m²K/W]	
					R _{si} , R _{se}			
					Koeffizient	Widerstand		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen				7,692		0,130		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen				25,000		0,040		
Summe der Wärmeübergangswiderstände				R _{si} + R _{se}		0,170		[m²K/W]
Wärmedurchgangswiderstand				R _T = R _{si} + $\sum R_t$ + R _{se}		2,684		[m²K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient				U = 1/R _T		0,373		[W / (m²K)]

ArchiPHYSIK 10.0.0.060 - lizenziert für IBO GmbH

TS

05.06.2014

Tabelle 76: Speicherwirksame Masse Feuermauer „FM33“ + Innendämmung „ID07“

<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="text-align: center;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="text-align: center;">Speichermasse von opaken Bauteilen</h3>								
Objekt Innendämmung_Aufbauten			Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center;">   <small>Green Building Institute für Bauwesen & Energie GmbH</small> </div>					
Auftraggeber Firma/Nachname								
Bauteilbezeichnung FM33 + ID07 33 + 14		Bauteil Nr. ID07						
Bauteiltyp Außenwand		AW						
Speicherwirksame Masse innen, 24 Stunden		$m_{w,B,A}$ 33,62 [kg/m²]						
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Baustoffschichten			d	λ	c	ρ	$\rho \cdot d$	
von außen nach innen			Dicke	Leitfähigkeit	Spez. Wärme	Dichte	Flächengewicht	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	[kJ/kg K]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	
1	Kalkzementputz, außen (1800) ●		0,0250	0,800	1,100	1.800,0	45,0	
2	Vollziegelmauerwerk (1600) ●		0,2900	0,700	0,900	1.600,0	464,0	
3	Kalkputz (innen) ●		0,0150	0,700	1,130	1.400,0	21,0	
4	Lehmmörtel ●	baubo	0,0200	0,900	1,000	1.800,0	36,0	
5	Schilfdämmplatte ●	baubo	0,1000	0,056	2,000	190,0	19,0	
6	Lehmputz ●	baubo	0,0200	0,810	1,000	1.700,0	34,0	
Dicke des Bauteils			0,470					
Flächenbezogene Masse des Bauteils							619,0	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR					2,299		[m ² K/W]	
			24 Stunden		12 Stunden			
			innen	außen	innen	außen		
Flächenspezifische wirksame Masse $m_{w,B,A}$			33,6	123,9	32,7	91,0	[kg/m ²]	
Flächenspezifisches Norm-Speichervermögen $S_{w,a}$			2,55	9,43	4,98	13,85	[W/(m ² K)]	
Amplitudendämpfung			50,8		345,9		[-]	
Phasenverschiebung			16,7		11,0		[h]	
<small>Die flächenspezifische speicherwirksame Masse des Bauteiles wurde mittels Rechenverfahren des Forschungsprojektes F 340 ermittelt. Dieses Rechenverfahren gilt gemäß ONORM B 8110, Teil 3 als geeignet. Die speicherwirksame Masse (in kg) beschreibt dieselbe Eigenschaft wie die wirksame Speicherkapazität (in J/K) und wird nur wegen der besonderen Anschaulichkeit verwendet.</small>								

ArchiPHYSIK 10.0.0.060 - lizenziert für IBO GmbH

TS

05.06.2014

Tabelle 77: U-Wert-Berechnung Feuermauer „FM33“ + Innendämmung „ID07“

<h2 style="margin: 0;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="margin: 0;">OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="margin: 0;">U-Wert von opaken Bauteilen</h3>								
Objekt Innendämmung_Aufbauten				Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center;"> </div>				
Auftraggeber Firma/Nachname								
Bauteilbezeichnung FM33 + ID07 33 + 14			Bauteil Nr. ID07					
Bauteiltyp Außenwand			AW					
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert			0,41 [W / (m²K)]					
			erforderlich	0,35 [W / (m²K)]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen	ID	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d	
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg / m³]	Flächengewicht [kg / m²]
Bezeichnung	kurz							
1	Kalkzementputz, außen (1800)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0250	0,800	0,031	1.800,0	45,0
2	Vollziegelmauerwerk (1600)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2900	0,700	0,414	1.600,0	464,0
3	Kalkputz (innen)	●	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	0,700	0,021	1.400,0	21,0
4	Lehmmörtel	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,900	0,022	1.800,0	36,0
5	Schilfdämmplatte	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,1000	0,056	1,786	190,0	19,0
6	Lehmputz	●	bauboo <input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	0,810	0,025	1.700,0	34,0
Dicke des Bauteils				0,470				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								619,0
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						2,299		[m²K/W]
					R_{si}, R_{se}			
					Koeffizient	Widerstand		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen					7,692	0,130		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen					25,000	0,040		
Summe der Wärmeübergangswiderstände $R_{si} + R_{se}$					0,170		[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$					2,469		[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T$					0,405		[W / (m²K)]	

ArchiPHYSIK 10.0.0.060 - lizenziert für IBO GmbH

TS

05.06.2014

3 Anhang C – Klimadaten

3.1 Innenraumklimata nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12]

- „**IK01**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit geringer Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12], Tabelle 2
- „**IK02**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit normaler Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12], Tabelle 2
- „**IK03**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12], Tabelle 2

3.2 Extreme Innenraumklimata auf Basis „hohe Feuchtelast“ nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12]

- „**IK04**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12], Tabelle 2 wobei die Temperaturkurve um 3 °C nach Oben verschoben wird (entspricht „IK03“ + 3 °C)
- „**IK05**“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [12], Tabelle 2 wobei auf die Feuchtwerte 10 % relative Feuchte addiert werden (entspricht „IK03“ + 10 % relative Feuchte)

3.3 Innenraumklimata nach EN 15026 [13] und WTA Merkblatt 6-2-14/D [14]

- „**IK06**“, Raumlufttemperaturen nach WTA Merkblatt 6-2-14 [14] und relative Feuchte der Raumluft nach EN 15026 [13] Profil A (entspricht auch WTA 6-2-14 „normale Feuchtelast“)
- „**IK07**“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [13], mit relativer Feuchte nach EN 15026 [13] Profil B (entspricht auch WTA 6-2-14 hohe Feuchtelast)
- „**IK08**“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [13], mit relativer Feuchte „normale Belegung“ +5 % nach WTA 6-2-14 [14]
- „**IK09**“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [13], mit relativer Feuchte „niedrige Belegung“ nach WTA 6-2-14 [14]

3.4 Raumklimabedingungen nach EN 13788 [15]

- „**IK10**“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [15], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil A
- „**IK11**“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [15], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil B

3.5 Raumklimabedingungen aus den Ergebnissen der Gebäudesimulation

Bestand „V1“

- „IK12“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW01
- „IK13“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW02
- „IK14“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW03

Sanierung Minimal „V2“

- „IK15“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW01
- „IK16“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW02
- „IK17“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW03

Sanierung OIB „V3“

- „IK18“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW01
- „IK19“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW02
- „IK20“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW03

Sanierung Maximal „V4“

- „IK21“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW01
- „IK22“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW02
- „IK23“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW03

Sanierung Enerphit „V5“

- „IK24“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW01
- „IK25“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW02
- „IK26“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW03

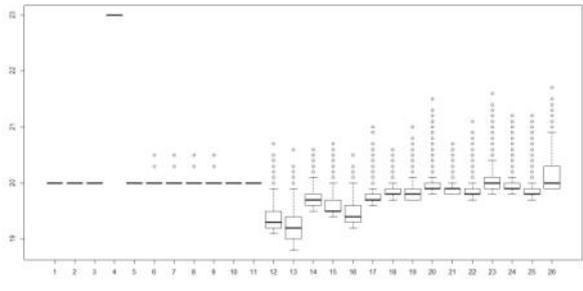


Abbildung 13 Innenraumklimata, Temperatur im Jänner

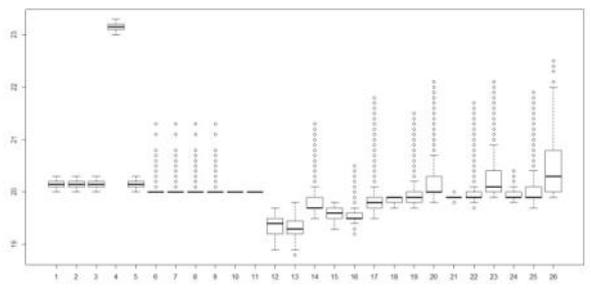


Abbildung 14 Innenraumklimata, Temperatur im Februar

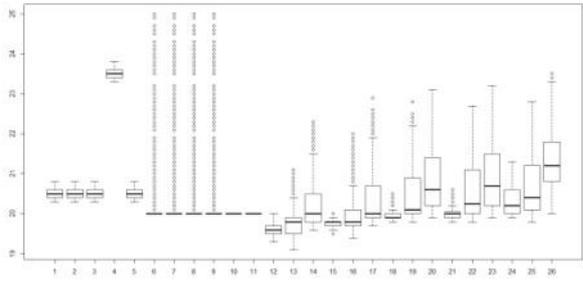


Abbildung 15 Innenraumklimata, Temperatur im März

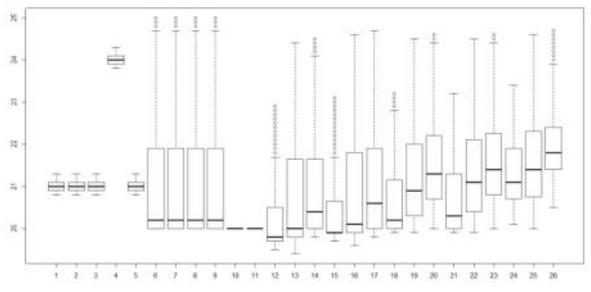


Abbildung 16 Innenraumklimata, Temperatur im April

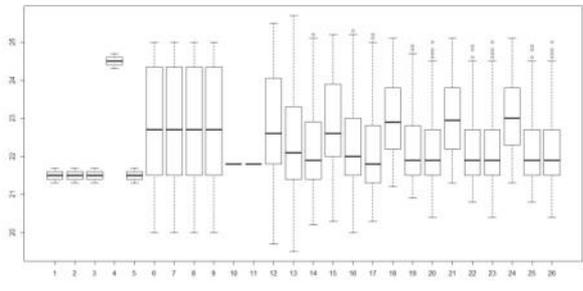


Abbildung 17 Innenraumklimata, Temperatur im Mai

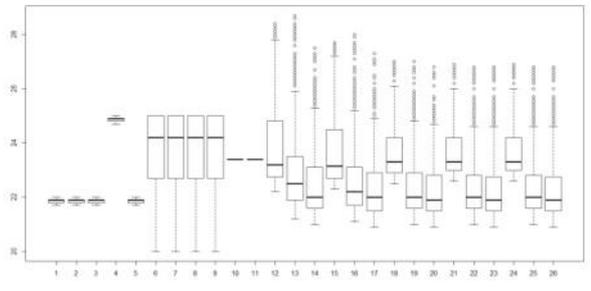


Abbildung 18 Innenraumklimata, Temperatur im Juni

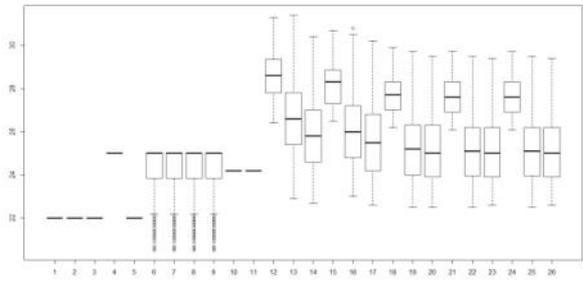


Abbildung 19 Innenraumklimata, Temperatur im Juli

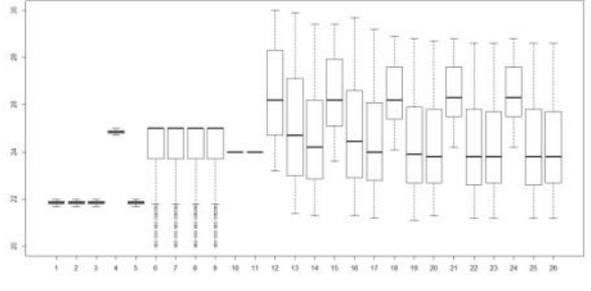


Abbildung 20 Innenraumklimata, Temperatur im August

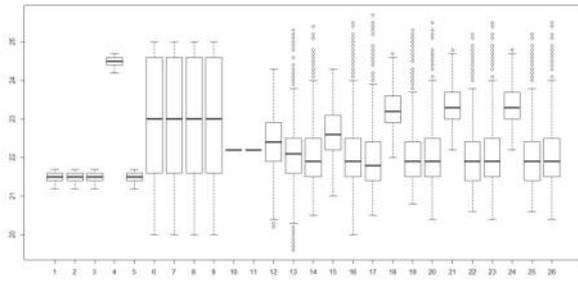


Abbildung 21 Innenraumklimata, Temperatur im September

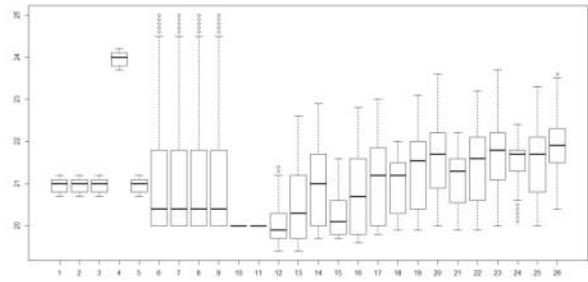


Abbildung 22 Innenraumklimata, Temperatur im Oktober

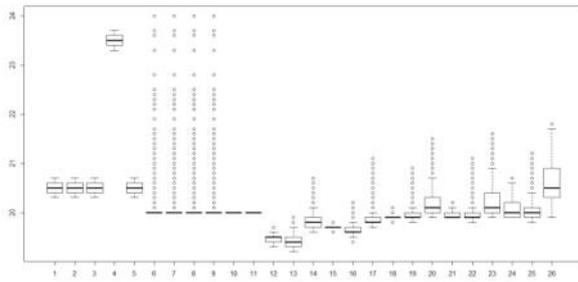


Abbildung 23 Innenraumklimata, Temperatur im November

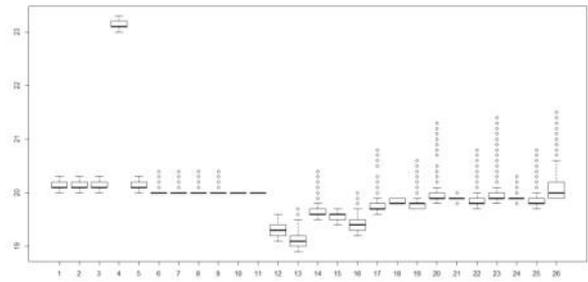


Abbildung 24 Innenraumklimata, Temperatur im Dezember

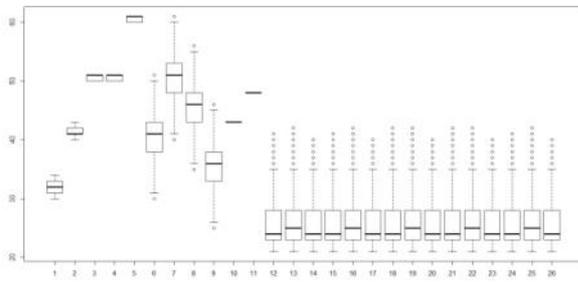


Abbildung 25 Innenraumklimata, relative Feuchte im Jänner

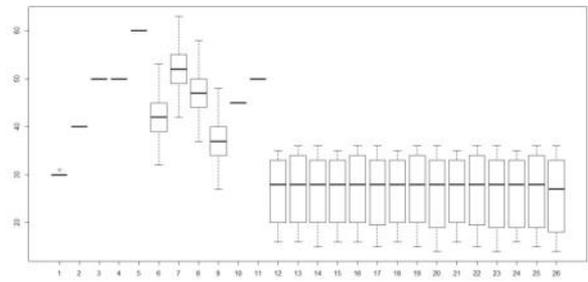


Abbildung 26 Innenraumklimata, relative Feuchte im Februar

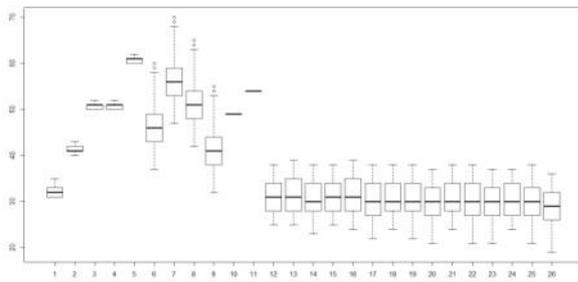


Abbildung 27 Innenraumklimata, relative Feuchte im März

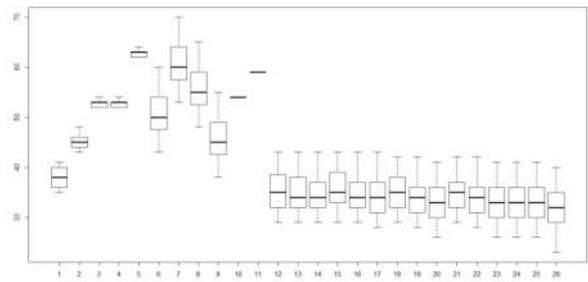


Abbildung 28 Innenraumklimata, relative Feuchte im April

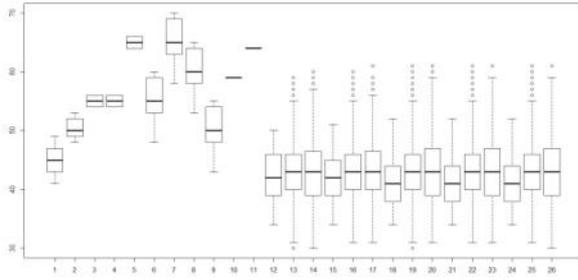


Abbildung 29 Innenraumklimata, relative Feuchte im Mai

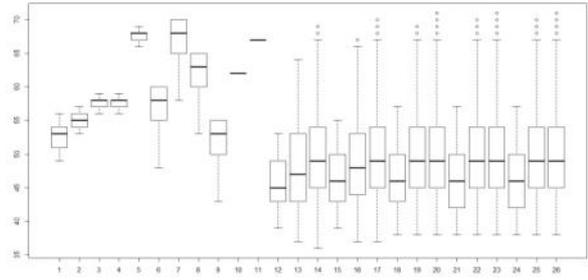


Abbildung 30 Innenraumklimata, relative Feuchte im Juni

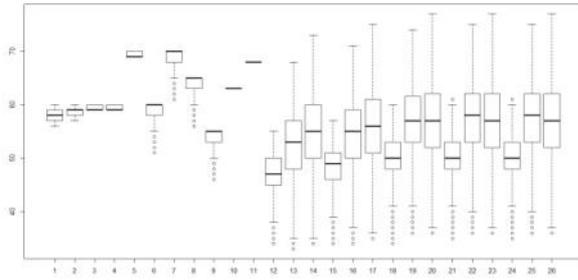


Abbildung 31 Innenraumklimata, relative Feuchte im Juli

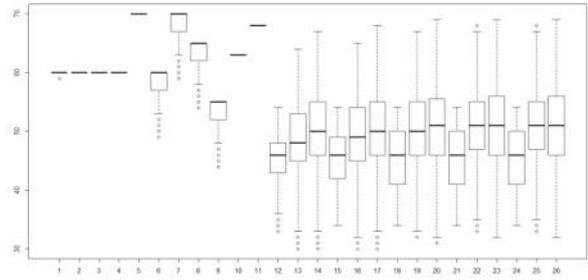


Abbildung 32 Innenraumklimata, relative Feuchte im August

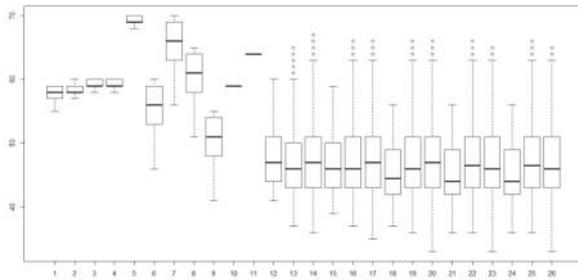


Abbildung 33 Innenraumklimata, relative Feuchte im September

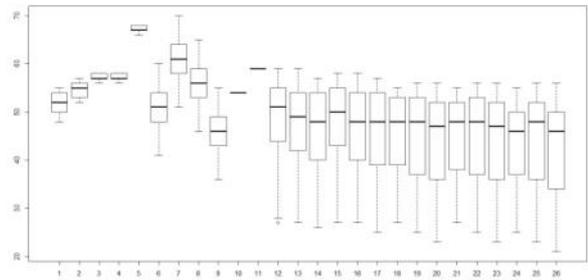


Abbildung 34 Innenraumklimata, relative Feuchte im Oktober

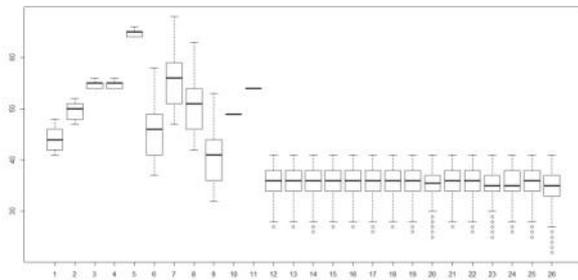


Abbildung 35 Innenraumklimata, relative Feuchte im November

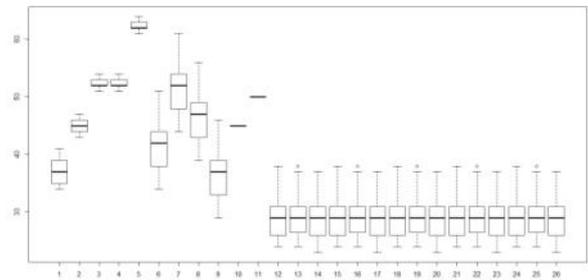
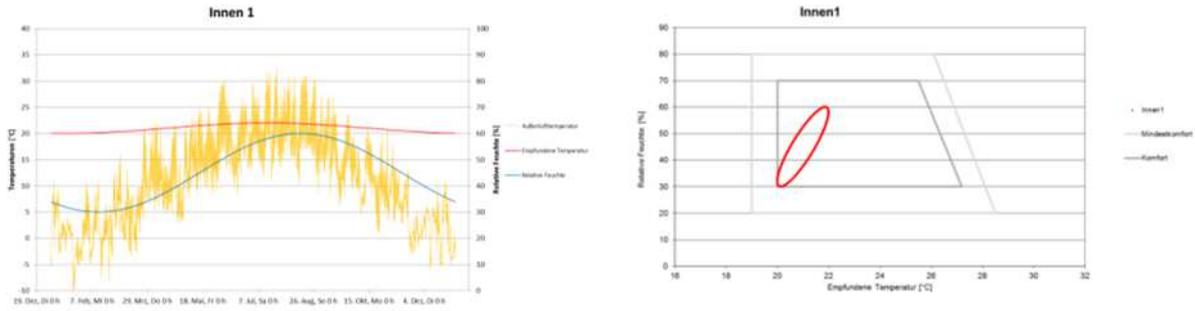


Abbildung 36 Innenraumklimata, relative Feuchte im Dezember

Abbildung 37 „IK01“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit geringer Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2



Zeitraum	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,30	21,00	21,00	21,70	22,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,10	20,15	20,16	20,20	20,30
März	20,30	20,40	20,50	20,52	20,60	20,80
April	20,80	20,90	21,00	21,02	21,10	21,30
Mai	21,30	21,40	21,50	21,51	21,60	21,70
Juni	21,70	21,80	21,90	21,87	21,90	22,00
Juli	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
August	21,70	21,80	21,85	21,84	21,90	22,00
September	21,20	21,40	21,50	21,47	21,60	21,70
Oktober	20,70	20,80	21,00	20,97	21,10	21,20
November	20,30	20,40	20,50	20,48	20,60	20,70
Dezember	20,00	20,10	20,10	20,12	20,20	20,30

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	30,00	34,00	45,00	45,00	56,00	60,00
Jänner	30,00	31,00	32,00	31,79	33,00	34,00
Februar	30,00	30,00	30,00	30,04	30,00	31,00
März	31,00	31,00	32,00	32,36	33,00	35,00
April	35,00	36,00	38,00	37,89	40,00	41,00
Mai	41,00	43,00	45,00	45,38	47,00	49,00
Juni	49,00	51,00	53,00	52,77	54,00	56,00
Juli	56,00	57,00	58,00	58,02	59,00	60,00
August	59,00	60,00	60,00	59,91	60,00	60,00
September	55,00	57,00	58,00	57,53	59,00	59,00
Oktober	48,00	50,00	52,00	51,88	54,00	55,00
November	41,00	42,00	44,00	44,38	46,00	48,00
Dezember	34,00	35,00	37,00	37,02	39,00	41,00

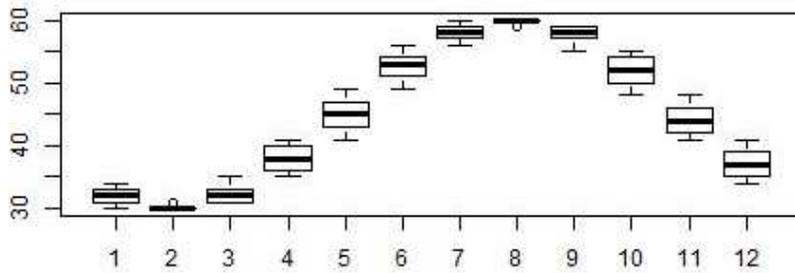
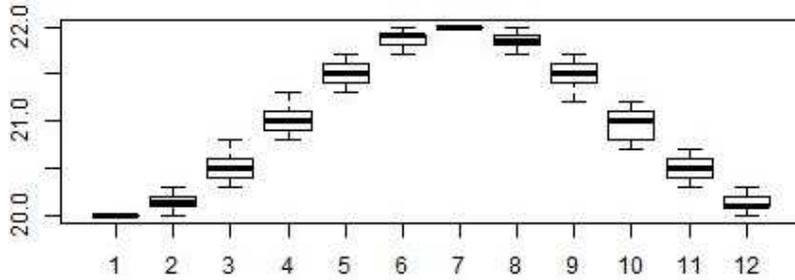
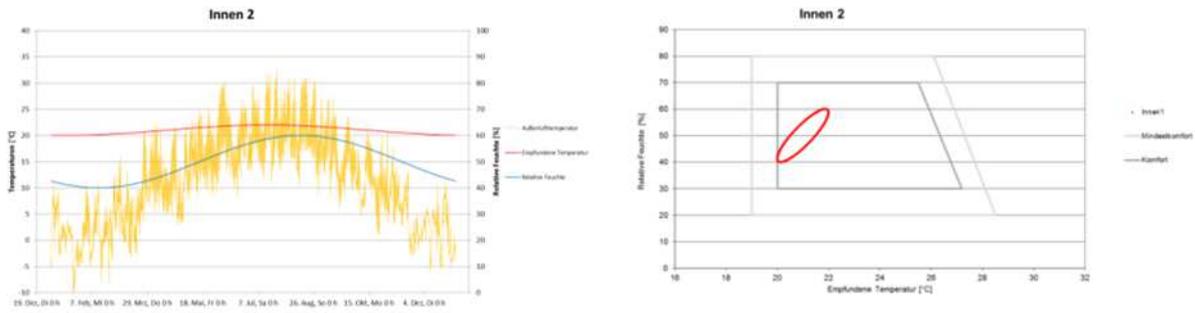


Abbildung 38 „IK02“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit normaler Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,30	21,00	21,00	21,70	22,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,10	20,15	20,16	20,20	20,30
März	20,30	20,40	20,50	20,52	20,60	20,80
April	20,80	20,90	21,00	21,02	21,10	21,30
Mai	21,30	21,40	21,50	21,51	21,60	21,70
Juni	21,70	21,80	21,90	21,87	21,90	22,00
Juli	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
August	21,70	21,80	21,85	21,84	21,90	22,00
September	21,20	21,40	21,50	21,47	21,60	21,70
Oktober	20,70	20,80	21,00	20,97	21,10	21,20
November	20,30	20,40	20,50	20,48	20,60	20,70
Dezember	20,00	20,10	20,10	20,12	20,20	20,30

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	40,00	43,00	50,00	50,00	57,00	60,00
Jänner	40,00	41,00	41,00	41,15	42,00	43,00
Februar	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
März	40,00	41,00	41,00	41,58	42,00	43,00
April	43,00	44,00	45,00	45,25	46,00	48,00
Mai	48,00	49,00	50,00	50,26	52,00	53,00
Juni	53,00	54,00	55,00	55,17	56,00	57,00
Juli	57,00	58,00	59,00	58,70	59,00	60,00
August	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
September	57,00	58,00	58,00	58,32	59,00	60,00
Oktober	52,00	53,00	55,00	54,58	56,00	57,00
November	47,00	48,00	50,00	49,58	51,00	52,00
Dezember	43,00	44,00	45,00	44,71	46,00	47,00

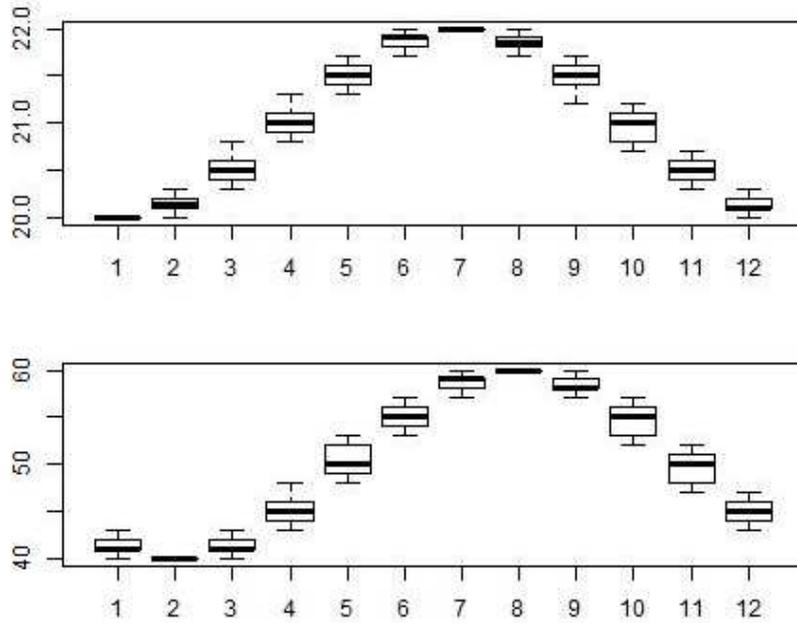
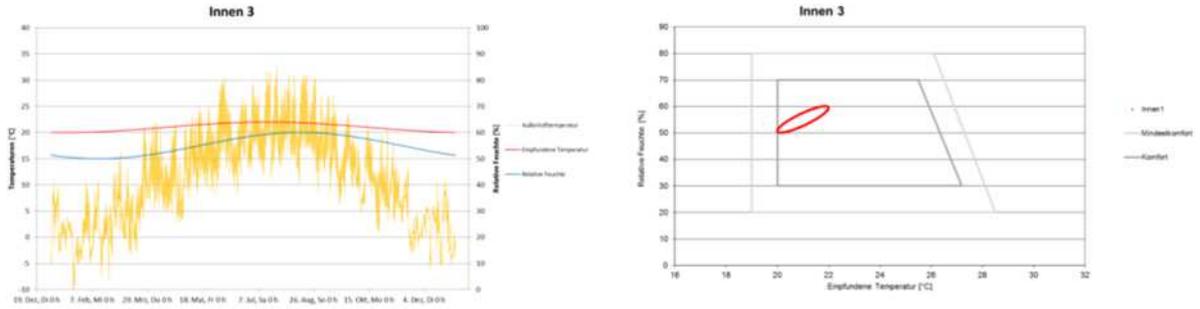


Abbildung 39 „IK03“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,30	21,00	21,00	21,70	22,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,10	20,15	20,16	20,20	20,30
März	20,30	20,40	20,50	20,52	20,60	20,80
April	20,80	20,90	21,00	21,02	21,10	21,30
Mai	21,30	21,40	21,50	21,51	21,60	21,70
Juni	21,70	21,80	21,90	21,87	21,90	22,00
Juli	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
August	21,70	21,80	21,85	21,84	21,90	22,00
September	21,20	21,40	21,50	21,47	21,60	21,70
Oktober	20,70	20,80	21,00	20,97	21,10	21,20
November	20,30	20,40	20,50	20,48	20,60	20,70
Dezember	20,00	20,10	20,10	20,12	20,20	20,30

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	50,00	51,00	55,00	55,00	59,00	60,00
Jänner	50,00	50,00	51,00	50,53	51,00	51,00
Februar	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
März	50,00	50,00	51,00	50,71	51,00	52,00
April	52,00	52,00	53,00	52,67	53,00	54,00
Mai	54,00	54,00	55,00	55,10	56,00	56,00
Juni	56,00	57,00	58,00	57,59	58,00	59,00
Juli	59,00	59,00	59,00	59,42	60,00	60,00
August	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
September	58,00	59,00	59,00	59,23	60,00	60,00
Oktober	56,00	57,00	57,00	57,26	58,00	58,00
November	54,00	54,00	55,00	54,83	55,00	56,00
Dezember	51,00	52,00	52,00	52,31	53,00	54,00

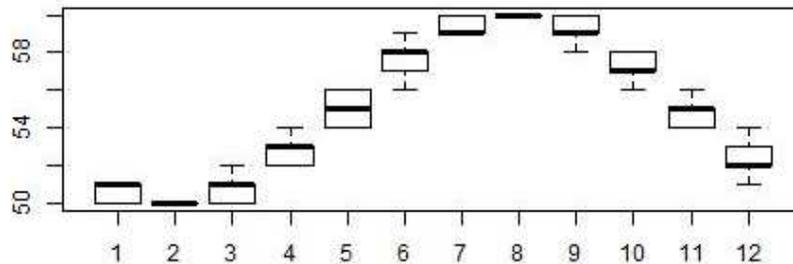
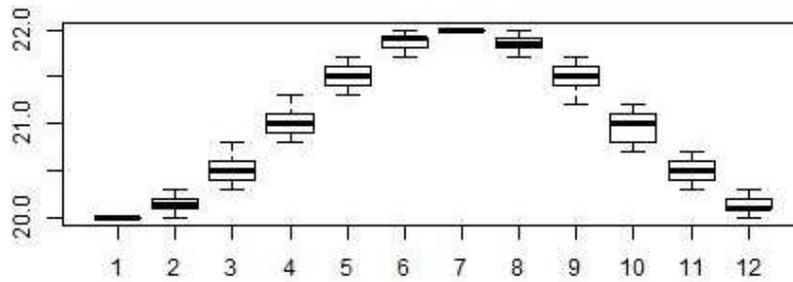
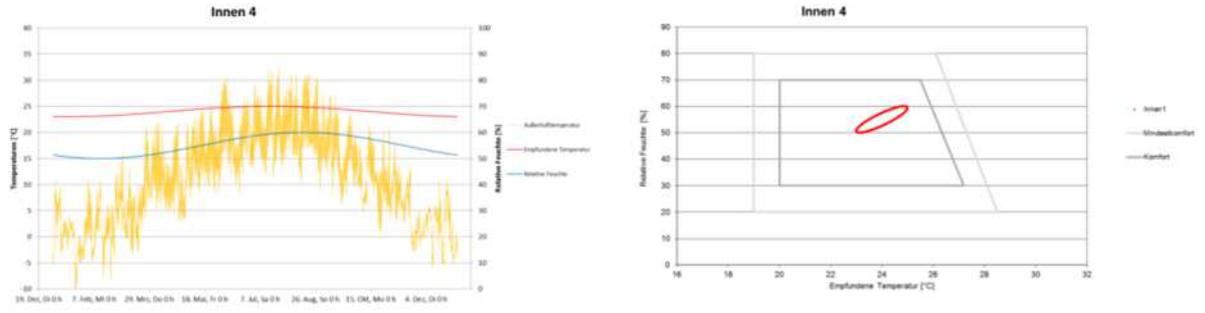
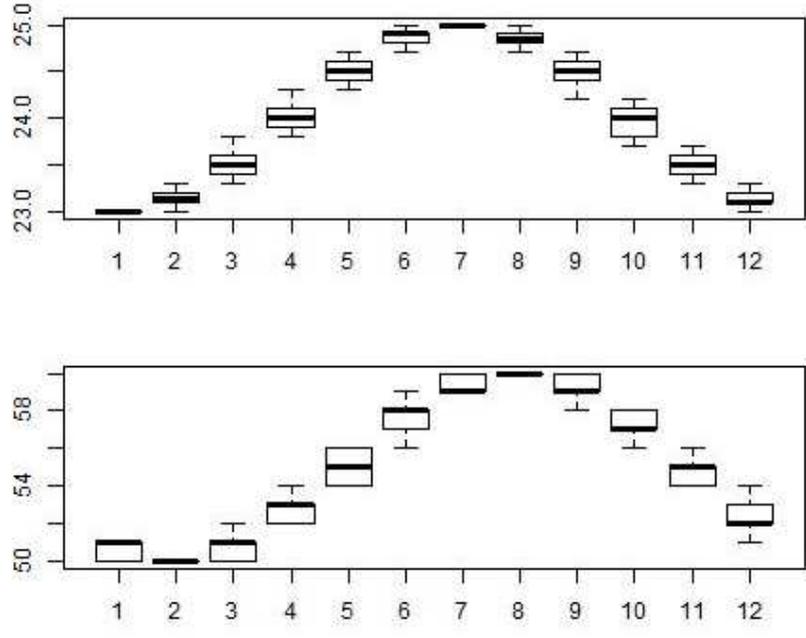


Abbildung 40 „IK04“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei die Temperaturkurve um 3 °C nach Oben verschoben wird (entspricht „IK03“ + 3 °C)



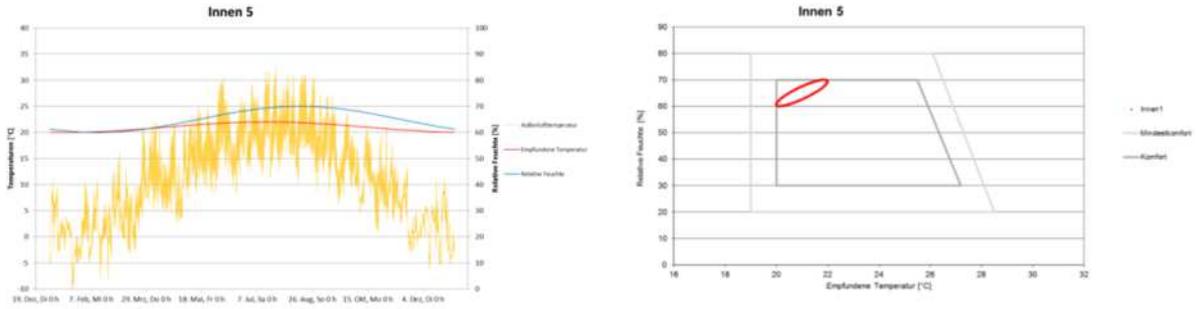
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	23,00	23,30	24,00	24,00	24,70	25,00
Jänner	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Februar	23,00	23,10	23,15	23,16	23,20	23,30
März	23,30	23,40	23,50	23,52	23,60	23,80
April	23,80	23,90	24,00	24,02	24,10	24,30
Mai	24,30	24,40	24,50	24,51	24,60	24,70
Juni	24,70	24,80	24,90	24,87	24,90	25,00
Juli	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
August	24,70	24,80	24,85	24,84	24,90	25,00
September	24,20	24,40	24,50	24,47	24,60	24,70
Oktober	23,70	23,80	24,00	23,97	24,10	24,20
November	23,30	23,40	23,50	23,48	23,60	23,70
Dezember	23,00	23,10	23,10	23,12	23,20	23,30

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	50,00	51,00	55,00	55,00	59,00	60,00
Jänner	50,00	50,00	51,00	50,53	51,00	51,00
Februar	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
März	50,00	50,00	51,00	50,71	51,00	52,00
April	52,00	52,00	53,00	52,67	53,00	54,00
Mai	54,00	54,00	55,00	55,10	56,00	56,00
Juni	56,00	57,00	58,00	57,59	58,00	59,00
Juli	59,00	59,00	59,00	59,42	60,00	60,00
August	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
September	58,00	59,00	59,00	59,23	60,00	60,00
Oktober	56,00	57,00	57,00	57,26	58,00	58,00
November	54,00	54,00	55,00	54,83	55,00	56,00
Dezember	51,00	52,00	52,00	52,31	53,00	54,00



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 41 „IK05“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei auf die Feuchtwerte 10 % relative Feuchte addiert werden (entspricht „IK03“ + 10 % relative Feuchte)



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,30	21,00	21,00	21,70	22,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,10	20,15	20,16	20,20	20,30
März	20,30	20,40	20,50	20,52	20,60	20,80
April	20,80	20,90	21,00	21,02	21,10	21,30
Mai	21,30	21,40	21,50	21,51	21,60	21,70
Juni	21,70	21,80	21,90	21,87	21,90	22,00
Juli	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
August	21,70	21,80	21,85	21,84	21,90	22,00
September	21,20	21,40	21,50	21,47	21,60	21,70
Oktober	20,70	20,80	21,00	20,97	21,10	21,20
November	20,30	20,40	20,50	20,48	20,60	20,70
Dezember	20,00	20,10	20,10	20,12	20,20	20,30

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	60,00	61,00	65,00	65,00	69,00	70,00
Jänner	60,00	60,00	61,00	60,53	61,00	61,00
Februar	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
März	60,00	60,00	61,00	60,71	61,00	62,00
April	62,00	62,00	63,00	62,67	63,00	64,00
Mai	64,00	64,00	65,00	65,10	66,00	66,00
Juni	66,00	67,00	68,00	67,59	68,00	69,00
Juli	69,00	69,00	69,00	69,42	70,00	70,00
August	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
September	68,00	69,00	69,00	69,23	70,00	70,00
Oktober	66,00	67,00	67,00	67,26	68,00	68,00
November	64,00	64,00	65,00	64,83	65,00	66,00
Dezember	61,00	62,00	62,00	62,31	63,00	64,00

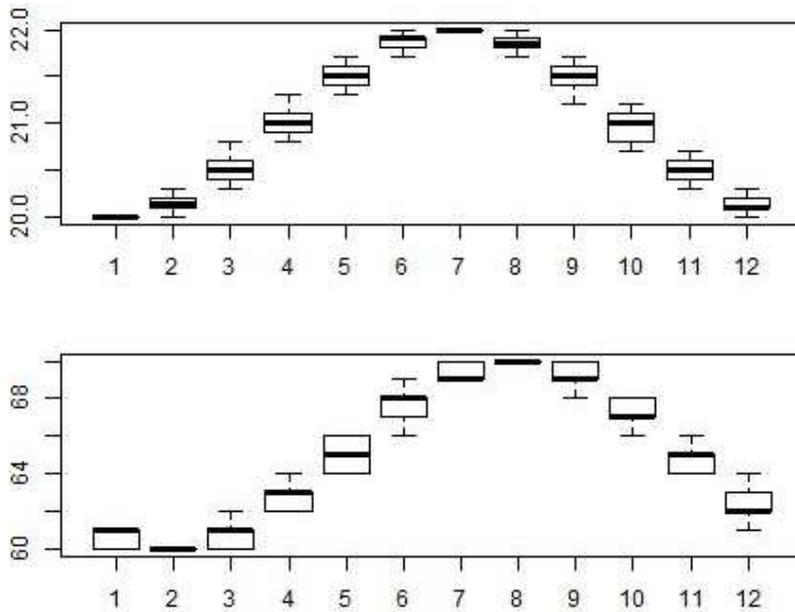
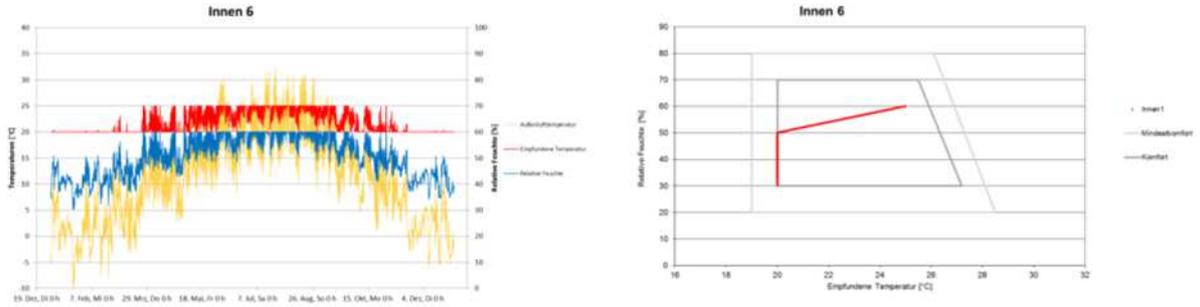


Abbildung 42 „IK06“, Raumlufttemperaturen nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] und relative Feuchte der Raumluft nach EN 15026 [51] Profil A (entspricht auch WTA 6-2-14 „normale Feuchtelast“)



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,00	20,50	21,74	23,80	25,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,50
Februar	20,00	20,00	20,00	20,01	20,00	21,30
März	20,00	20,00	20,00	20,37	20,00	25,00
April	20,00	20,00	20,20	21,11	21,90	25,00
Mai	20,00	21,50	22,70	22,80	24,33	25,00
Juni	20,00	22,70	24,20	23,77	25,00	25,00
Juli	20,50	23,87	25,00	24,32	25,00	25,00
August	20,00	23,70	25,00	24,23	25,00	25,00
September	20,00	21,60	23,00	22,90	24,60	25,00
Oktober	20,00	20,00	20,40	21,07	21,80	25,00
November	20,00	20,00	20,00	20,17	20,00	24,00
Dezember	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,40

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	30,00	44,00	51,00	50,35	58,00	60,00
Jänner	30,00	38,00	41,00	40,51	43,00	51,00
Februar	32,00	39,00	42,00	42,07	45,00	53,00
März	37,00	43,00	46,00	46,40	49,00	60,00
April	43,00	47,75	50,00	50,89	54,00	60,00
Mai	48,00	53,00	55,00	55,58	59,00	60,00
Juni	48,00	55,00	58,00	57,52	60,00	60,00
Juli	51,00	58,00	60,00	58,64	60,00	60,00
August	49,00	57,00	60,00	58,46	60,00	60,00
September	46,00	53,00	56,00	55,68	59,00	60,00
Oktober	41,00	48,00	51,00	51,04	54,00	60,00
November	37,00	41,00	46,00	45,25	49,00	58,00
Dezember	34,00	38,00	42,00	41,60	44,00	51,00

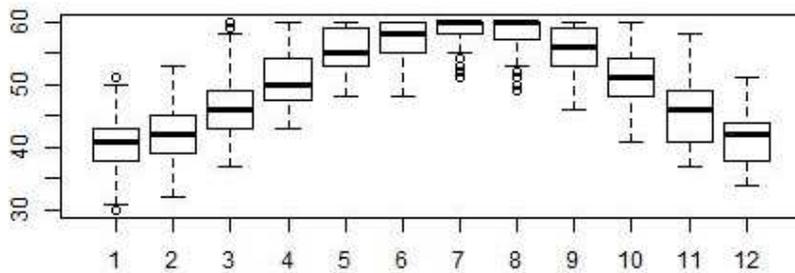
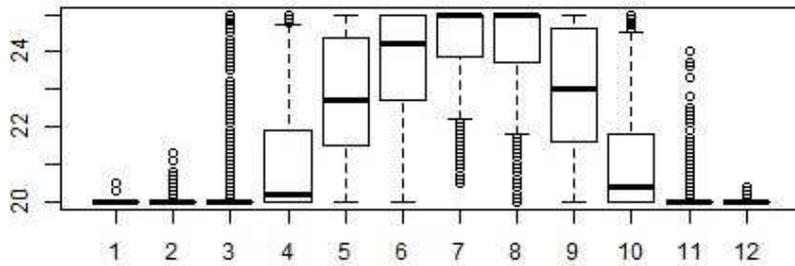
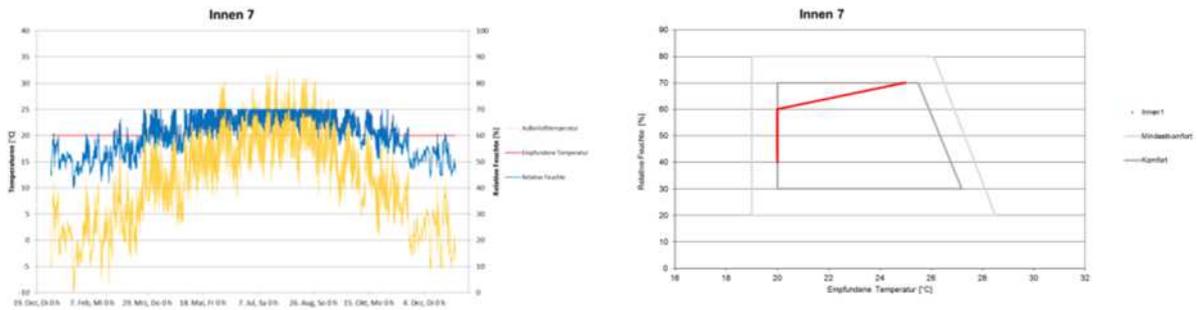


Abbildung 43 „IK07“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte nach EN 15026 [51] Profil B (entspricht auch WTA 6-2-14 hohe Feuchtelast)



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,00	20,50	21,74	23,80	25,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,50
Februar	20,00	20,00	20,00	20,01	20,00	21,30
März	20,00	20,00	20,00	20,37	20,00	25,00
April	20,00	20,00	20,20	21,10	21,90	25,00
Mai	20,00	21,50	22,70	22,80	24,33	25,00
Juni	20,00	22,70	24,20	23,77	25,00	25,00
Juli	20,50	23,87	25,00	24,32	25,00	25,00
August	20,00	23,70	25,00	24,23	25,00	25,00
September	20,00	21,60	23,00	22,90	24,60	25,00
Oktober	20,00	20,00	20,40	21,07	21,80	25,00
November	20,00	20,00	20,00	20,17	20,00	24,00
Dezember	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,40

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	40,00	54,00	61,00	60,35	68,00	70,00
Jänner	40,00	48,00	51,00	50,51	53,00	61,00
Februar	42,00	49,00	52,00	52,07	55,00	63,00
März	47,00	53,00	56,00	56,40	59,00	70,00
April	53,00	57,75	60,00	60,89	64,00	70,00
Mai	58,00	63,00	65,00	65,58	69,00	70,00
Juni	58,00	65,00	68,00	67,52	70,00	70,00
Juli	61,00	68,00	70,00	68,64	70,00	70,00
August	59,00	67,00	70,00	68,46	70,00	70,00
September	56,00	63,00	66,00	65,68	69,00	70,00
Oktober	51,00	58,00	61,00	61,04	64,00	70,00
November	47,00	51,00	56,00	55,25	59,00	68,00
Dezember	44,00	48,00	52,00	51,60	54,00	61,00

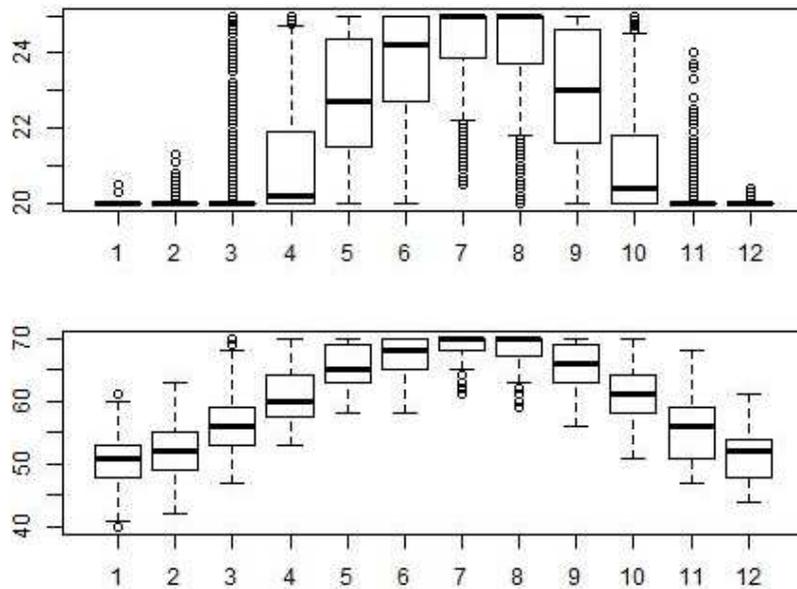
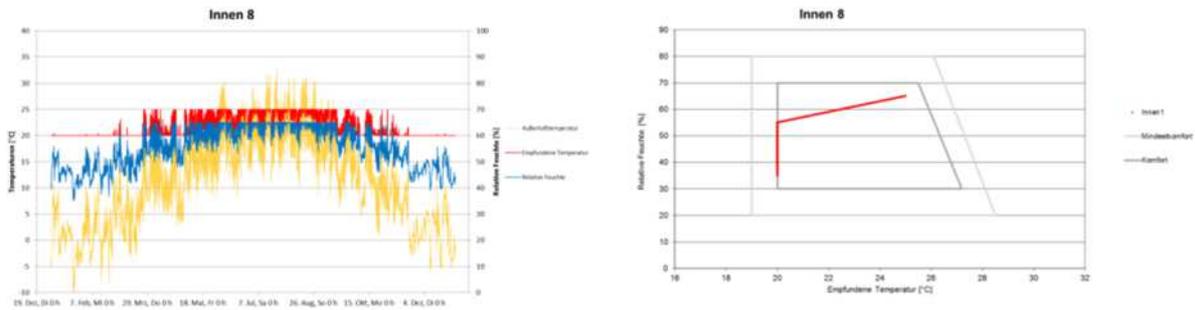


Abbildung 44 „IK08“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „normale Belegung“ +5 % nach WTA 6-2-14 [52]



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,00	20,50	21,74	23,80	25,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,50
Februar	20,00	20,00	20,00	20,01	20,00	21,30
März	20,00	20,00	20,00	20,37	20,00	25,00
April	20,00	20,00	20,20	21,11	21,90	25,00
Mai	20,00	21,50	22,70	22,80	24,33	25,00
Juni	20,00	22,70	24,20	23,77	25,00	25,00
Juli	20,50	23,87	25,00	24,32	25,00	25,00
August	20,00	23,70	25,00	24,23	25,00	25,00
September	20,00	21,60	23,00	22,90	24,60	25,00
Oktober	20,00	20,00	20,40	21,07	21,80	25,00
November	20,00	20,00	20,00	20,17	20,00	24,00
Dezember	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,40

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	35,00	49,00	56,00	55,35	63,00	65,00
Jänner	35,00	43,00	46,00	45,51	48,00	56,00
Februar	37,00	44,00	47,00	47,07	50,00	58,00
März	42,00	48,00	51,00	51,40	54,00	65,00
April	48,00	52,75	55,00	55,98	59,00	65,00
Mai	53,00	58,00	60,00	60,58	64,00	65,00
Juni	53,00	60,00	63,00	62,52	65,00	65,00
Juli	56,00	63,00	65,00	63,64	65,00	65,00
August	54,00	62,00	65,00	63,46	65,00	65,00
September	51,00	58,00	61,00	60,68	64,00	65,00
Oktober	46,00	53,00	56,00	56,04	59,00	65,00
November	42,00	46,00	51,00	50,25	54,00	63,00
Dezember	39,00	43,00	47,00	46,60	49,00	56,00

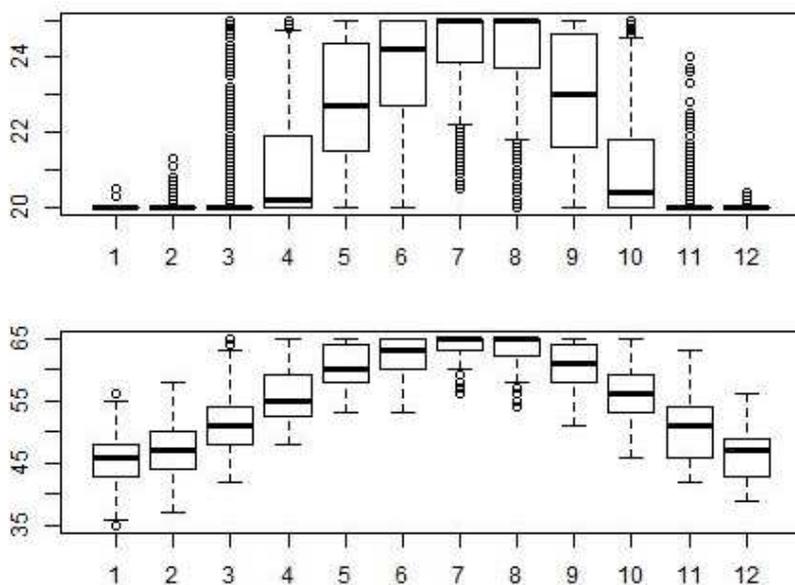
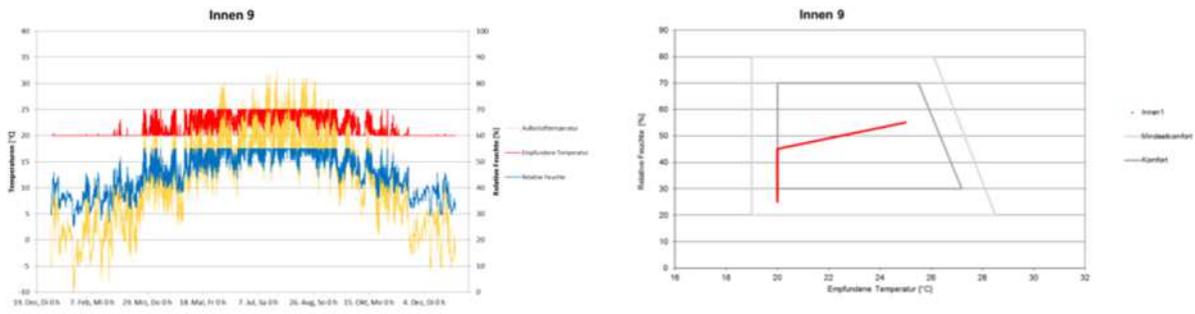
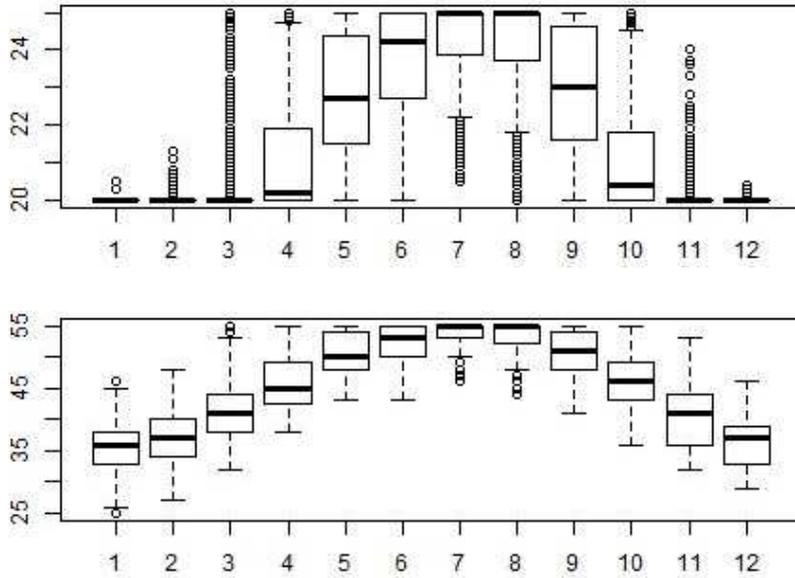


Abbildung 45 „IK09“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „niedrige Belegung“ nach WTA 6-2-14 [52]



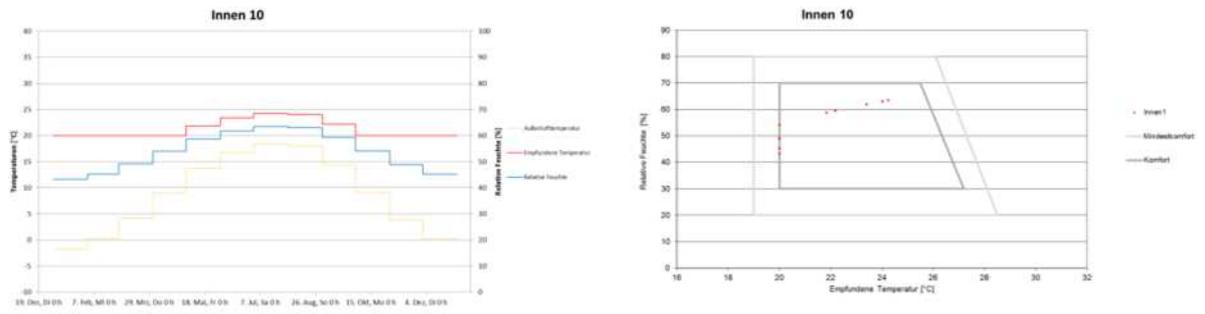
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,00	20,50	21,74	23,80	25,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,50
Februar	20,00	20,00	20,00	20,01	20,00	21,30
März	20,00	20,00	20,00	20,37	20,00	25,00
April	20,00	20,00	20,20	21,11	21,90	25,00
Mai	20,00	21,50	22,70	22,80	24,33	25,00
Juni	20,00	22,70	24,20	23,77	25,00	25,00
Juli	20,50	23,87	25,00	24,32	25,00	25,00
August	20,00	23,70	25,00	24,23	25,00	25,00
September	20,00	21,60	23,00	22,90	24,60	25,00
Oktober	20,00	20,00	20,40	21,07	21,80	25,00
November	20,00	20,00	20,00	20,17	20,00	24,00
Dezember	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,40

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	25,00	39,00	46,00	45,35	53,00	55,00
Jänner	25,00	33,00	36,00	35,51	38,00	46,00
Februar	27,00	34,00	37,00	37,07	40,00	48,00
März	32,00	38,00	41,00	41,40	44,00	55,00
April	38,00	42,75	45,00	45,89	49,00	55,00
Mai	43,00	48,00	50,00	50,58	54,00	55,00
Juni	43,00	50,00	53,00	52,52	55,00	55,00
Juli	46,00	53,00	55,00	53,64	55,00	55,00
August	44,00	52,00	55,00	53,46	55,00	55,00
September	41,00	48,00	51,00	50,68	54,00	55,00
Oktober	36,00	43,00	46,00	46,04	49,00	55,00
November	32,00	36,00	41,00	40,25	44,00	53,00
Dezember	29,00	33,00	37,00	36,60	39,00	46,00



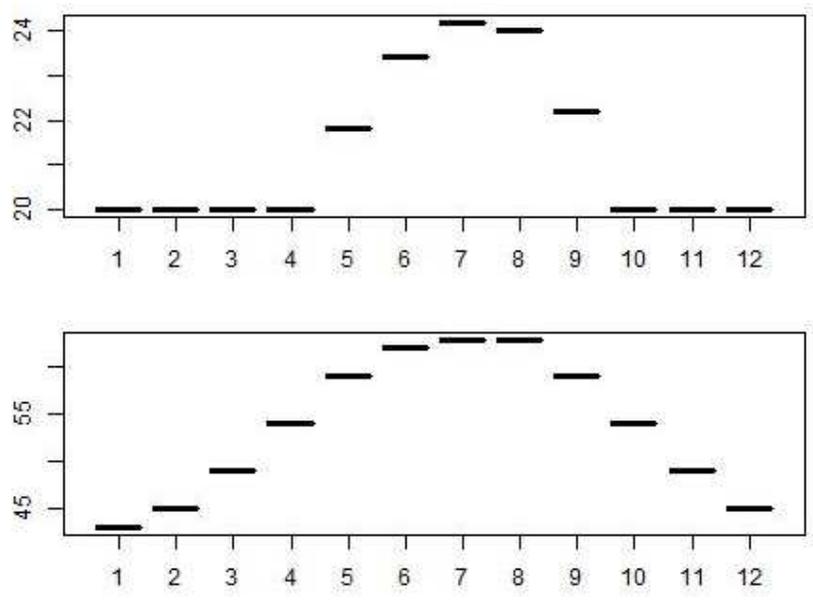
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 46 „IK10“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil A



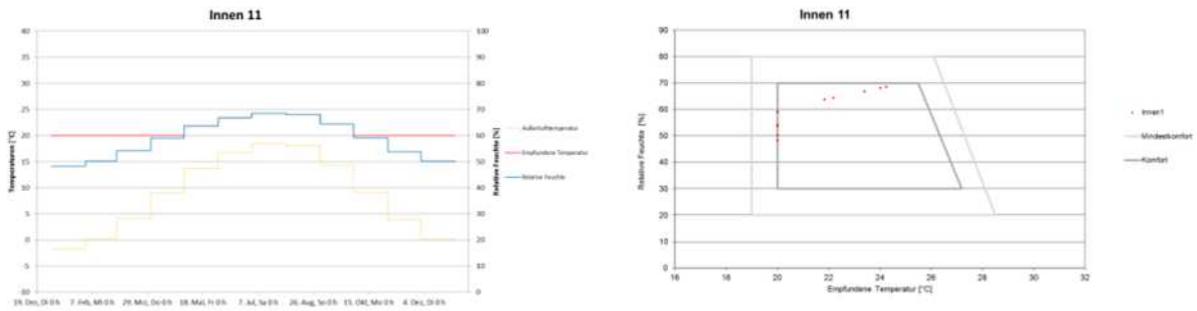
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,00	20,00	21,31	23,40	24,20
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
März	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
April	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Mai	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80
Juni	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40
Juli	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20
August	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
September	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20
Oktober	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
November	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Dezember	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	43,00	49,00	54,00	53,80	62,00	63,00
Jänner	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00
Februar	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
März	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00
April	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
Mai	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00
Juni	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00
Juli	63,00	63,00	63,00	63,00	63,00	63,00
August	63,00	63,00	63,00	63,00	63,00	63,00
September	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00
Oktober	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
November	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00
Dezember	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 47 „IK11“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil B



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,00	20,00	21,31	23,40	24,20
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
März	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
April	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Mai	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80
Juni	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40
Juli	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20
August	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
September	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20
Oktober	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
November	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Dezember	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	48,00	54,00	59,00	58,80	67,00	68,00
Jänner	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00
Februar	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
März	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
April	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00
Mai	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00
Juni	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00
Juli	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
August	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
September	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00
Oktober	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00
November	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
Dezember	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

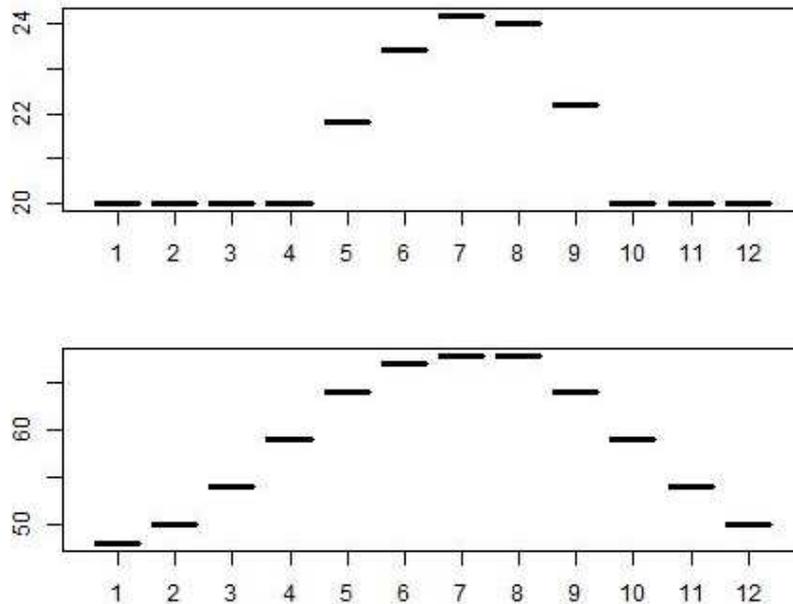
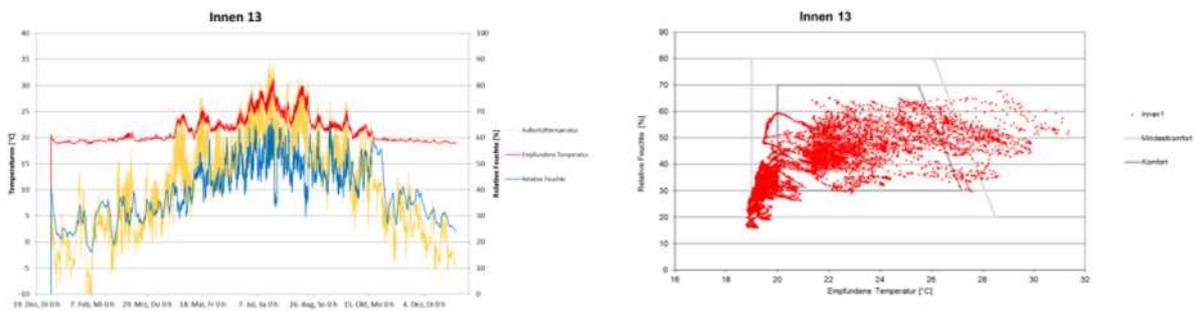


Abbildung 48 „IK13“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW02



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	18,80	19,40	20,20	21,47	22,80	31,40
Jänner	18,80	19,00	19,20	19,20	19,40	20,60
Februar	18,80	19,20	19,30	19,31	19,42	19,80
März	19,10	19,50	19,80	19,79	19,90	21,10
April	19,40	19,80	20,00	20,80	21,58	24,40
Mai	19,50	21,40	22,10	22,37	23,30	25,70
Juni	21,20	21,90	22,50	22,97	23,50	28,70
Juli	22,90	25,40	26,60	26,73	27,80	31,40
August	21,40	23,00	24,70	25,08	27,10	29,90
September	19,60	21,60	22,10	22,16	22,50	25,30
Oktober	19,40	19,70	20,30	20,48	21,20	22,60
November	19,20	19,30	19,40	19,44	19,50	19,90
Dezember	18,90	19,00	19,10	19,13	19,20	19,70

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	16,00	31,00	39,00	39,31	47,00	68,00
Jänner	21,00	23,00	25,00	26,19	28,00	42,00
Februar	16,00	20,00	28,00	26,85	34,00	36,00
März	25,00	28,00	31,00	31,55	35,00	39,00
April	29,00	32,00	34,00	34,88	38,00	43,00
Mai	30,00	40,00	43,00	42,76	46,00	59,00
Juni	37,00	43,00	47,00	47,99	53,00	64,00
Juli	33,00	48,00	53,00	52,27	57,00	68,00
August	30,00	45,00	48,00	48,43	53,00	64,00
September	37,00	43,00	46,00	47,26	50,00	65,00
Oktober	27,00	42,00	49,00	47,60	54,00	59,00
November	27,00	34,00	36,00	35,71	38,00	41,00
Dezember	24,00	26,75	29,00	29,27	31,00	38,00

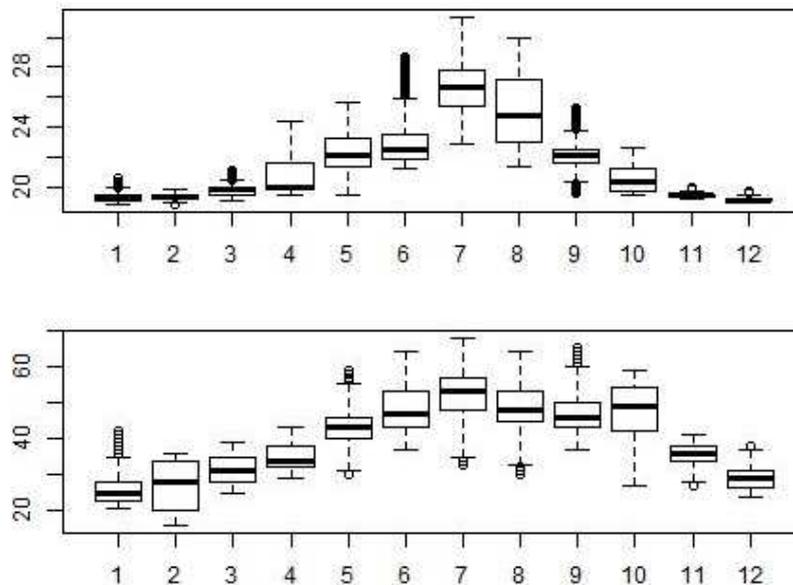
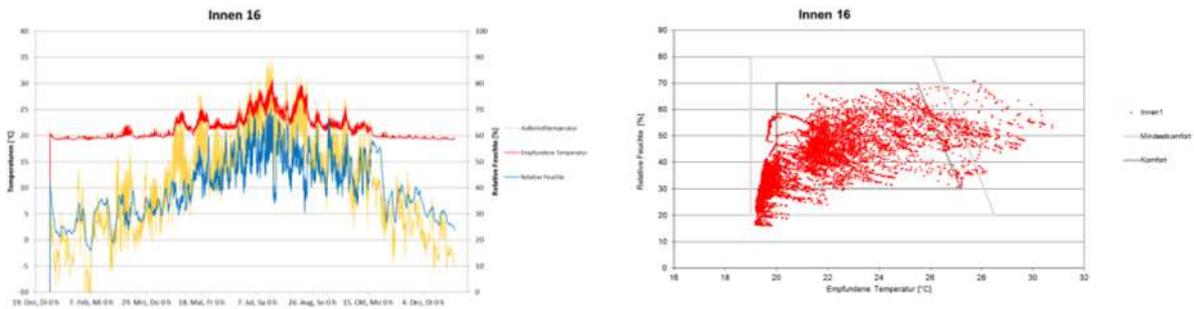


Abbildung 49 „IK16“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW02



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	19,20	19,60	20,60	21,49	22,60	30,80
Jänner	19,20	19,30	19,40	19,47	19,60	20,50
Februar	19,20	19,50	19,50	19,57	19,60	20,50
März	19,40	19,70	19,80	20,02	20,10	22,00
April	19,60	19,90	20,10	20,86	21,80	24,60
Mai	20,00	21,50	22,00	22,29	23,00	25,30
Juni	21,10	21,70	22,20	22,67	23,10	28,00
Juli	23,00	24,80	26,00	26,12	27,20	30,80
August	21,30	22,90	24,45	24,76	26,60	29,70
September	20,00	21,50	21,90	22,07	22,50	25,50
Oktober	19,60	19,80	20,70	20,75	21,60	22,80
November	19,40	19,60	19,60	19,64	19,70	20,20
Dezember	19,20	19,30	19,40	19,42	19,50	20,00

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	16,00	31,00	38,00	39,51	48,00	71,00
Jänner	21,00	23,00	25,00	26,18	28,00	42,00
Februar	16,00	20,00	28,00	26,85	34,00	36,00
März	24,00	28,00	31,00	31,24	35,00	39,00
April	29,00	32,00	34,00	34,83	37,00	43,00
Mai	31,00	40,00	43,00	42,89	46,00	60,00
Juni	37,00	44,00	48,00	48,84	53,00	67,00
Juli	34,00	50,00	55,00	53,98	59,00	71,00
August	30,00	45,00	49,00	49,19	54,00	65,00
September	37,00	43,00	46,00	47,47	51,00	66,00
Oktober	27,00	40,00	48,00	46,68	54,00	58,00
November	27,00	34,00	36,00	35,71	38,00	41,00
Dezember	24,00	26,75	29,00	29,27	31,00	38,00

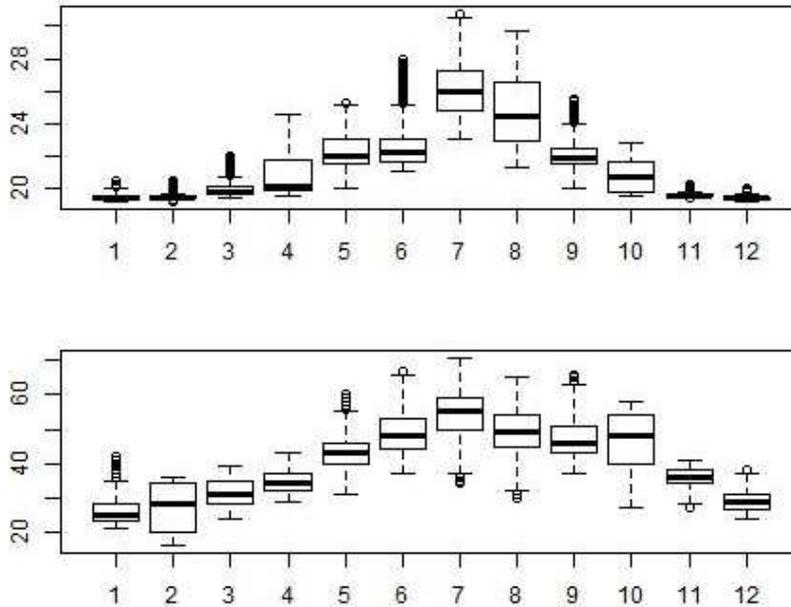
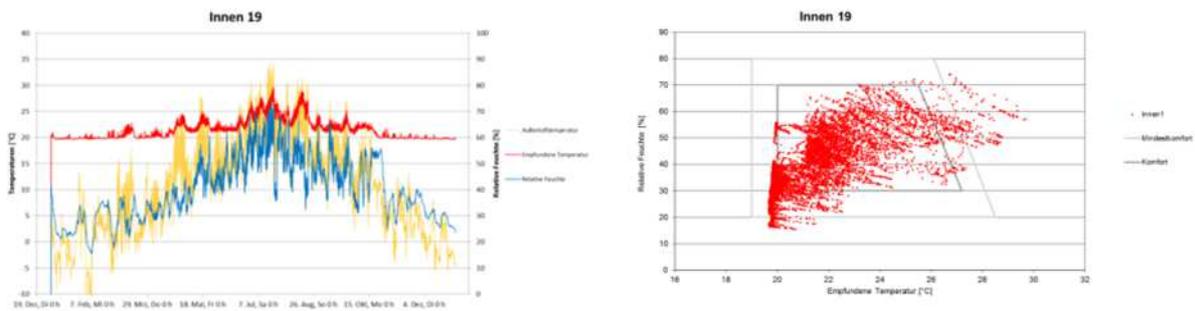


Abbildung 50 „IK19“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW02



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	19,70	19,90	21,20	21,59	22,50	29,70
Jänner	19,70	19,70	19,80	19,85	19,90	21,00
Februar	19,70	19,80	19,90	19,96	20,00	21,50
März	19,80	20,00	20,10	20,49	20,90	22,80
April	19,90	20,30	20,90	21,26	22,00	24,50
Mai	20,90	21,50	21,90	22,19	22,80	24,90
Juni	21,00	21,60	22,00	22,42	22,90	27,00
Juli	22,50	24,00	25,20	25,30	26,30	29,70
August	21,10	22,70	23,90	24,30	25,90	28,80
September	20,80	21,50	21,90	22,05	22,40	25,30
Oktober	19,90	20,40	21,55	21,29	22,00	23,10
November	19,80	19,90	19,90	19,96	20,00	20,90
Dezember	19,70	19,70	19,80	19,80	19,80	20,60

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	15,00	31,00	38,00	39,62	49,00	74,00
Jänner	21,00	23,00	25,00	26,15	28,00	42,00
Februar	15,00	20,00	28,00	26,75	34,00	36,00
März	22,00	28,00	30,00	30,52	34,00	38,00
April	28,00	31,00	34,00	34,06	36,00	42,00
Mai	30,00	40,00	43,00	43,00	46,00	61,00
Juni	38,00	45,00	49,00	49,71	54,00	69,00
Juli	36,00	53,00	57,00	56,41	61,25	74,00
August	32,00	46,00	50,00	50,47	55,00	67,00
September	36,00	43,00	46,00	47,38	51,00	66,00
Oktober	25,00	37,00	48,00	45,15	53,00	56,00
November	26,00	34,00	36,00	35,59	38,00	41,00
Dezember	24,00	26,75	29,00	29,26	31,00	38,00

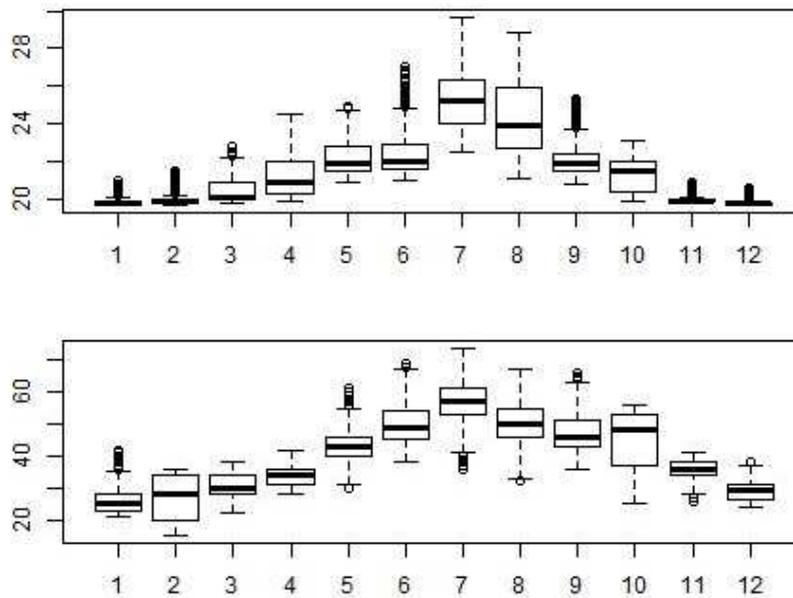
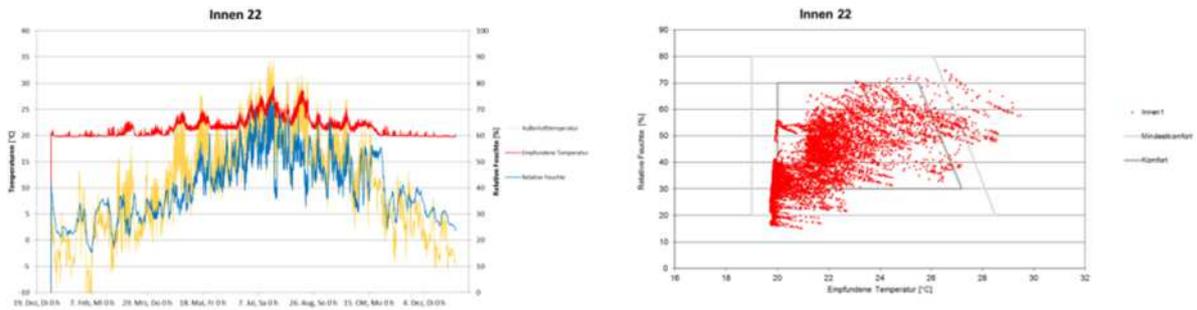


Abbildung 51 „IK22“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW02



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	19,70	19,90	21,30	21,60	22,40	29,50
Jänner	19,70	19,80	19,80	19,90	19,90	21,10
Februar	19,70	19,90	19,90	20,03	20,00	21,70
März	19,80	20,00	20,25	20,58	21,10	22,70
April	19,90	20,40	21,10	21,36	22,10	24,50
Mai	20,80	21,50	21,90	22,16	22,70	24,90
Juni	21,00	21,60	22,00	22,38	22,80	26,80
Juli	22,50	23,98	25,10	25,18	26,20	29,50
August	21,20	22,60	23,80	24,20	25,80	28,60
September	20,60	21,40	21,90	22,03	22,40	25,20
Oktober	19,90	20,60	21,60	21,37	22,10	23,20
November	19,80	19,90	19,90	20,01	20,00	21,10
Dezember	19,70	19,80	19,80	19,85	19,90	20,80

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	15,00	31,00	38,00	39,64	49,00	75,00
Jänner	21,00	23,00	25,00	26,14	28,00	42,00
Februar	15,00	19,75	28,00	26,70	34,00	36,00
März	21,00	27,00	30,00	30,36	34,00	38,00
April	28,00	31,00	34,00	33,81	36,00	42,00
Mai	31,00	40,00	43,00	43,12	46,00	61,00
Juni	38,00	45,00	49,00	49,87	54,00	70,00
Juli	36,00	53,00	58,00	56,79	62,00	75,00
August	33,00	47,00	51,00	50,75	55,00	68,00
September	36,00	43,00	46,50	47,46	51,00	66,00
Oktober	25,00	37,00	48,00	44,90	53,00	56,00
November	26,00	34,00	36,00	35,54	38,00	41,00
Dezember	24,00	26,75	29,00	29,25	31,00	38,00

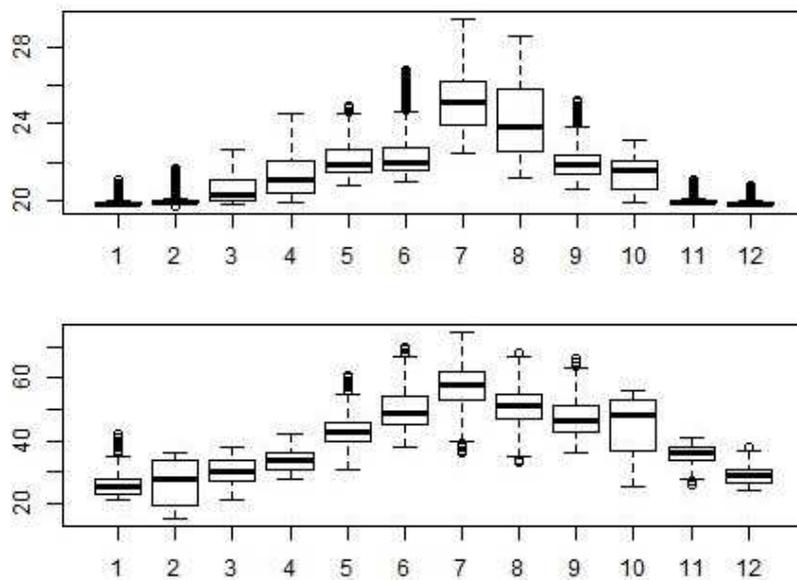
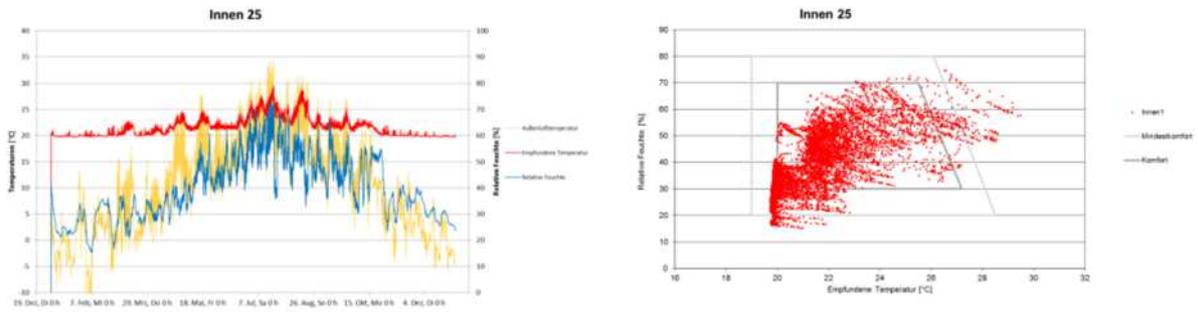
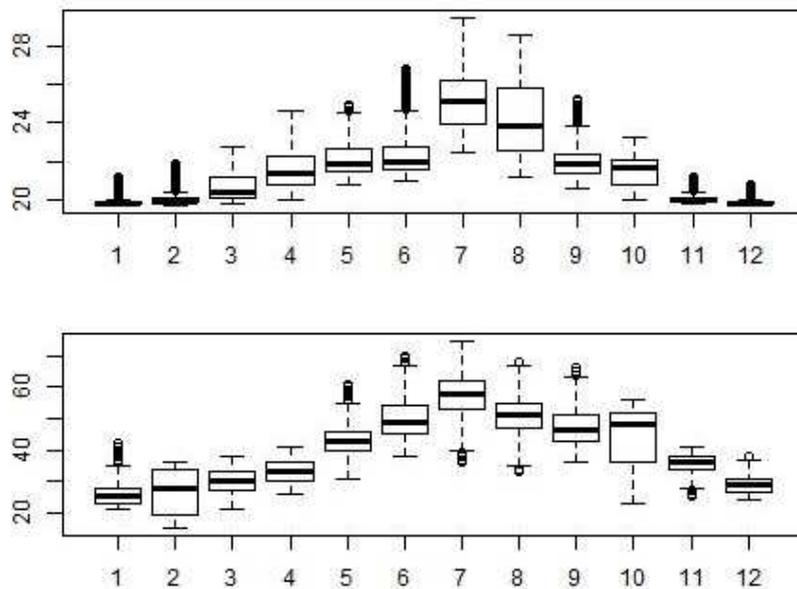


Abbildung 52 „IK25“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW02



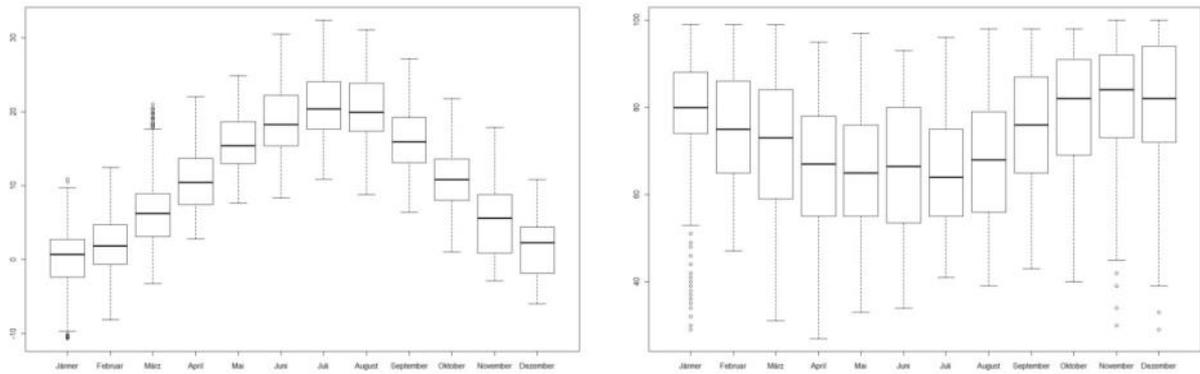
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	19,70	20,00	21,30	21,65	22,50	29,50
Jänner	19,70	19,80	19,80	19,91	19,90	21,20
Februar	19,70	19,90	19,90	20,06	20,10	21,90
März	19,80	20,10	20,40	20,69	21,20	22,80
April	20,00	20,78	21,40	21,57	22,30	24,60
Mai	20,80	21,50	21,90	22,16	22,70	24,90
Juni	21,00	21,60	22,00	22,38	22,80	26,80
Juli	22,50	23,98	25,10	25,18	26,20	29,50
August	21,20	22,60	23,80	24,20	25,80	28,60
September	20,60	21,40	21,90	22,03	22,40	25,20
Oktober	20,00	20,80	21,70	21,48	22,10	23,30
November	19,80	19,90	20,00	20,06	20,10	21,20
Dezember	19,70	19,80	19,80	19,86	19,90	20,80

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	15,00	30,00	38,00	39,48	49,00	75,00
Jänner	21,00	23,00	25,00	26,14	28,00	42,00
Februar	15,00	19,00	28,00	26,63	34,00	36,00
März	21,00	27,00	30,00	30,07	33,00	38,00
April	26,00	30,00	33,00	33,08	36,00	41,00
Mai	31,00	40,00	43,00	43,08	46,00	61,00
Juni	38,00	45,00	49,00	49,87	54,00	70,00
Juli	36,00	53,00	58,00	56,79	62,00	75,00
August	33,00	47,00	51,00	50,75	55,00	68,00
September	36,00	43,00	46,50	47,46	51,00	66,00
Oktober	23,00	36,00	48,00	44,23	52,00	56,00
November	25,00	34,00	36,00	35,42	38,00	41,00
Dezember	24,00	26,75	29,00	29,25	31,00	38,00



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

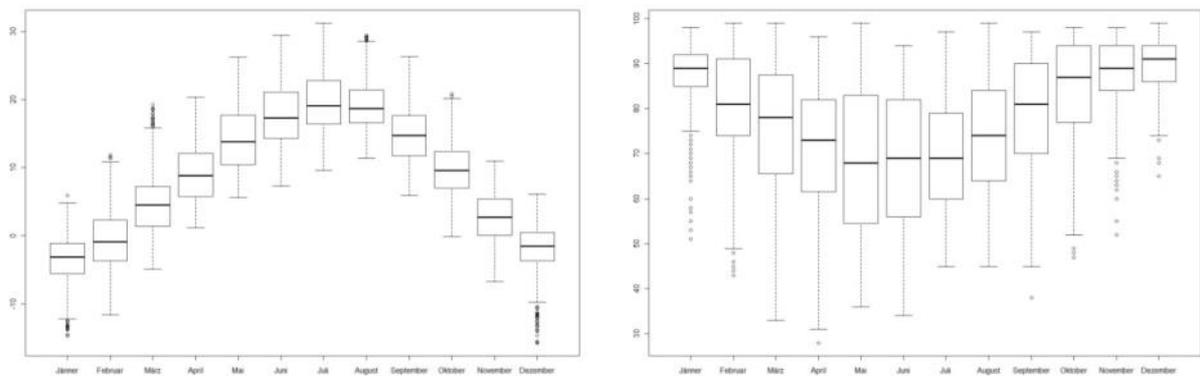
Abbildung 53 HSKDWien,mittel „AK03“



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	-10,7	3,9	11	10,88	17,5	32,4
Jänner	-10,7	-2,4	0,7	0,4496	2,7	10,9
Februar	-8,2	-0,625	1,8	2,009	4,7	12,5
März	-3,3	3,1	6,2	6,362	8,9	21
April	2,8	7,475	10,4	10,88	13,7	22
Mai	7,6	13	15,4	15,82	18,62	24,9
Juni	8,3	15,4	18,3	18,9	22,2	30,5
Juli	10,9	17,67	20,35	20,91	24,1	32,4
August	8,8	17,4	19,9	20,67	23,9	31,1
September	6,4	13,1	15,9	16,19	19,2	27,2
Oktober	1	8	10,8	10,99	13,6	21,8
November	-2,9	0,9	5,6	5,2	8,8	17,9
Dezember	-6	-1,9	2,3	1,559	4,4	10,8

Jahr	27	62	74	72,83	85	100
Jänner	29	74	80	78,79	88	99
Februar	47	65	75	75,67	86	99
März	31	59	73	71,1	84	99
April	27	55	67	65,61	78	95
Mai	33	55	65	65,76	76	97
Juni	34	53,75	66,5	66,1	80	93
Juli	41	55	64	65,58	75	96
August	39	56	68	68,03	79	98
September	43	65	76	75,2	87	98
Oktober	40	69	82	79,01	91	98
November	30	73	84	81,69	92	100
Dezember	29	72	82	81,63	94	100

Abbildung 54 HSKDKlagenfurt,kalt „AK05“



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Jahr	-15,7	1,2	9,2	8,926	16,3	31,2
Jänner	-14,7	-5,525	-3,1	-3,538	-1,1	5,9
Februar	-11,6	-3,7	-0,9	-0,5835	2,3	11,9
März	-4,9	1,4	4,55	4,742	7,2	19,2
April	1,2	5,8	8,8	9,235	12,02	20,3
Mai	5,6	10,4	13,8	14,38	17,7	26,2
Juni	7,3	14,3	17,3	17,84	21,1	29,4
Juli	9,6	16,38	19,1	19,66	22,72	31,2
August	11,4	16,6	18,7	19,21	21,4	29,4
September	5,9	11,7	14,7	15	17,62	26,3
Oktober	-0,1	7	9,6	9,762	12,32	20,8
November	-6,7	0,1	2,7	2,789	5,4	11
Dezember	-15,7	-3,7	-1,5	-2,013	0,5	6,1

Jahr	28	68	81	77,93	90	99
Jänner	51	85	89	87,48	92	98
Februar	43	74	81	81,41	91	99
März	33	65,75	78	75,52	87,25	99
April	28	61,75	73	70,5	82	96
Mai	36	54,75	68	68,32	83	99
Juni	34	56	69	68,13	82	94
Juli	45	60	69	69,72	79	97
August	45	64	74	73,6	84	99
September	38	70	81	79,41	90	97
Oktober	47	77	87	84,2	94	98
November	52	84	89	87,62	94	98
Dezember	65	86	91	89,4	94	99

4 Anhang D – Musterbericht Simulationsergebnisse

Bericht

Zusammenstellung von Ergebnissen im Rahmen der Dissertation durchgeführter Simulationsreihen zur Beurteilung des hygrischen und thermischen Bauteilverhaltens von innen gedämmten Außenwänden.

Variante

VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05

Ersteller

Dipl.-Ing. Tobias Steiner
IBO -Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
A-1090 Wien, Alserbachstr. 5/8,
Telefon+43/1/3192005-31

Datum

05/06/20

Datei

C:\DISSERTATION\04_Bericht\
VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05.docx

VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05

Variante Ziegelmauerwerk mit Innendämmsystem ID01 mit einer Dämmstoffdicke von 6 cm bei Außenklima AK05, berechnet mit Schlagregen und direkter Solarstrahlung, Berechnungsdauer 5 Jahre, gekürzte Fassung.

4.1 Relative Feuchte

4.1.1 Relative Feuchte - Positionen

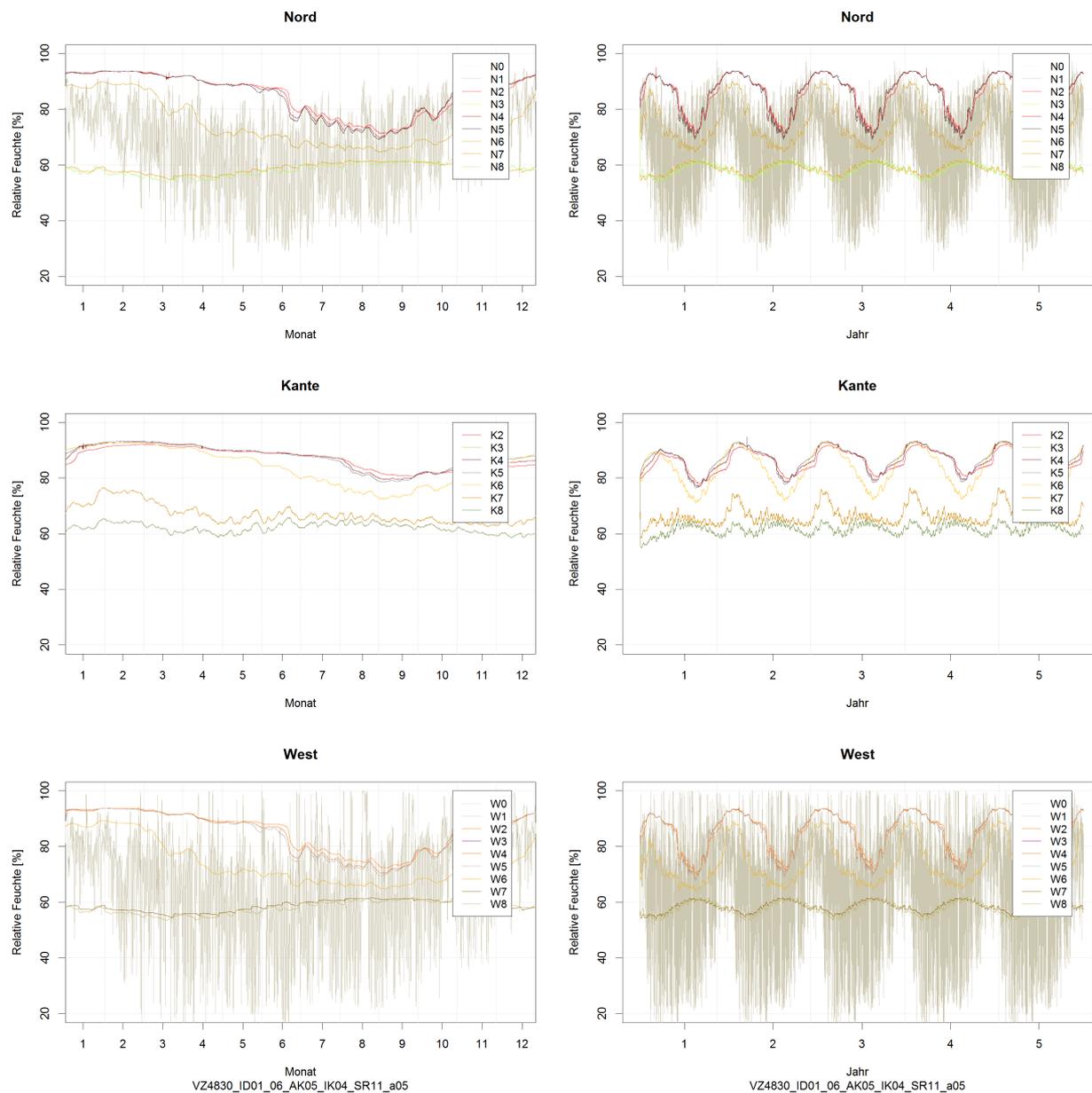


Abbildung 55: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Relative_Feuchte

4.1.2 Relative Feuchte im 5. Jahr – Positionen

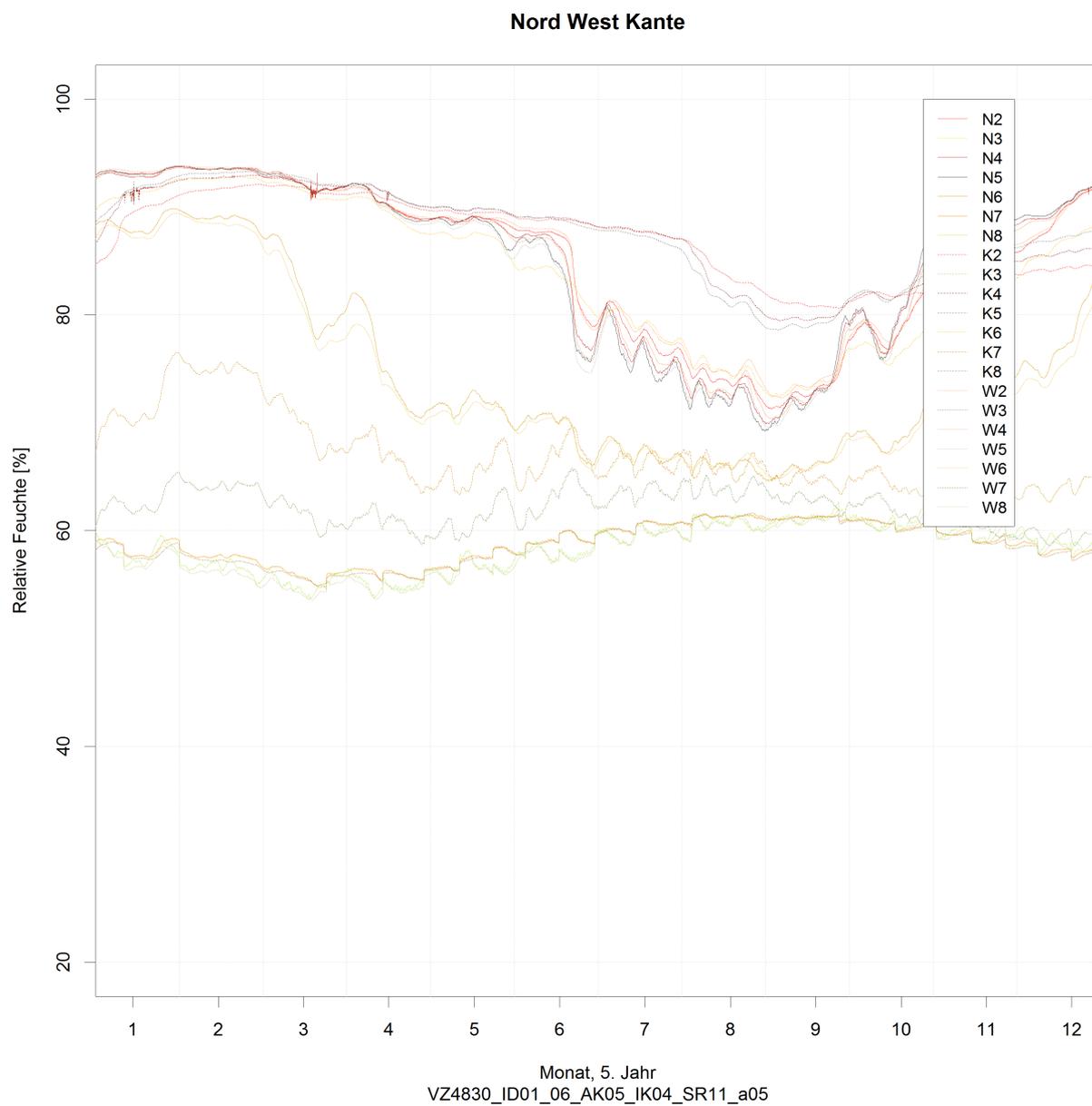


Abbildung 56: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Relative_Feuchte_5Jahr

4.2 Temperatur

4.2.1 Temperatur – Positionen

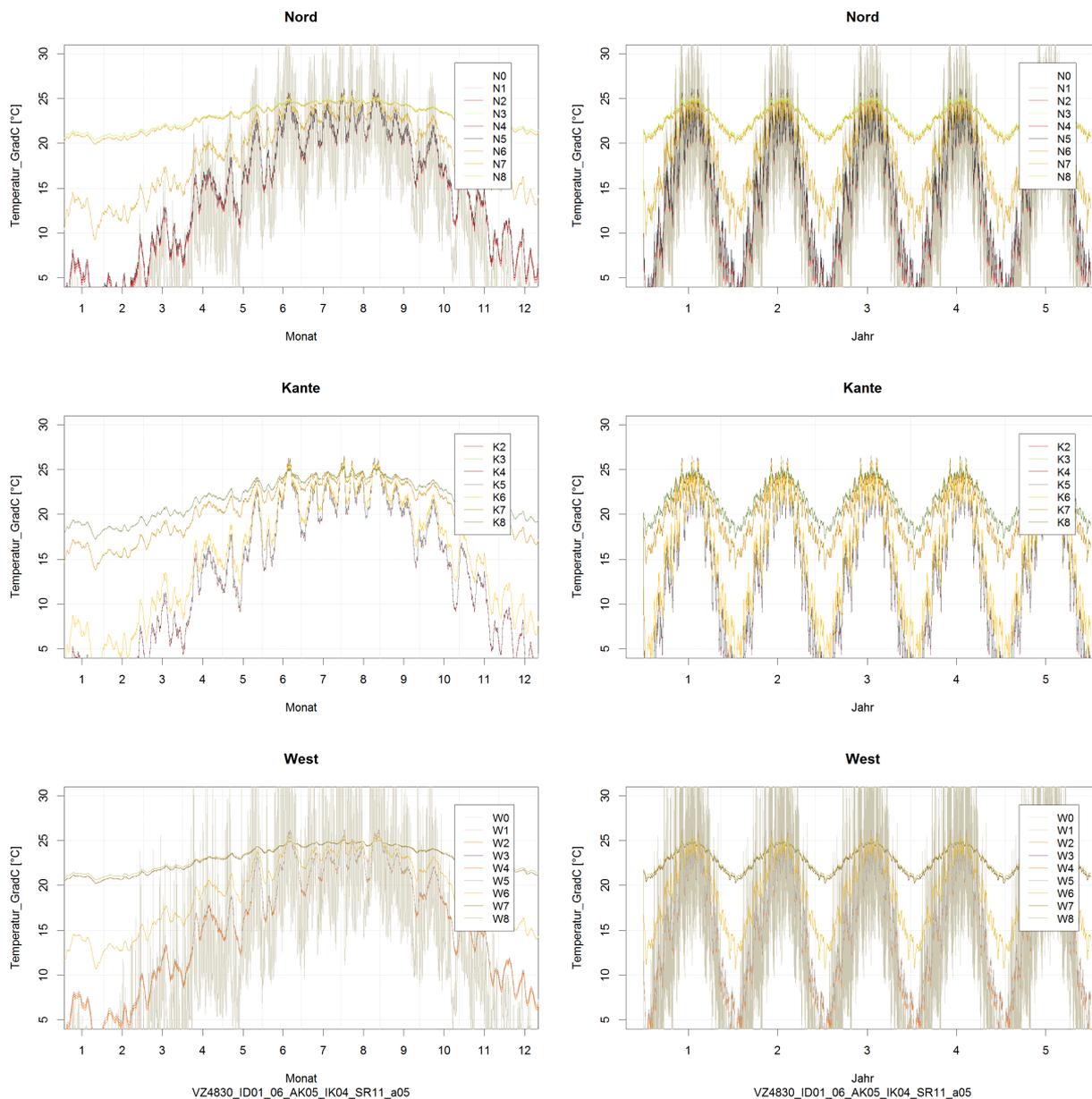


Abbildung 57: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Temperatur

4.2.2 Temperatur im 5. Jahr – Positionen

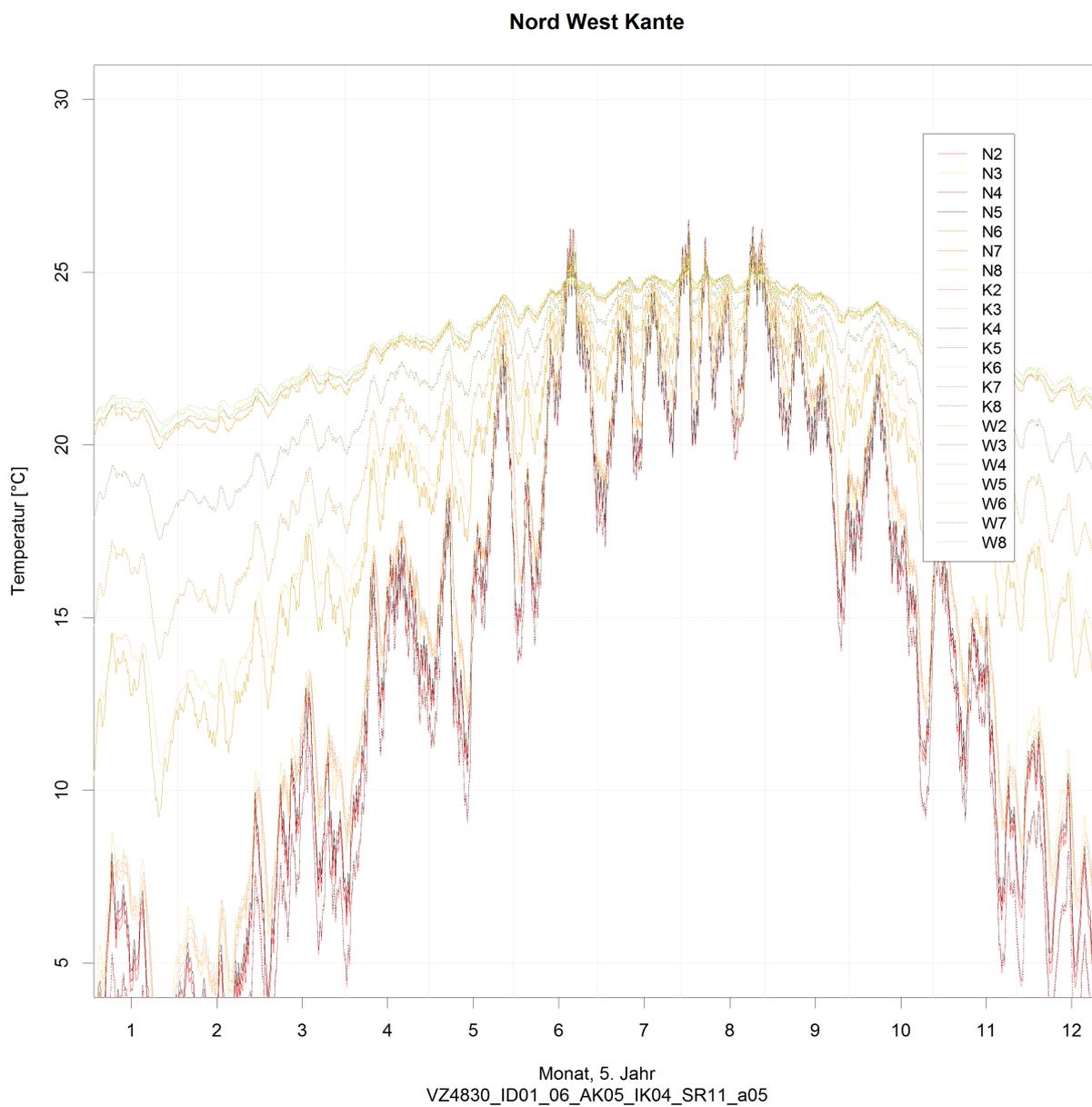


Abbildung 58: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Temperatur_5Jahr

4.3 Flüssigwassergehalt

4.3.1 Flüssigwassergehalt, massebezogen – Positionen

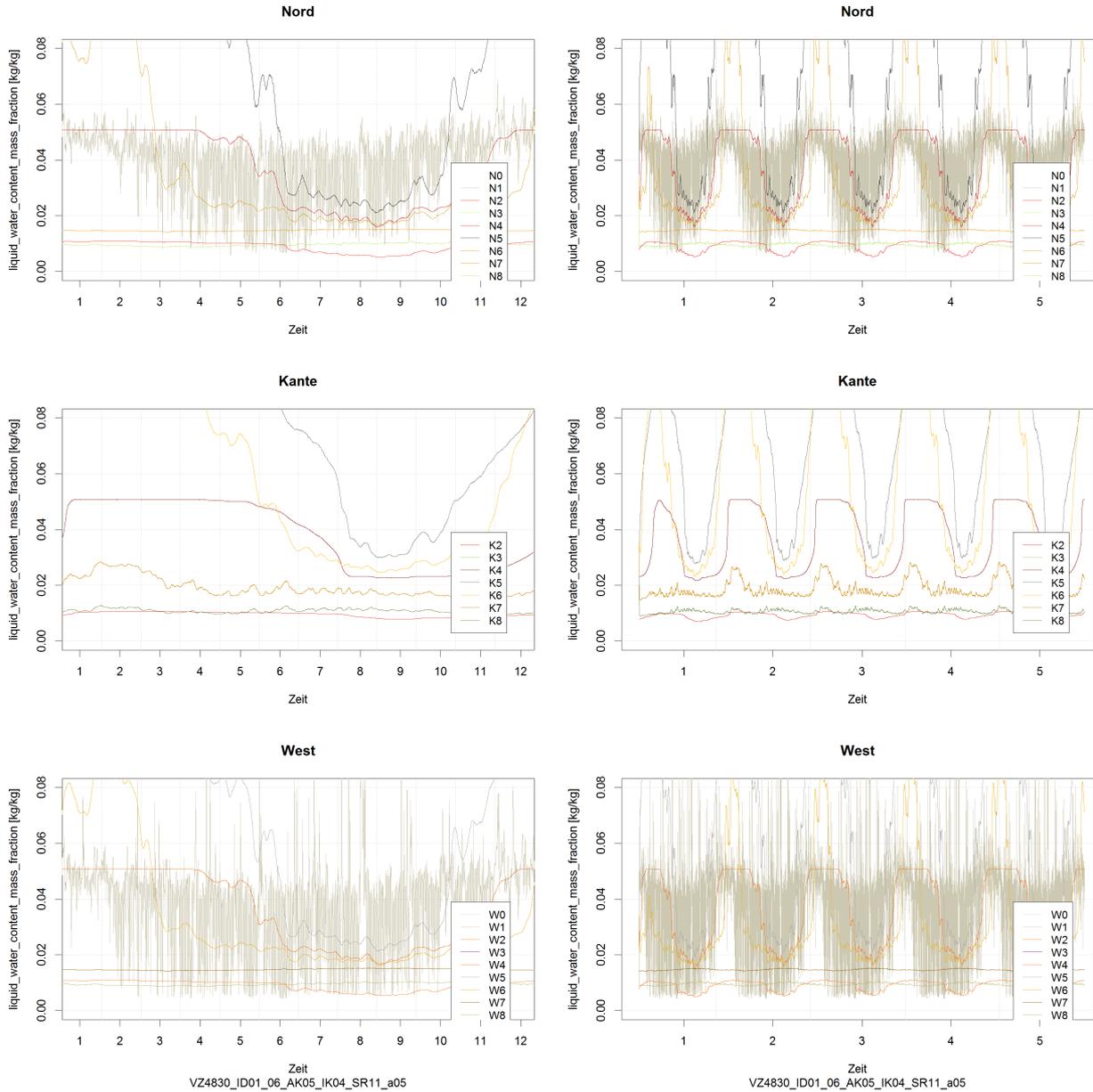


Abbildung 59: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction

4.3.2 Flüssigwassergehalt, massebezogen – Bereiche

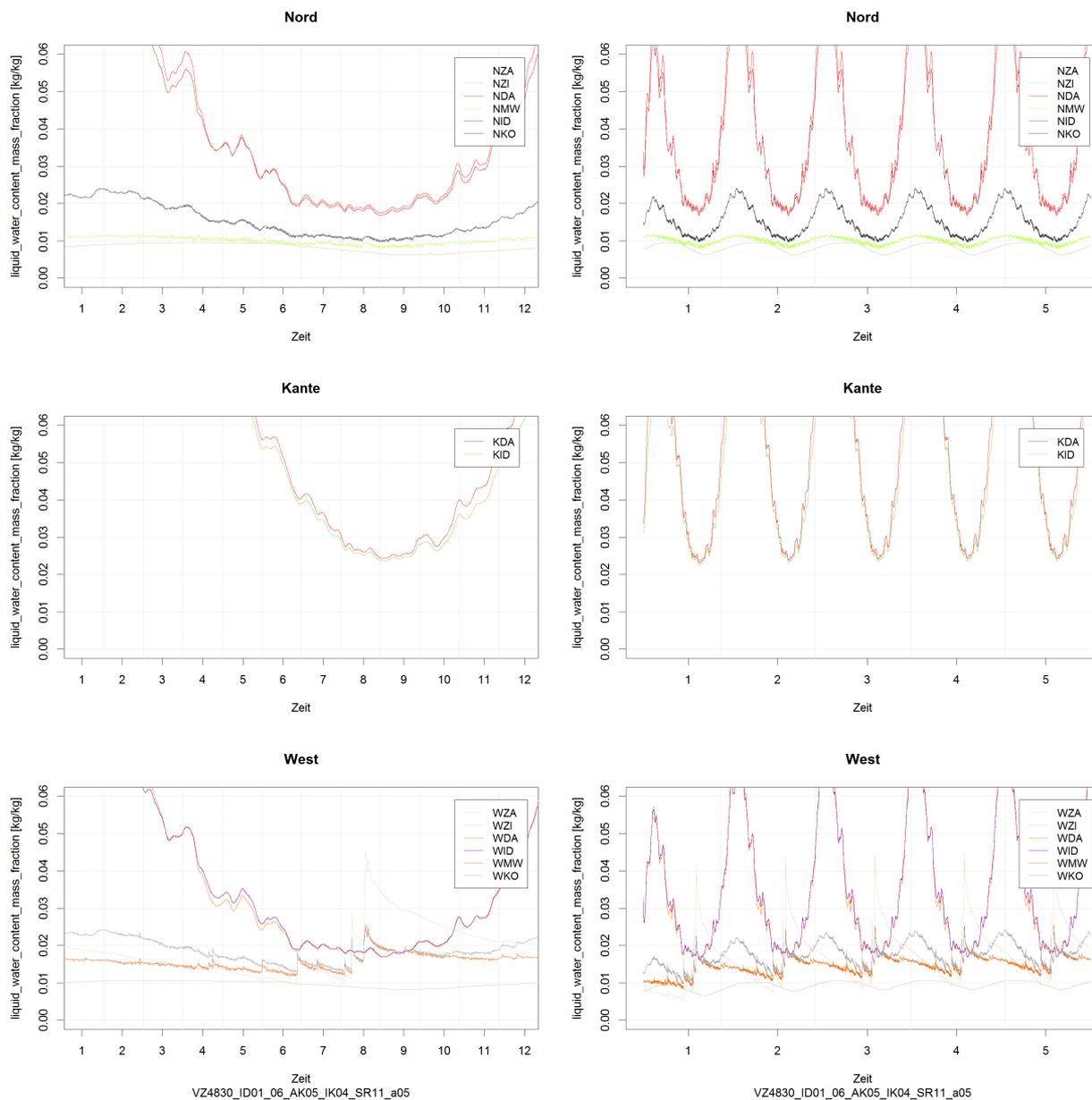


Abbildung 60: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction_ABC

4.3.3 Flüssigwassergehalt, massebezogen im 5. Jahr – Positionen

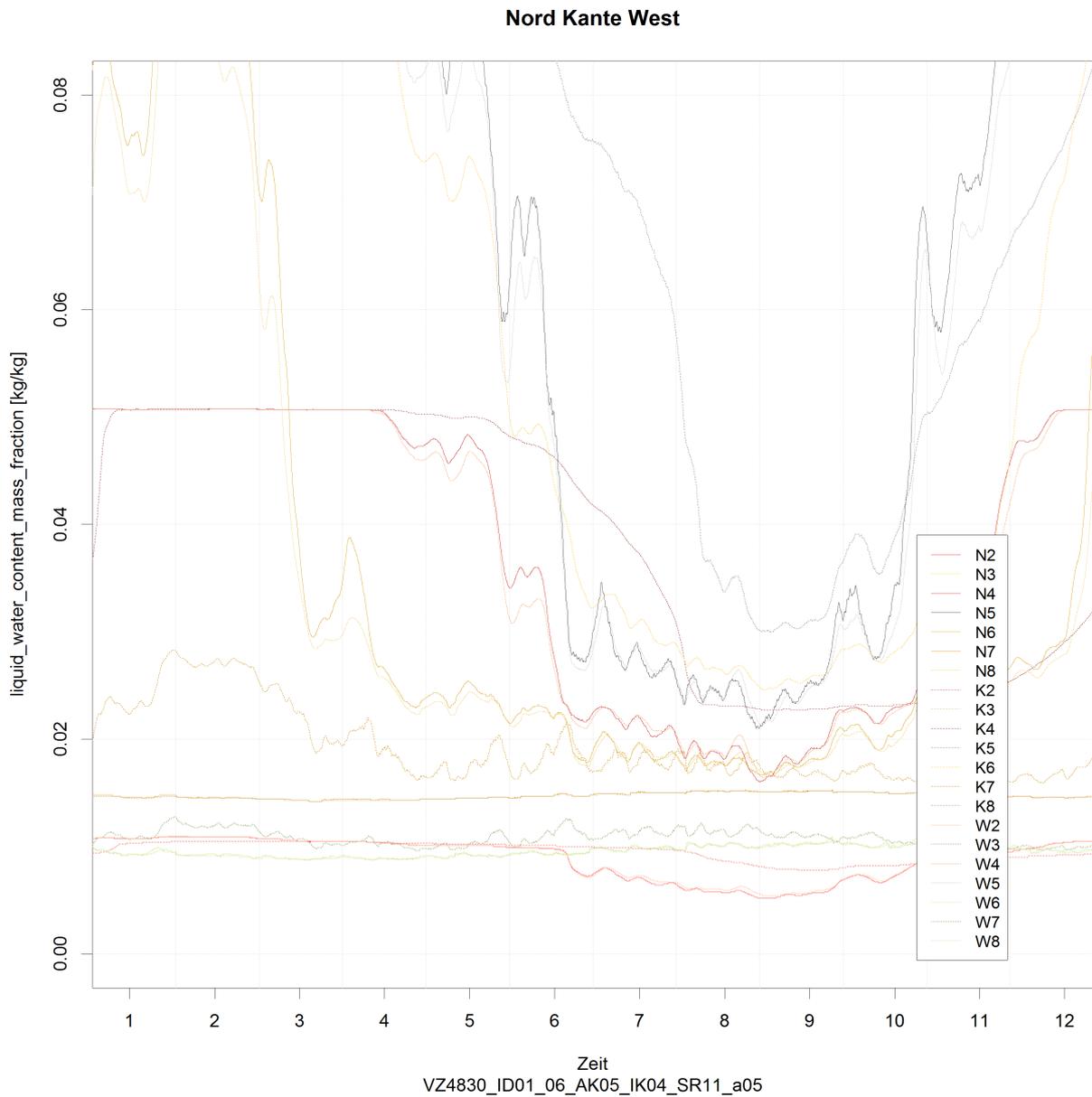


Abbildung 61: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction_5Jahr

4.3.4 Flüssigwassergehalt, massebezogen im 5. Jahr – Bereiche

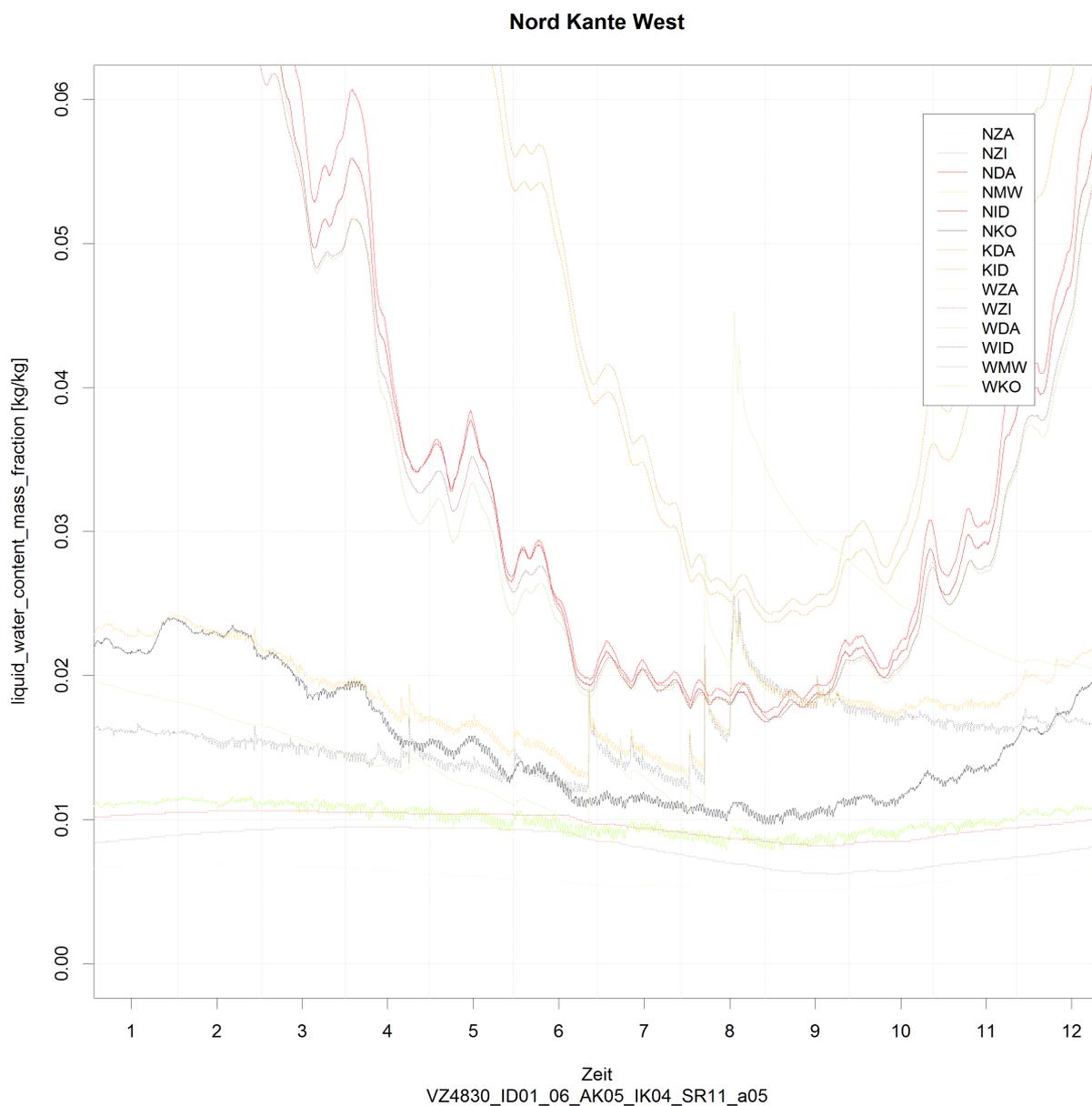


Abbildung 62:
VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction_5Jahr_ABC

4.3.5 Flüssigwassergehalt, volumenbezogen – Positionen

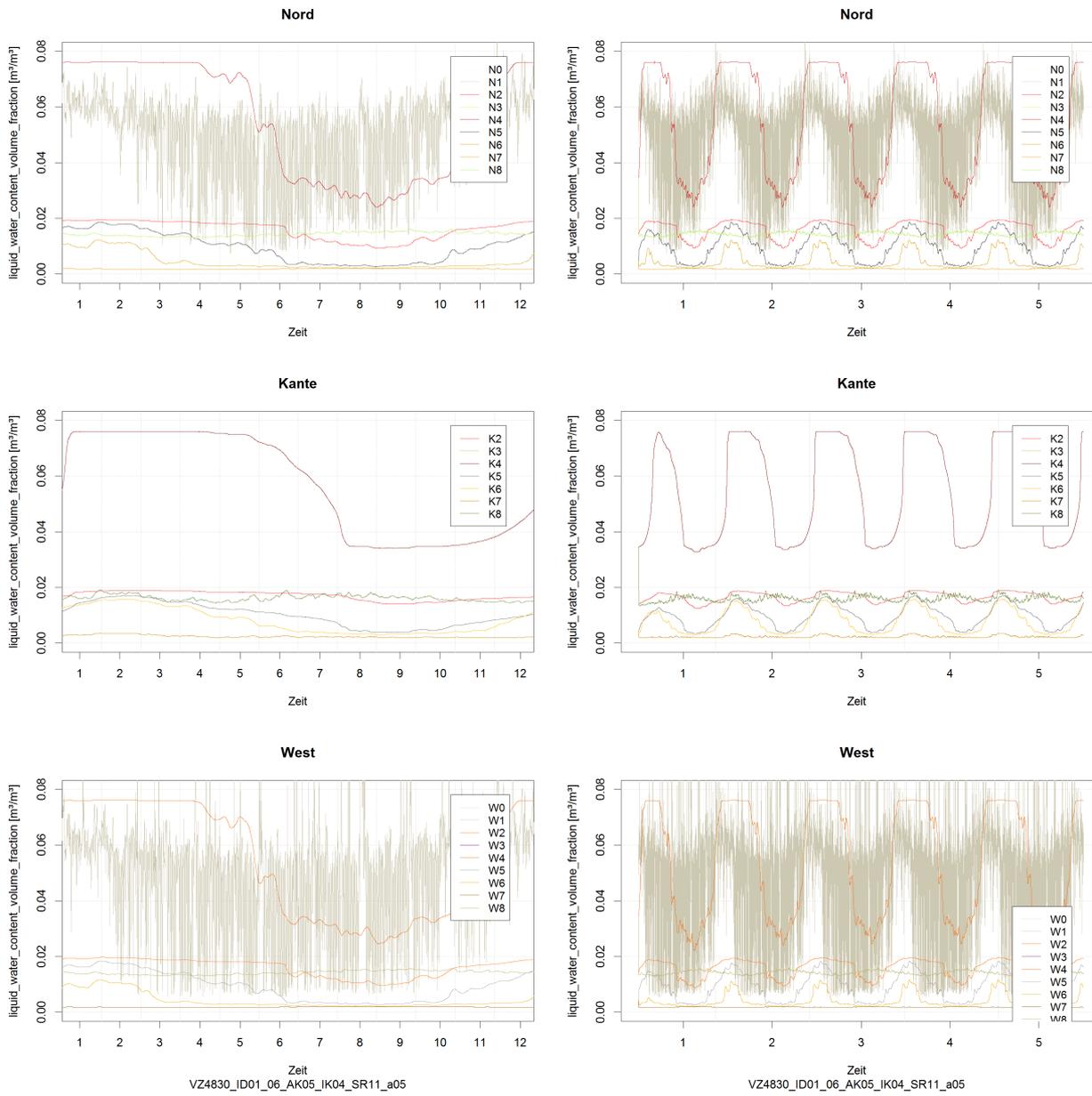


Abbildung 63: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction

4.3.6 Flüssigwassergehalt, volumenbezogen – Bereiche

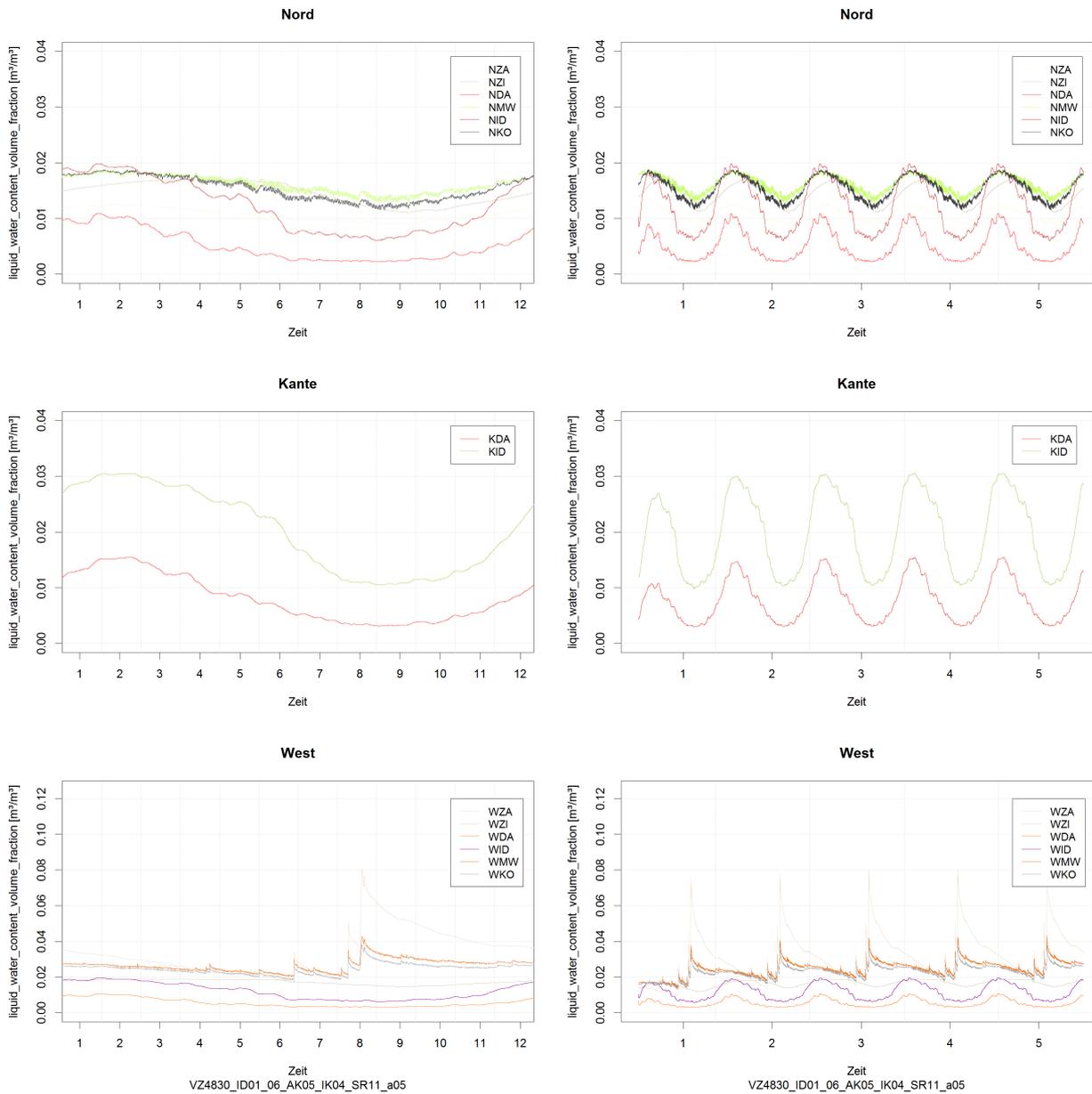


Abbildung 64: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction_ABC

4.3.7 Flüssigwassergehalt, volumenbezogen im 5. Jahr – Positionen

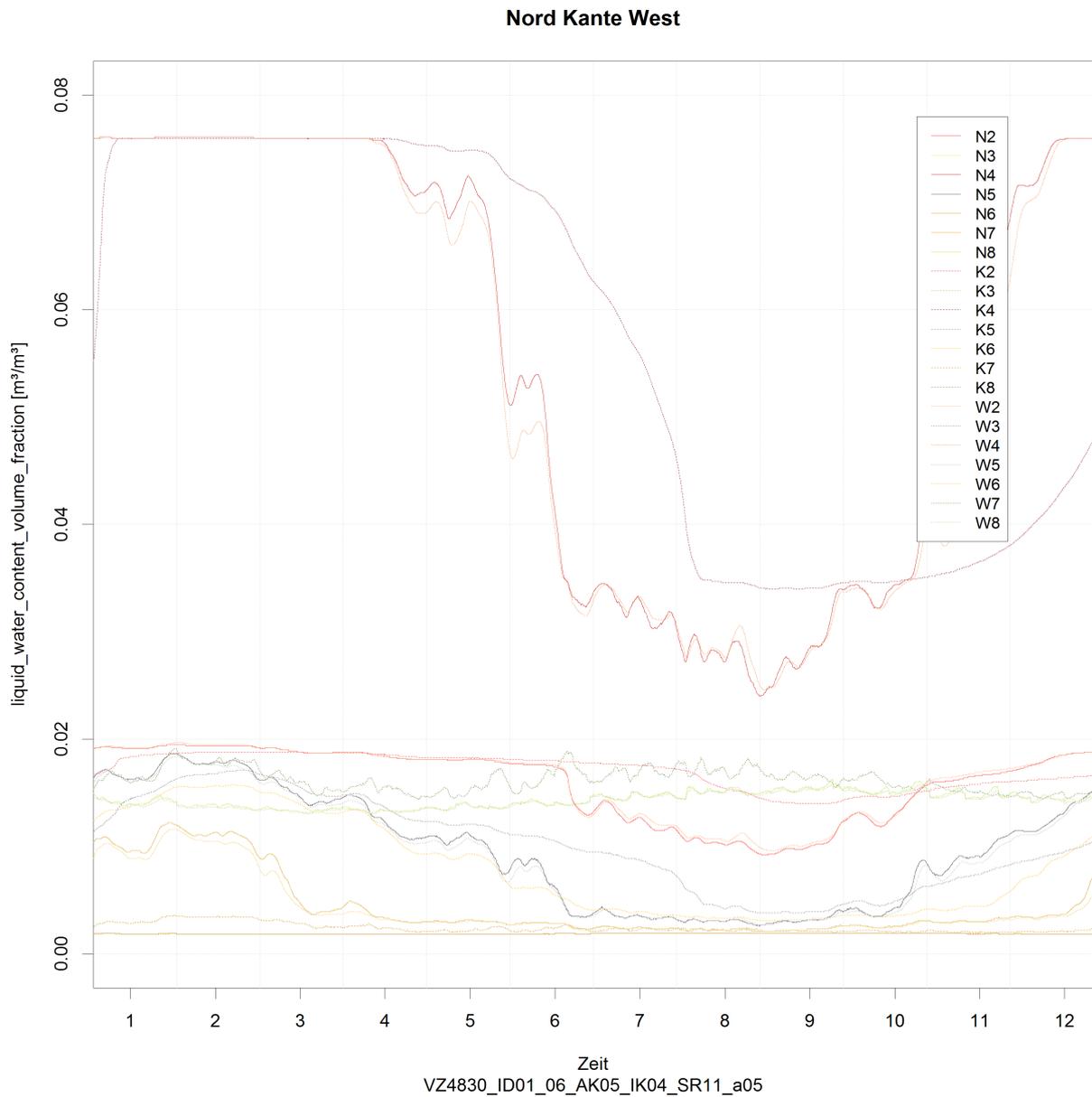


Abbildung 65:
VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction_5Jahr

4.3.8 Flüssigwassergehalt, volumenbezogen im 5. Jahr – Bereiche

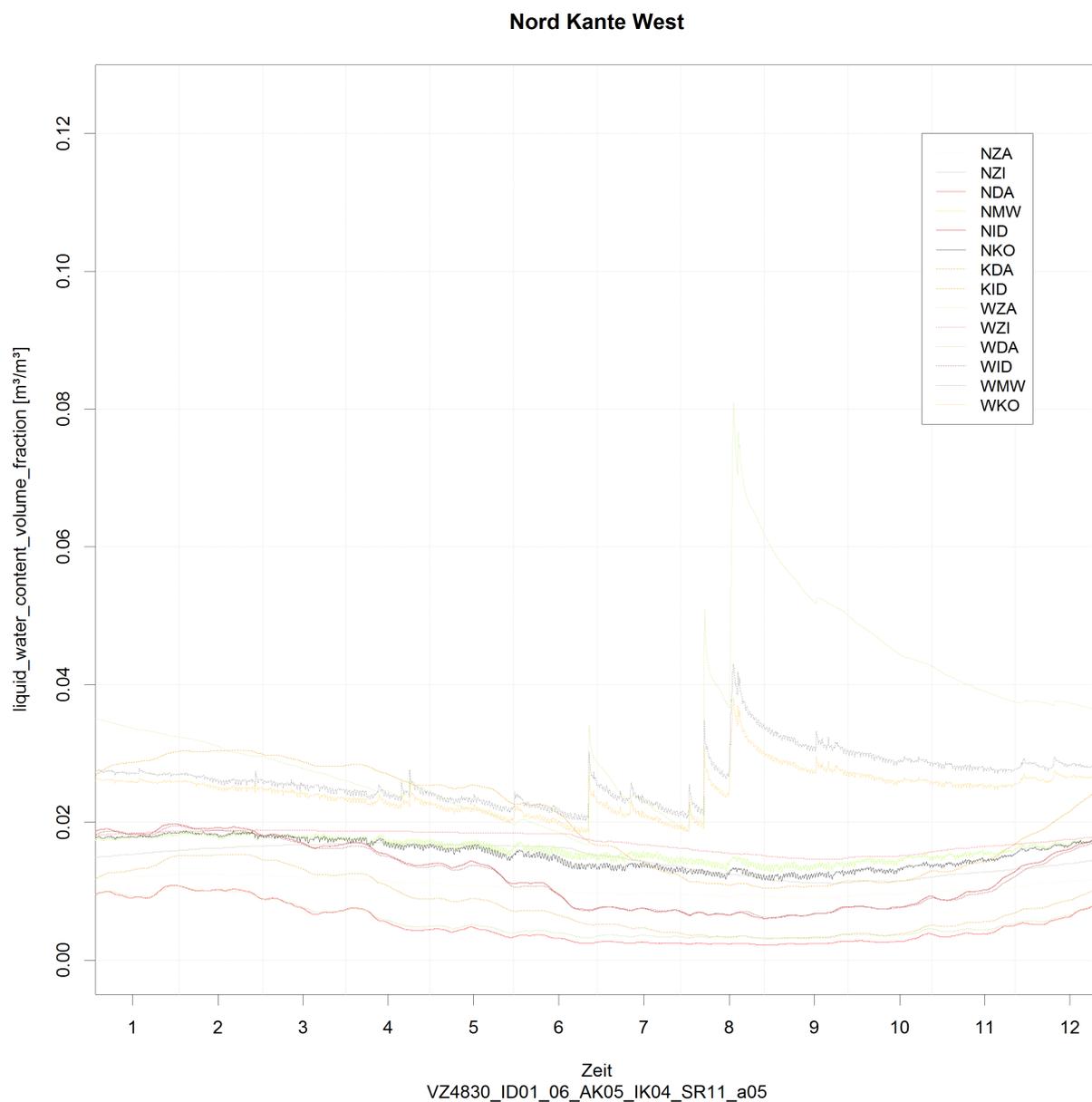


Abbildung 66:
 VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction_5Jahr_ABC

4.4 Wassergehalt

4.4.1 Wassergehalt – Positionen

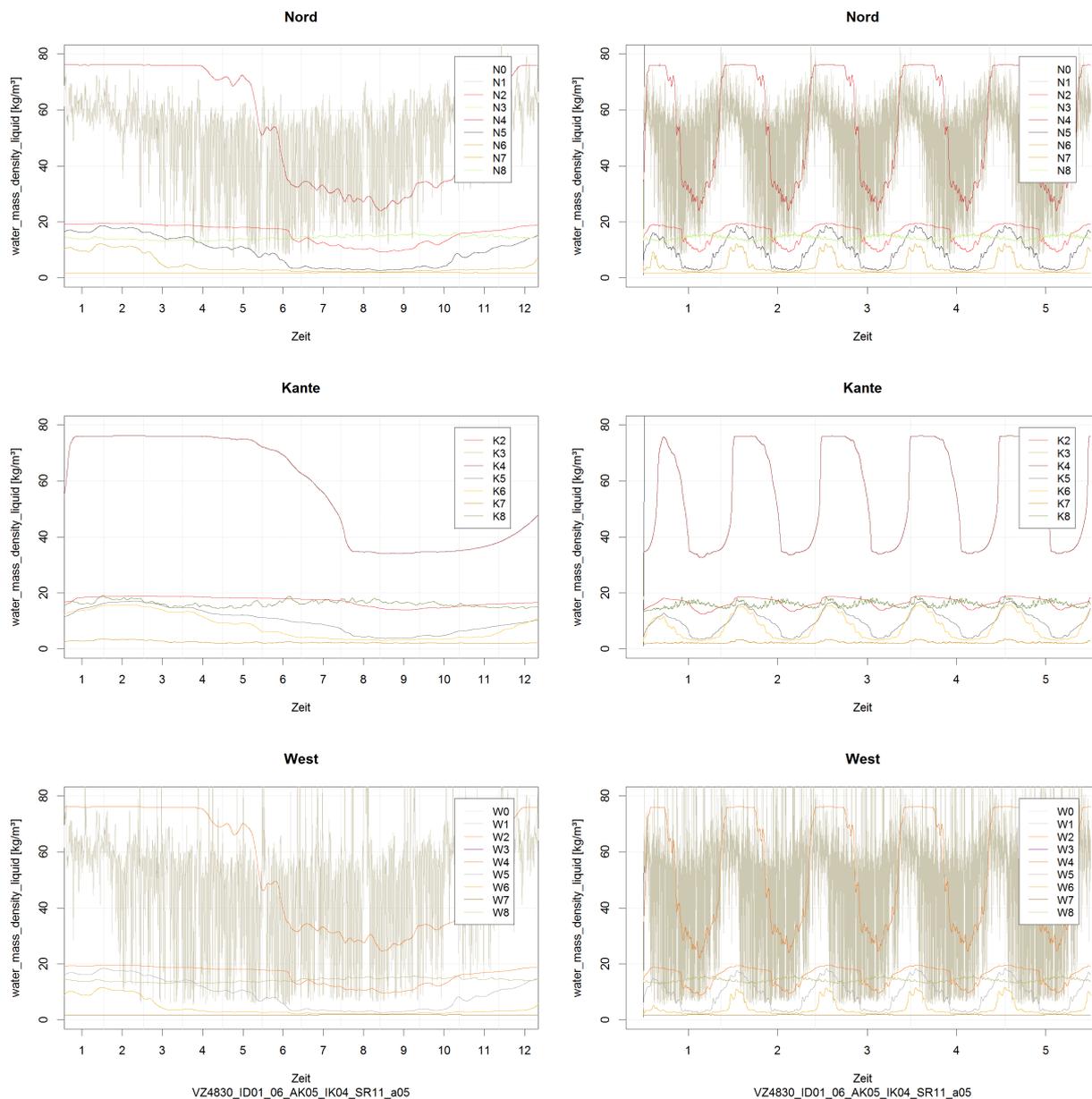


Abbildung 67: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid

4.4.2 Wassergehalt – Bereiche

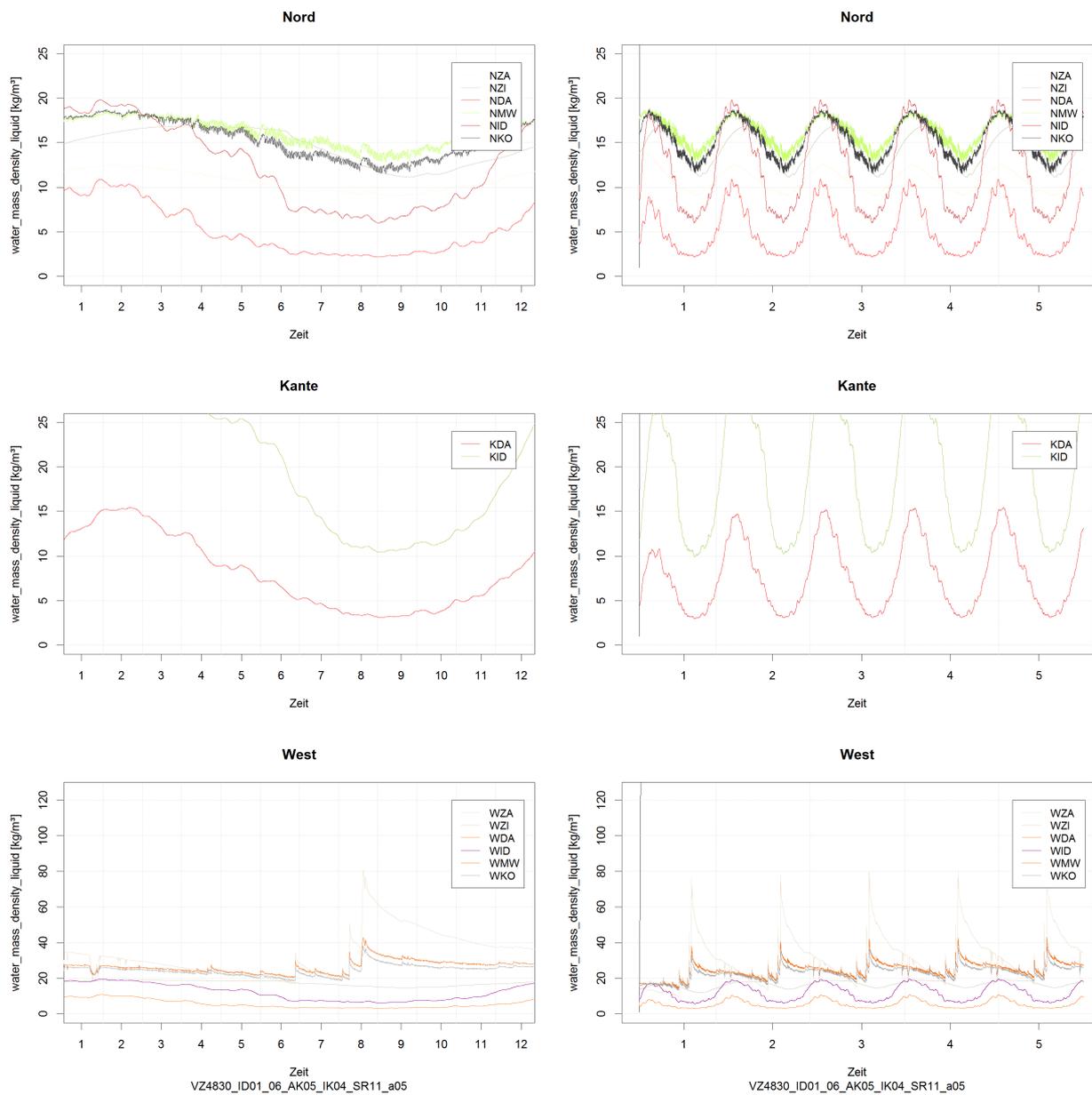


Abbildung 68: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid_ABC

4.4.3 Wassergehalt im 5. Jahr – Positionen

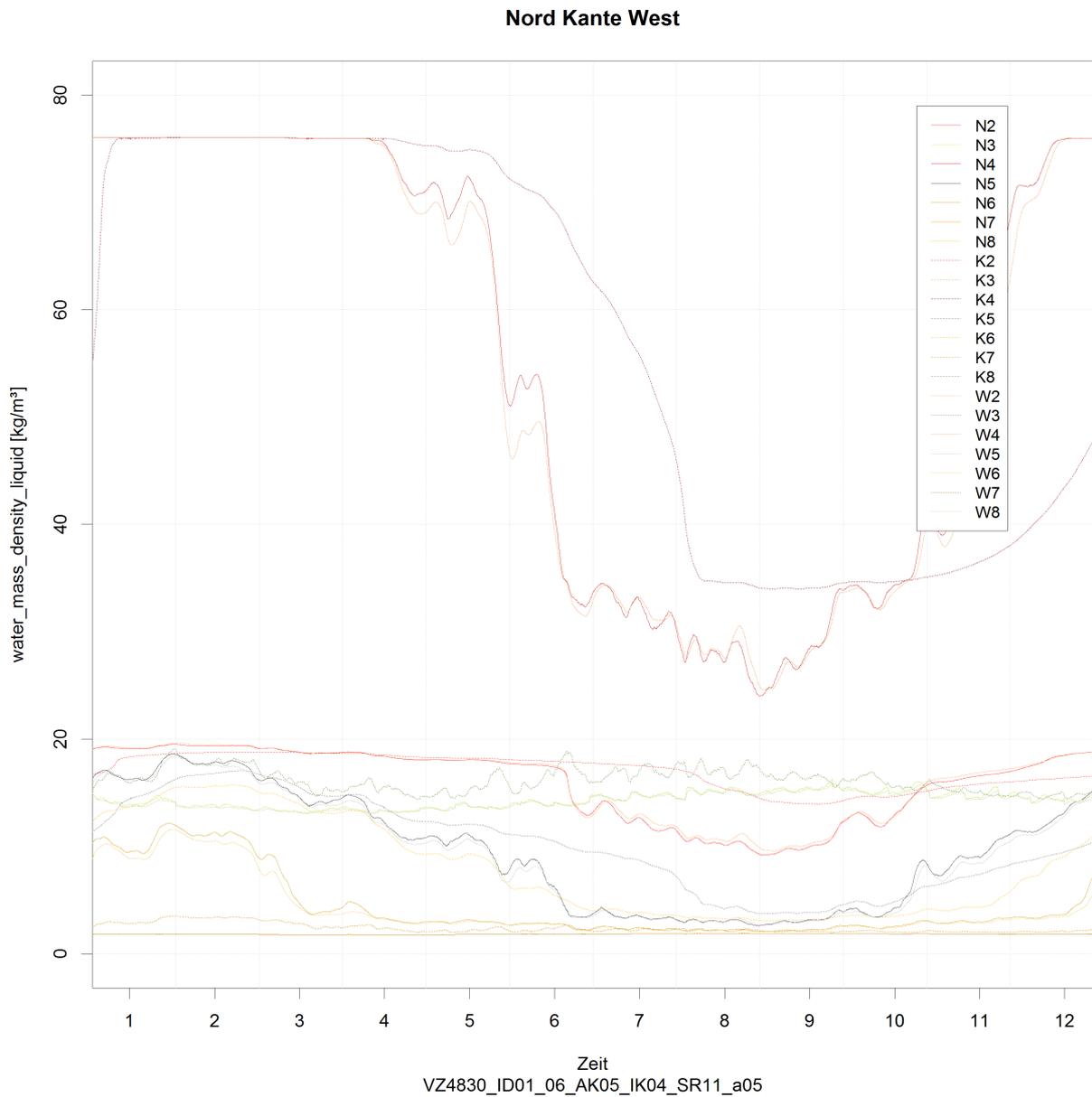


Abbildung 69: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid_5Jahr

4.4.4 Wassergehalt im 5. Jahr – Bereiche

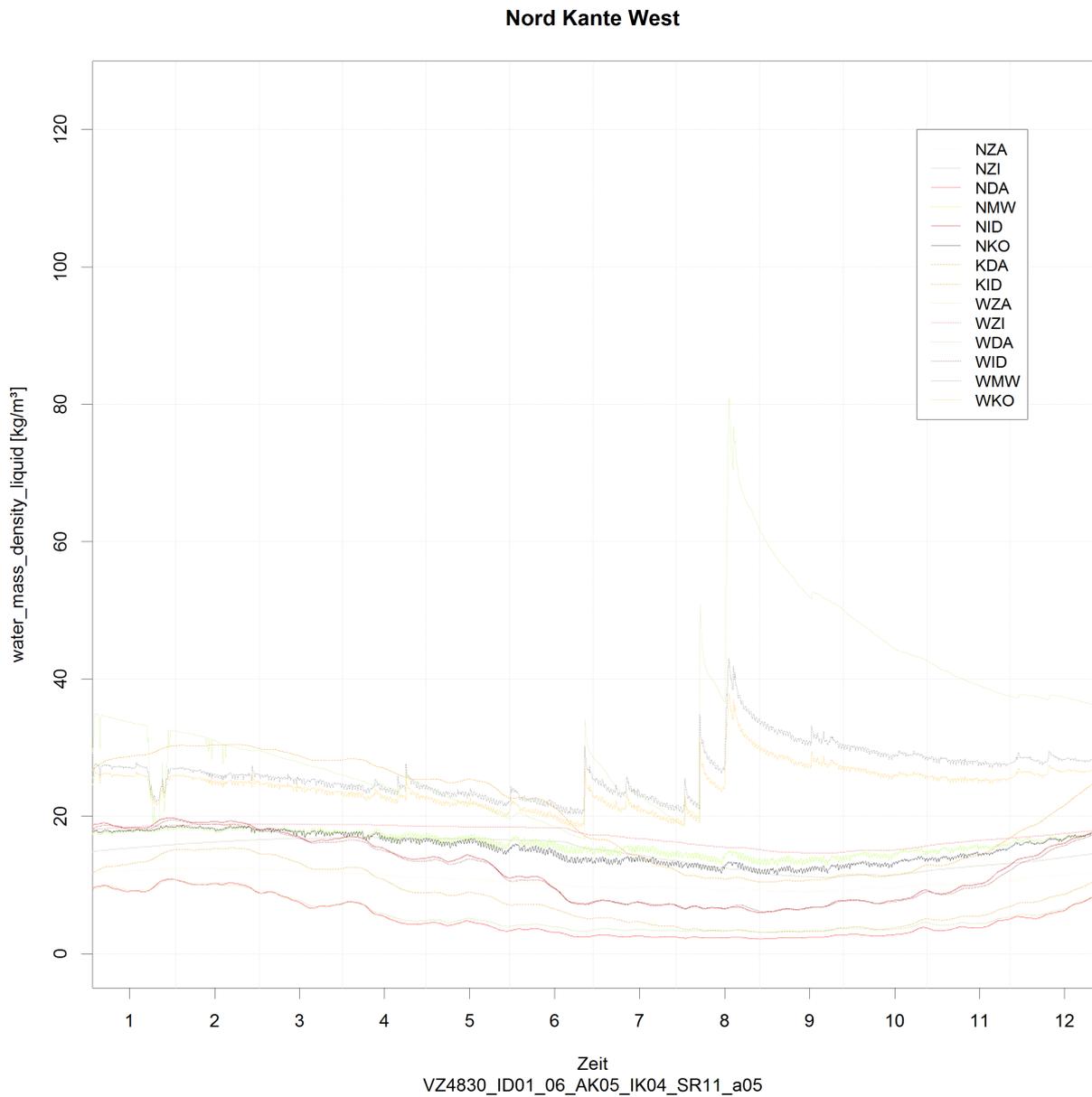


Abbildung 70: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid_5Jahr_ABC

4.5 Frost-Tau-Zyklen

4.6 Verhältnis Eisvolumen zu Porenvolumen

4.7 Wasserdampfgehalt

4.7.1 Wasserdampfgehalt – Positionen

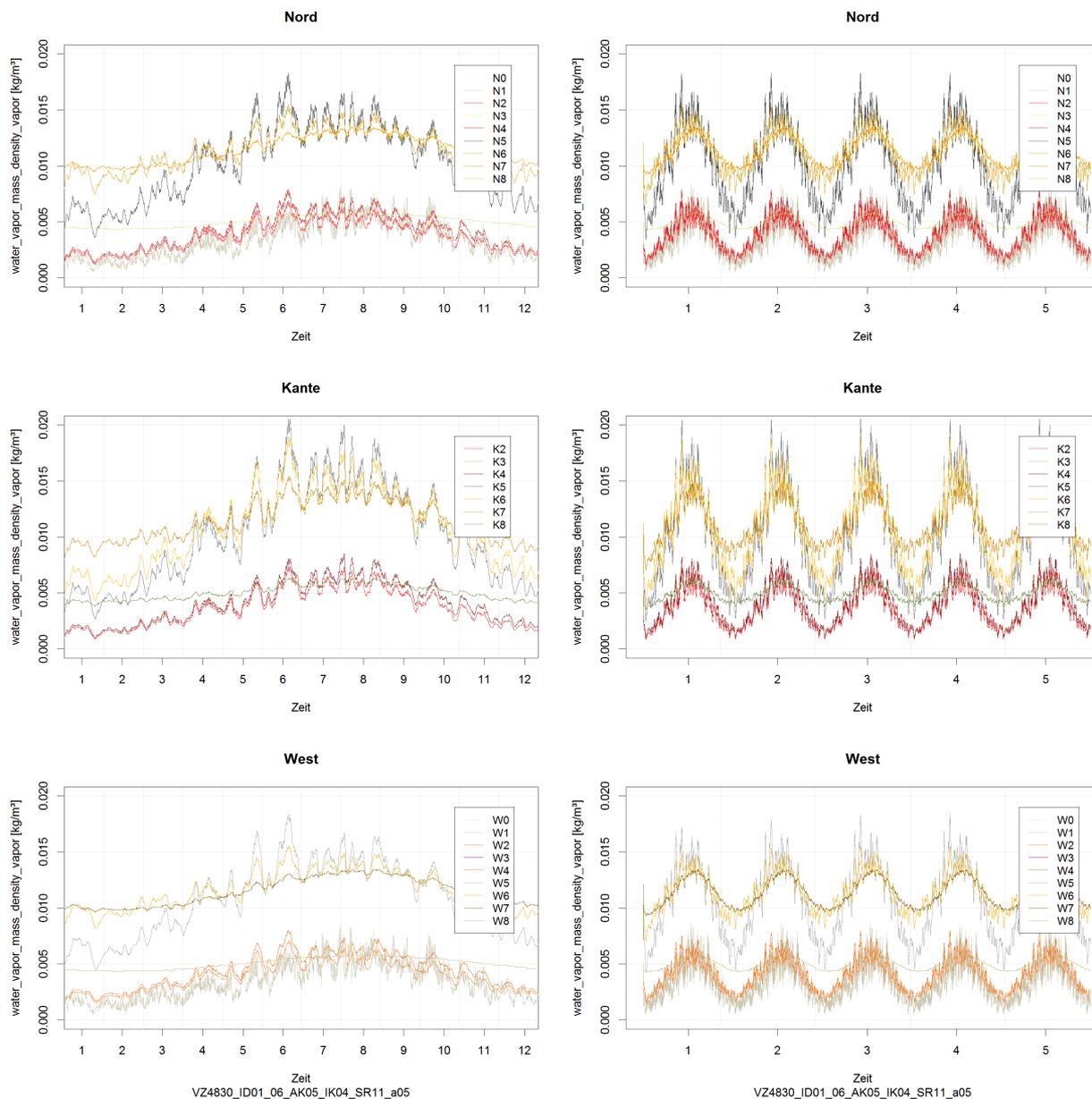


Abbildung 71: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_vapor_mass_density_vapor

4.7.2 Wasserdampfgehalt im 5. Jahr – Positionen

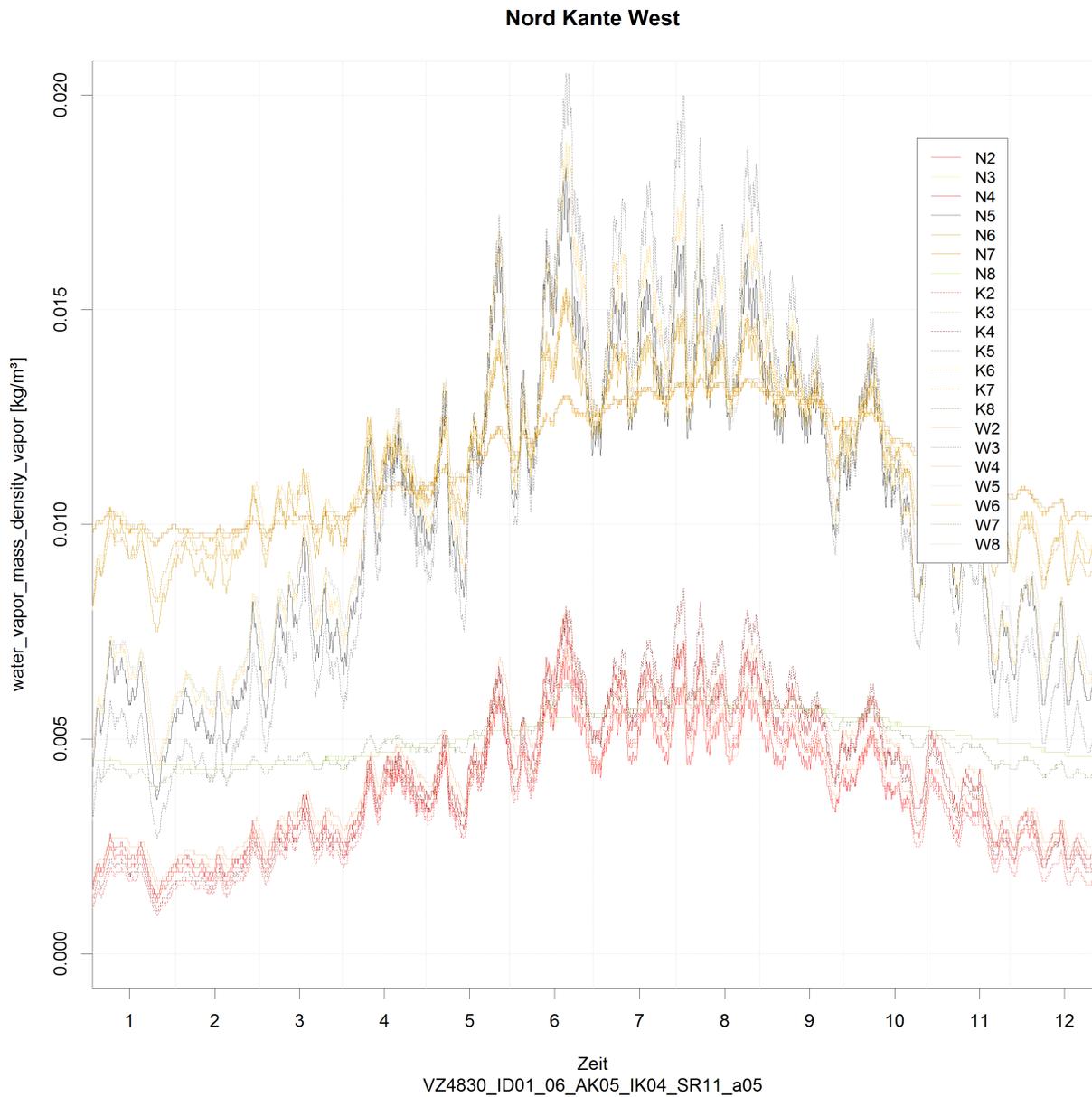


Abbildung 72: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_vapor_mass_density_vapor_5Jahr

4.8 Innenraumklima

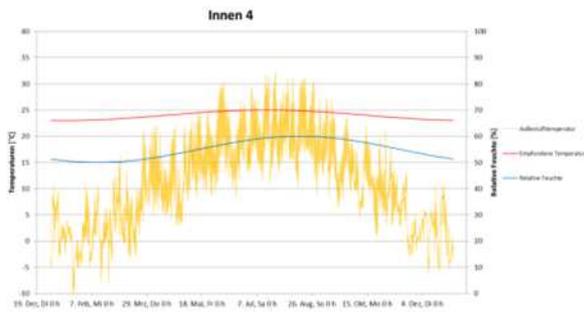


Abbildung 73: IK04a

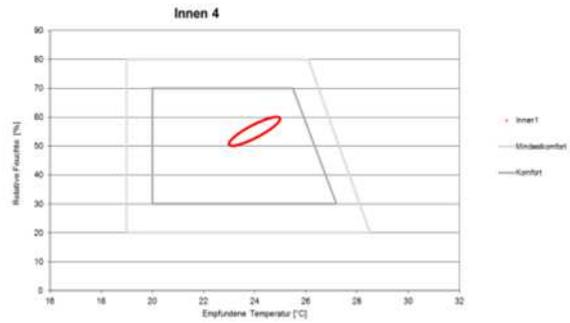


Abbildung 74: IK04b

	Min.	1st Qu.	Median	Mesun	3rd Qu.	Max.
Jahr	20,00	20,30	21,00	21,00	21,70	22,00
Jänner	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Februar	20,00	20,10	20,15	20,16	20,20	20,30
März	20,30	20,40	20,50	20,52	20,60	20,80
April	20,80	20,90	21,00	21,02	21,10	21,30
Mai	21,30	21,40	21,50	21,51	21,60	21,70
Juni	21,70	21,80	21,90	21,87	21,90	22,00
Juli	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
August	21,70	21,80	21,85	21,84	21,90	22,00
September	21,20	21,40	21,50	21,47	21,60	21,70
Oktober	20,70	20,80	21,00	20,97	21,10	21,20
November	20,30	20,40	20,50	20,48	20,60	20,70
Dezember	20,00	20,10	20,10	20,12	20,20	20,30

Abbildung 75: IK04d

	Min.	1st Qu.	Median	Mesun	3rd Qu.	Max.
Jahr	50,00	51,00	55,00	55,00	59,00	60,00
Jänner	50,00	50,00	51,00	50,53	51,00	51,00
Februar	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
März	50,00	50,00	51,00	50,71	51,00	52,00
April	52,00	52,00	53,00	52,67	53,00	54,00
Mai	54,00	54,00	55,00	55,10	56,00	56,00
Juni	56,00	57,00	58,00	57,59	58,00	59,00
Juli	59,00	59,00	59,00	59,42	60,00	60,00
August	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
September	58,00	59,00	59,00	59,23	60,00	60,00
Oktober	56,00	57,00	57,00	57,26	58,00	58,00
November	54,00	54,00	55,00	54,83	55,00	56,00
Dezember	51,00	52,00	52,00	52,31	53,00	54,00

Abbildung 76: IK04e

4.9 Untersuchte Bereiche

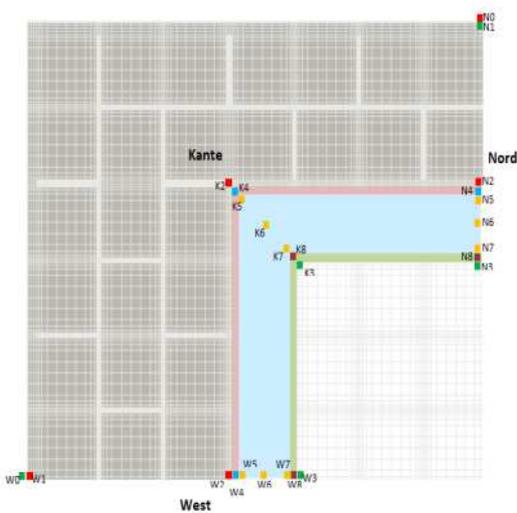


Abbildung 77:
VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Untersuchte_Bereiche

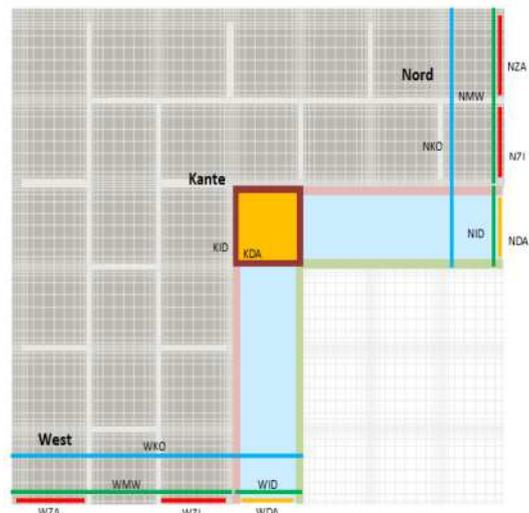


Abbildung 78: Untersuchte_Bereiche_ABC

5 Anhang E – Bezeichnung Simulationsdateien

Tabelle 78 Legende für die Bezeichnung der Simulationsdateien

Bestandskonstruktion_Innendämmsystem_Dämmstoffdicke_Ausserklima_Innenklima_Schlagregen/Solarstrahlung_Simulationsdauer.dpj VZ4830_ID01_06_AK01_IK01_SR01_a05.dpj		
Außenklimata	„AK03“ für HSKD _{Wien,mittel}	
	„AK05“ für HSKD _{Klagenfurt,kalt}	
	„AK16“ für HSKD _{Wien,kalt}	
Innenraumklimata nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Raumklimabedingungen (sinusförmig)	„IK01“, geringe Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2	
	„IK02“, normale Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2	
	„IK03“, hohe Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2	
Extreme Innenraumklimata auf Basis „hohe Feuchtelast“ nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Raumklimabedingungen (sinusförmig)	„IK04“, hohe Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei die Temperaturkurve um 3 °C nach Oben verschoben wird (entspricht „IK03“ + 3 °C)	
	„IK05“, hohe Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei auf die Feuchtwerte 10 % relative Feuchte addiert werden (entspricht „IK03“ + 10 % relative Feuchte)	
Innenraumklimata nach EN 15026 [51] und WTA Merkblatt 6-2-14/D [52]	„IK06“, Raumlufttemperaturen nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] und relative Feuchte der Raumluft nach EN 15026 [51] Profil A (entspricht auch WTA 6-2-14 „normale Feuchtelast“)	
	„IK07“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte nach EN 15026 [51] Profil B (entspricht auch WTA 6-2-14 hohe Feuchtelast)	
	„IK08“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „normale Belegung“ +5 % nach WTA 6-2-14 [52]	
	„IK09“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „niedrige Belegung“ nach WTA 6-2-14 [52]	
Raumklimabedingungen nach EN 13788 [61]	„IK10“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil A	
	„IK11“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil B	
Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation	Bestand „V1“	„IK12“, Variante Bestand „V1“ Modellraum SW01
		„IK13“, Variante Bestand „V1“ Modellraum SW02
		„IK14“, Variante Bestand „V1“ Modellraum SW03
	Sanierung Minimal „V2“	„IK15“, Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW01
		„IK16“, Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW02
		„IK17“, Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW03
	Sanierung OIB „V3“	„IK18“, Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW01
		„IK19“, Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW02
	Sanierung OIB „V3“	„IK20“, Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW03
		„IK21“, Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW01
	Sanierung Maximal „V4“	„IK22“, Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW02
		„IK23“, Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW03
		„IK24“, Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW01
	Sanierung Enerphit „V5“	„IK25“, Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW02
		„IK26“, Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW03
Konstruktion	„VZ4830“, „SB2012“	Kürzel „VZ4830“ steht für die untersuchte Bestandskonstruktion Vollziegel, mit einer Wanddicke von 48 cm Richtung Westen und 30 cm Richtung Norden. Als Kennzeichnung für weiterführende Studien werden die Kürzel „HZ“ Hohlziegel, „SZ“ Sichtziegelmauerwerk, „SB“ Stahlbeton und „NS“ Naturstein für Bestandskonstruktionen festgelegt.
	„ID01“, „ID02“	Kürzel „ID“ beschreibt das Innendämmsystem. „ID00“ steht für die nicht gedämmte Bestandswand, „ID01“ für das Innendämmsystem Mineralfällplatte, „ID02“ für das Innendämmsystem Calciumsilikatplatte.
	„03“, „06“, „09“, „12“	Auf die Beschreibung der Art des Innendämmsystems folgt die Angabe der Dämmstoffdicke. Bei der ungedämmten Bestandswand steht hier folglich „00“. Für das Innendämmsystem „ID01“ wurden beispielsweise Dämmstoffdicken mit 3 cm („03“), 6 cm („06“), 9 cm („09“) und 12 cm („12“) festgelegt.
Simulationsparameter	Schlagregen, direkte Solarstrahlung	„SR00“ ist eine Variante ohne Schlagregen, ohne direkte Solarstrahlung.
		„SR01“ ist eine Variante ohne Schlagregen, mit direkter Solarstrahlung.
„a05“	„SR11“ ist eine Variante mit Schlagregen, mit direkter Solarstrahlung und	
	„SR10“ ist eine Variante mit Schlagregen, ohne direkte Solarstrahlung.	
		„a05“ Simulationsdauer gleich 5 Jahre

6 Anhang F – Liste mit Delphin simulierter Varianten

Tabelle 79 Liste mit Delphin simulierter Varianten

Fortlaufende Nummer	Bestandskonstruktion	Immerdämmsystem	Außenklima	Innenklima	Schlagregen	direkte Solarstrahlung	Dateiname
1	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK01	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK01_SR00_a05.dpj
2	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK01	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK01_SR01_a05.dpj
3	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK01	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK01_SR10_a05.dpj
4	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK01_SR11_a05.dpj
5	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK02	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK02_SR00_a05.dpj
6	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK02	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK02_SR01_a05.dpj
7	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK02	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK02_SR10_a05.dpj
8	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK02_SR11_a05.dpj
9	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK03	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK03_SR00_a05.dpj
10	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK03	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK03_SR01_a05.dpj
11	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK03	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK03_SR10_a05.dpj
12	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK03_SR11_a05.dpj
13	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK04_SR00_a05.dpj
14	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK04_SR01_a05.dpj
15	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK04_SR10_a05.dpj
16	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK04_SR11_a05.dpj
17	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK05	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK05_SR00_a05.dpj
18	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK05	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK05_SR01_a05.dpj
19	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK05	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK05_SR10_a05.dpj
20	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK05_SR11_a05.dpj
21	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK06	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK06_SR00_a05.dpj
22	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK06	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK06_SR01_a05.dpj
23	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK06	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK06_SR10_a05.dpj
24	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK06	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK06_SR11_a05.dpj
25	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK07	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK07_SR00_a05.dpj
26	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK07	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK07_SR01_a05.dpj
27	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK07	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK07_SR10_a05.dpj
28	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK07	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK07_SR11_a05.dpj
29	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK08	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK08_SR00_a05.dpj
30	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK08	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK08_SR01_a05.dpj
31	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK08	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK08_SR10_a05.dpj
32	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK08	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK08_SR11_a05.dpj
33	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK09	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK09_SR00_a05.dpj
34	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK09	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK09_SR01_a05.dpj
35	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK09	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK09_SR10_a05.dpj
36	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK09	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK09_SR11_a05.dpj
37	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK12	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK12_SR00_a05.dpj
38	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK12	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK12_SR01_a05.dpj
39	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK12	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK12_SR10_a05.dpj
40	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK12	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK12_SR11_a05.dpj
41	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK13	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK13_SR00_a05.dpj
42	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK13	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK13_SR01_a05.dpj
43	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK13	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK13_SR10_a05.dpj
44	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK13	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK13_SR11_a05.dpj
45	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK14	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK14_SR00_a05.dpj
46	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK14	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK14_SR01_a05.dpj
47	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK14	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK14_SR10_a05.dpj
48	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK03	IK14	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK03_IK14_SR11_a05.dpj
49	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK05	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK05_IK01_SR11_a05.dpj
50	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK05	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK05_IK02_SR11_a05.dpj
51	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK05	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK05_IK03_SR11_a05.dpj
52	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK05	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK05_IK04_SR11_a05.dpj
53	Vollziegelmauerwerk	Bestand	AK05	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID00_00_AK05_IK05_SR11_a05.dpj

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 80 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)

Fortlaufende Nummer	Bestandskonstruktion	Innendämmsystem	Außenklima	Innenklima	Schlagregen	direkte Solarstrahlung	Dateiname
54	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK01_SR00_a05.dpj
55	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK01_SR01_a05.dpj
56	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK01_SR10_a05.dpj
57	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK01_SR11_a05.dpj
58	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK02_SR00_a05.dpj
59	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK02_SR01_a05.dpj
60	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK02_SR10_a05.dpj
61	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK02_SR11_a05.dpj
62	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK03_SR00_a05.dpj
63	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK03_SR01_a05.dpj
64	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK03_SR10_a05.dpj
65	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK03_SR11_a05.dpj
66	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK04_SR00_a05.dpj
67	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK04_SR01_a05.dpj
68	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK04_SR10_a05.dpj
69	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK04_SR11_a05.dpj
70	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK05_SR00_a05.dpj
71	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK05_SR01_a05.dpj
72	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK05_SR10_a05.dpj
73	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK05_SR11_a05.dpj
74	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK06_SR00_a05.dpj
75	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK06_SR01_a05.dpj
76	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK06_SR10_a05.dpj
77	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK06_SR11_a05.dpj
78	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK07_SR00_a05.dpj
79	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK07_SR01_a05.dpj
80	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK07_SR10_a05.dpj
81	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK07_SR11_a05.dpj
82	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK08_SR00_a05.dpj
83	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK08_SR01_a05.dpj
84	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK08_SR10_a05.dpj
85	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK08_SR11_a05.dpj
86	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK09_SR00_a05.dpj
87	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK09_SR01_a05.dpj
88	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK09_SR10_a05.dpj
89	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK09_SR11_a05.dpj
90	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK15	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK15_SR00_a05.dpj
91	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK15	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK15_SR01_a05.dpj
92	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK15	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK15_SR10_a05.dpj
93	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK15	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK15_SR11_a05.dpj
94	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK16	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK16_SR00_a05.dpj
95	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK16	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK16_SR01_a05.dpj
96	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK16	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK16_SR10_a05.dpj
97	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK16	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK16_SR11_a05.dpj
98	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK17	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK17_SR00_a05.dpj
99	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK17	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK17_SR01_a05.dpj
100	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK17	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK17_SR10_a05.dpj
101	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK17	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK03_IK17_SR11_a05.dpj

Tabelle 81 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)

Fortlaufende Nummer	Bestandskonstruktion	Innen-dämmsystem	Außenklima	Innenklima	Schlagregen	direkte Solarstrahlung	Dateiname
102	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK05_IK01_SR11_a05.dpj
103	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK05_IK02_SR11_a05.dpj
104	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK05_IK03_SR11_a05.dpj
105	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK05_IK04_SR11_a05.dpj
106	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK05_IK05_SR11_a05.dpj
107	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
108	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
109	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
110	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
111	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
112	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
113	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
114	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_03_AK16_IK05_SR11_a05.dpj
115	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK01_SR00_a05.dpj
116	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK01_SR01_a05.dpj
117	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK01_SR10_a05.dpj
118	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK01_SR11_a05.dpj
119	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK02_SR00_a05.dpj
120	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK02_SR01_a05.dpj
121	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK02_SR10_a05.dpj
122	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK02_SR11_a05.dpj
123	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK03_SR00_a05.dpj
124	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK03_SR01_a05.dpj
125	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK03_SR10_a05.dpj
126	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK03_SR11_a05.dpj
127	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK04_SR00_a05.dpj
128	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK04_SR01_a05.dpj
129	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK04_SR10_a05.dpj
130	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK04_SR11_a05.dpj
131	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK05_SR00_a05.dpj
132	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK05_SR01_a05.dpj
133	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK05_SR10_a05.dpj
134	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK05_SR11_a05.dpj
135	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK06_SR00_a05.dpj
136	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK06_SR01_a05.dpj
137	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK06_SR10_a05.dpj
138	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK06_SR11_a05.dpj
139	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK07_SR00_a05.dpj
140	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK07_SR01_a05.dpj
141	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK07_SR10_a05.dpj
142	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK07_SR11_a05.dpj
143	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK08_SR00_a05.dpj
144	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK08_SR01_a05.dpj
145	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK08_SR10_a05.dpj
146	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK08_SR11_a05.dpj
147	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK09_SR00_a05.dpj
148	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK09_SR01_a05.dpj
149	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK09_SR10_a05.dpj
150	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK03_IK09_SR11_a05.dpj

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 82 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)

Fortlaufende Nummer	Bestandskonstruktion	Innen-dämm-system	Außenklima	Innenklima	Schlagregen	direkte Solarstrahlung	Dateiname
151	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK05_IK01_SR11_a05.dpj
152	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK05_IK02_SR11_a05.dpj
153	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK05_IK03_SR11_a05.dpj
154	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05.dpj
155	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK05_IK05_SR11_a05.dpj
156	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
157	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
158	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
159	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
160	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
161	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
162	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
163	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_06_AK16_IK05_SR11_a05.dpj
164	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK01_SR00_a05.dpj
165	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK01_SR01_a05.dpj
166	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK01_SR10_a05.dpj
167	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK01_SR11_a05.dpj
168	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK02_SR00_a05.dpj
169	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK02_SR01_a05.dpj
170	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK02_SR10_a05.dpj
171	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK02_SR11_a05.dpj
172	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK03_SR00_a05.dpj
173	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK03_SR01_a05.dpj
174	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK03_SR10_a05.dpj
175	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK03_SR11_a05.dpj
176	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK04_SR00_a05.dpj
177	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK04_SR01_a05.dpj
178	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK04_SR10_a05.dpj
179	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK04_SR11_a05.dpj
180	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK05_SR00_a05.dpj
181	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK05_SR01_a05.dpj
182	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK05_SR10_a05.dpj
183	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK05_SR11_a05.dpj
184	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK06_SR00_a05.dpj
185	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK06_SR01_a05.dpj
186	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK06_SR10_a05.dpj
187	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK06	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK06_SR11_a05.dpj
188	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK07_SR00_a05.dpj
189	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK07_SR01_a05.dpj
190	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK07_SR10_a05.dpj
191	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK07	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK07_SR11_a05.dpj
192	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK08_SR00_a05.dpj
193	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK08_SR01_a05.dpj
194	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK08_SR10_a05.dpj
195	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK08	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK08_SR11_a05.dpj
196	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK09_SR00_a05.dpj
197	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK09_SR01_a05.dpj
198	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK09_SR10_a05.dpj
199	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK09	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_09_AK03_IK09_SR11_a05.dpj

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 84 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)

Fortlaufende Nummer	Bestandskonstruktion	Innen-dämmsystem	Außenklima	Innenklima	Schlagregen	direkte Solarstrahlung	Dateiname
265	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK21	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK21_SR00_a05.dpj
266	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK21	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK21_SR01_a05.dpj
267	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK21	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK21_SR10_a05.dpj
268	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK21	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK21_SR11_a05.dpj
269	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK22	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK22_SR00_a05.dpj
270	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK22	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK22_SR01_a05.dpj
271	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK22	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK22_SR10_a05.dpj
272	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK22	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK22_SR11_a05.dpj
273	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK23	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK23_SR00_a05.dpj
274	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK23	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK23_SR01_a05.dpj
275	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK23	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK23_SR10_a05.dpj
276	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK23	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK23_SR11_a05.dpj
277	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK24	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK24_SR00_a05.dpj
278	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK24	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK24_SR01_a05.dpj
279	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK24	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK24_SR10_a05.dpj
280	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK24	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK24_SR11_a05.dpj
281	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK25	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK25_SR00_a05.dpj
282	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK25	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK25_SR01_a05.dpj
283	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK25	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK25_SR10_a05.dpj
284	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK25	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK25_SR11_a05.dpj
285	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK26	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK26_SR00_a05.dpj
286	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK26	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK26_SR01_a05.dpj
287	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK26	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK26_SR10_a05.dpj
288	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK03	IK26	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK03_IK26_SR11_a05.dpj
289	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK05_IK01_SR11_a05.dpj
290	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK05_IK02_SR11_a05.dpj
291	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK05_IK03_SR11_a05.dpj
292	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK05_IK04_SR11_a05.dpj
293	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK05	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK05_IK05_SR11_a05.dpj
294	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
295	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
296	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
297	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
298	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
299	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
300	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
301	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK05_SR11_a05.dpj
302	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK06	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK06_SR11_a05.dpj
303	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK07	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK07_SR11_a05.dpj
304	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK08	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK08_SR11_a05.dpj
305	Vollziegelmauerwerk	Mineraldämmplatte	AK16	IK09	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID01_12_AK16_IK09_SR11_a05.dpj
306	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK01	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK01_SR00_a05.dpj
307	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK01	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK01_SR01_a05.dpj
308	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK01	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK01_SR10_a05.dpj
309	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
310	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
311	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
312	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
313	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
314	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
315	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
316	Stahlbeton	Bestand	AK16	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID00_00_AK16_IK05_SR11_a05.dpj

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 85 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)

Fortlaufende Nummer	Bestandskonstruktion	Innen-dämmssystem	Außenklima	Innenklima	Schlagregen	direkte Solarstrahlung	Dateiname
317	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
318	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
319	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
320	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
321	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
322	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
323	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
324	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_03_AK16_IK05_SR11_a05.dpj
325	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
326	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
327	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
328	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
329	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
330	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
331	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_06_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
332	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
333	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
334	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
335	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
336	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
337	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
338	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_09_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
339	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK01_SR11_a05.dpj
340	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK02_SR11_a05.dpj
341	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK03_SR11_a05.dpj
342	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK04_SR00_a05.dpj
343	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK04_SR01_a05.dpj
344	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK04_SR10_a05.dpj
345	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK04_SR11_a05.dpj
346	Stahlbeton	Mineraldämmplatte	AK16	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\SB2012_ID01_12_AK16_IK05_SR11_a05.dpj
347	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK01_SR11_a05.dpj
348	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK02_SR11_a05.dpj
349	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK03_SR11_a05.dpj
350	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK04_SR11_a05.dpj
351	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK05_SR11_a05.dpj
352	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK06	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK06_SR11_a05.dpj
353	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK07	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK07_SR11_a05.dpj
354	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK08	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK08_SR11_a05.dpj
355	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK03	IK09	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK03_IK09_SR11_a05.dpj
356	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK01	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK01_SR11_a05.dpj
357	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK02	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK02_SR11_a05.dpj
358	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK03	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK03_SR11_a05.dpj
359	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK04	0	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK04_SR00_a05.dpj
360	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK04	0	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK04_SR01_a05.dpj
361	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK04	1	0	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK04_SR10_a05.dpj
362	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK04	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK04_SR11_a05.dpj
363	Vollziegelmauerwerk	Calciumsilikatplatte	AK05	IK05	1	1	G:\Dissertation_Simulationen\VZ4830_ID02_04_AK05_IK05_SR11_a05.dpj

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung 1 Grundriss Testraum GZH (Kleingartenhaus mit ganzjähriger Wohnnutzung) mit unterschiedlich großer südorientierter Verglasung.	6
Abbildung 2 Grundriss Testraum EFH (Einfamilienhaus) mit unterschiedlich großer südorientierter Verglasung.	8
Abbildung 3 Grundriss Testraum RHn (nord-südorientiertes Reihenhaus) mit unterschiedlich großer südorientierter Verglasung.	10
Abbildung 4 Novaragasse 49, Machbarkeitsstudie [3] (o.M.)	12
Abb. 5 Modellraum SW02, (Vgl. Novaragasse 49 Machbarkeitsstudie [3]) (o.M.)	16
Abbildung 6 Abwicklung Modellraum SW02, Erdgeschoß (o.M.)	18
Abbildung 7 Abwicklung Modellraum SW02, 1. und 2. Obergeschoß (o.M.)	18
Abbildung 8 Abwicklung Modellraum SW02, 3. und 4. Obergeschoß (o.M.)	18
Abb. 9 Modellraum SW03, (Vgl. Novaragasse 49 Machbarkeitsstudie [3]) (o.M.)	18
Abbildung 10 Abwicklung Modellraum SW03, Erdgeschoß (o.M.)	20
Abbildung 11 Abwicklung Modellraum SW03, 1. und 2. Obergeschoß (o.M.)	20
Abbildung 12 Abwicklung Modellraum SW03, 3. und 4. Obergeschoß (o.M.)	20
Abbildung 13 Innenraumklimata, Temperatur im Jänner	51
Abbildung 14 Innenraumklimata, Temperatur im Februar	51
Abbildung 15 Innenraumklimata, Temperatur im März	51
Abbildung 16 Innenraumklimata, Temperatur im April	51
Abbildung 17 Innenraumklimata, Temperatur im Mai	51
Abbildung 18 Innenraumklimata, Temperatur im Juni	51
Abbildung 19 Innenraumklimata, Temperatur im Juli	51
Abbildung 20 Innenraumklimata, Temperatur im August	51
Abbildung 21 Innenraumklimata, Temperatur im September	52
Abbildung 22 Innenraumklimata, Temperatur im Oktober	52
Abbildung 23 Innenraumklimata, Temperatur im November	52
Abbildung 24 Innenraumklimata, Temperatur im Dezember	52
Abbildung 25 Innenraumklimata, relative Feuchte im Jänner	52
Abbildung 26 Innenraumklimata, relative Feuchte im Februar	52
Abbildung 27 Innenraumklimata, relative Feuchte im März	52
Abbildung 28 Innenraumklimata, relative Feuchte im April	52
Abbildung 29 Innenraumklimata, relative Feuchte im Mai	53
Abbildung 30 Innenraumklimata, relative Feuchte im Juni	53
Abbildung 31 Innenraumklimata, relative Feuchte im Juli	53
Abbildung 32 Innenraumklimata, relative Feuchte im August	53
Abbildung 33 Innenraumklimata, relative Feuchte im September	53
Abbildung 34 Innenraumklimata, relative Feuchte im Oktober	53
Abbildung 35 Innenraumklimata, relative Feuchte im November	53
Abbildung 36 Innenraumklimata, relative Feuchte im Dezember	53
Abbildung 37 „IK01“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit geringer Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2	54
Abbildung 38 „IK02“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit normaler Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2	55
Abbildung 39 „IK03“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2	56
Abbildung 40 „IK04“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei die Temperaturkurve um 3 °C nach Oben verschoben wird (entspricht „IK03“ + 3 °C)	57

Abbildung 41 „IK05“, Raumklimabedingungen (sinusförmig) mit hoher Feuchtelast nach WTA Merkblatt 6-2-01 [45], Tabelle 2 wobei auf die Feuchtwerte 10 % relative Feuchte addiert werden (entspricht „IK03“ + 10 % relative Feuchte)	58
Abbildung 42 „IK06“, Raumlufttemperaturen nach WTA Merkblatt 6-2-14 [52] und relative Feuchte der Raumluft nach EN 15026 [51] Profil A (entspricht auch WTA 6-2-14 „normale Feuchtelast“)	59
Abbildung 43 „IK07“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte nach EN 15026 [51] Profil B (entspricht auch WTA 6-2-14 hohe Feuchtelast)	60
Abbildung 44 „IK08“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „normale Belegung“ +5 % nach WTA 6-2-14 [52]	61
Abbildung 45 „IK09“, Raumlufttemperatur nach EN 15026 [51], mit relativer Feuchte „niedrige Belegung“ nach WTA 6-2-14 [52]	62
Abbildung 46 „IK10“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil A	63
Abbildung 47 „IK11“, Raumlufttemperatur nach EN 13788 [61], mit relativer Feuchte nach EN 13788 Profil B	64
Abbildung 48 „IK13“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Variante Bestand „V1“ Modellraum SW02	65
Abbildung 49 „IK16“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Minimal „V2“ Modellraum SW02	66
Abbildung 50 „IK19“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung OIB „V3“ Modellraum SW02	67
Abbildung 51 „IK22“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Maximal „V4“ Modellraum SW02	68
Abbildung 52 „IK25“, Raumklimabedingungen aus Ergebnissen der Gebäudesimulation Sanierung Enerphit „V5“ Modellraum SW02	69
Abbildung 53 HSKDWien,mittel „AK03“	70
Abbildung 54 HSKDKlagenfurt,kalt „AK05“	70
Abbildung 55: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Relative_Feuchte	72
Abbildung 56: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Relative_Feuchte_5Jahr	73
Abbildung 57: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Temperatur	74
Abbildung 58: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Temperatur_5Jahr	75
Abbildung 59: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction	76
Abbildung 60: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction_ABC	77
Abbildung 61: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction_5Jahr	78
Abbildung 62: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_mass_fraction_5Jahr_ABC	79
Abbildung 63: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction	80
Abbildung 64: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction_ABC	81
Abbildung 65: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction_5Jahr	82
Abbildung 66: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_liquid_water_content_volume_fraction_5Jahr_ABC	83
Abbildung 67: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid	84
Abbildung 68: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid_ABC	85
Abbildung 69: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid_5Jahr	86
Abbildung 70: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_mass_density_liquid_5Jahr_ABC	87
Abbildung 71: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_vapor_mass_density_vapor	88
Abbildung 72: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_water_vapor_mass_density_vapor_5Jahr	89
Abbildung 73: IK04a	90
Abbildung 74: IK04b	90
Abbildung 75: IK04d	90
Abbildung 76: IK04e	90
Abbildung 77: VZ4830_ID01_06_AK05_IK04_SR11_a05_Untersuchte_Bereiche	90
Abbildung 78: Untersuchte_Bereiche_ABC	90

Tabellenverzeichnis Anhang

Tabelle 1: Beschreibung Testraum Kleingartenhaus	6
Tabelle 2 Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbooberfläche nach Varianten	7
Tabelle 3 Flächenaufstellung zu Testraum GZH (Kleingartenhaus mit ganzjähriger Wohnnutzung)	7
Tabelle 4 Beschreibung Testraum Einfamilienhaus	8
Tabelle 5 Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbooberfläche nach Varianten	9
Tabelle 6 Flächenaufstellung zu Testraum EFH (Einfamilienhaus)	9
Tabelle 7 Beschreibung Testraum Reihenhhaus	10
Tabelle 8 Prozentueller Anteil Innendämmung zu gesamter Raumbooberfläche nach Varianten	11
Tabelle 9 Flächenaufstellung zu Testraum RHn (nord-südorientiertes Reihenhhaus)	11
Tabelle 10 Kenndaten des Modellgebäudes - Mehrfamilienhaus	13
Tabelle 11 Kenndaten der untersuchten Wohneinheiten	14
Tabelle 12 Fortsetzung Kenndaten der untersuchten Wohneinheiten	15
Tabelle 13 Wohnraum SW02, Flächenaufstellung	16
Tabelle 14 Wohnraum SW02, berücksichtigte Abmessungen	17
Tabelle 15 Wohnraum SW02, Flächenaufstellung nach Geschoßen	17
Tabelle 16 Wohnraum SW03, Flächenaufstellung	19
Tabelle 17 Wohnraum SW03, berücksichtigte Abmessungen	19
Tabelle 18 Wohnraum SW03, Flächenaufstellung nach Geschoßen	19
Tabelle 19: Bestandskonstruktion Ziegelmauerwerk Gründerzeit nach Geschoßen	21
Tabelle 20: Innendämmsystem „ID01“ - Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz	22
Tabelle 21: Innendämmsystem „ID02“ - Perlitedämmplatte mit Innenputz	22
Tabelle 22: Innendämmsystem „ID03“ - Calciumsilikatplatte mit Innenputz	22
Tabelle 23: Innendämmsystem „ID04“ - Sto in Avero mit Grundputz und Oberputz	23
Tabelle 24: Innendämmsystem „ID05“ - Sto in Comfort mit Grundputz und Oberputz	23
Tabelle 25: Innendämmsystem „ID06“ - Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz	23
Tabelle 26: Innendämmsystem „ID07“ - Schilf/Strohplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz	23
Tabelle 27: Innendämmsystem „ID08“ - Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz	23
Tabelle 28: Innendämmsystem „ID09“ - Vakuumisulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz	24
Tabelle 29: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Außenwand Erdgeschoß – Bestand „EG78“	24
Tabelle 30: Bauteilkenndaten – Außenwand Erdgeschoß – Bestand „EG78“	24
Tabelle 31: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Außenwand 1. Obergeschoß – Bestand „1OG63“	25
Tabelle 32: Bauteilkenndaten – Außenwand 1. Obergeschoß – Bestand „1OG63“	25
Tabelle 33: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Außenwand 2. Obergeschoß – Bestand „2OG63“	25
Tabelle 34: Bauteilkenndaten – Außenwand 2. Obergeschoß – Bestand „2OG63“	26
Tabelle 35: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Außenwand 3. Obergeschoß – Bestand „3OG48“	26
Tabelle 36: Bauteilkenndaten – Außenwand 3. Obergeschoß – Bestand „3OG48“	26
Tabelle 37: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Außenwand 4. Obergeschoß – Bestand „4OG48“	27
Tabelle 38: Bauteilkenndaten – Außenwand 4. Obergeschoß – Bestand „4OG48“	27
Tabelle 39: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Feuermuer – Bestand „FM33“	27
Tabelle 40: Bauteilkenndaten – Feuermuer – Bestand „FM33“	28
Tabelle 41: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Wohnungstrennwand – Bestand „WTW32“	28
Tabelle 42: Bauteilkenndaten – Wohnungstrennwand – Bestand „WTW32“	28
Tabelle 43: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Feuermuer – Bestand „FM18“	29
Tabelle 44: Bauteilkenndaten – Feuermuer – Bestand „FM18“	29
Tabelle 45: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Innenwand – Bestand IW17“	29
Tabelle 46: Bauteilkenndaten – Innenwand – Bestand IW17“	30

Tabelle 47: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Tramdecke – Bestand	30
Tabelle 48: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Dippelbaumdecke – Bestand	30
Tabelle 49: Bauteilkenndaten	31
Tabelle 50: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Kappendecke – Bestand	31
Tabelle 51: Bauteilkenndaten – Kappendecke – Bestand	31
Tabelle 52: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Tramdecke mit versenkter Schalung – Bestand	32
Tabelle 53: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Tramdecke mit versenkter Schalung – Bestand	32
Tabelle 54: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Fehltramdecke – Bestand	33
Tabelle 55: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Fehltramdecke – Bestand	33
Tabelle 56: Bauteilkenndaten – Kastenfenster – Bestand	34
Tabelle 57: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Mittelmauer – Bestand „MM 62“	34
Tabelle 58: Bauteilkenndaten – Mittelmauer – Bestand „MM 62“	34
Tabelle 59: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Boden im Erdgeschoß – saniert	35
Tabelle 60: Bauteilschichten und Materialkenndaten – Decke über 4. Obergeschoß – saniert	35
Tabelle 61: Bauteilkenndaten – Kastenfenster – saniert	36
Tabelle 62: Bauteilschichten und Materialkenndaten Außenwand Erdgeschoß „EG 78“ + Innendämmung „ID07“	37
Tabelle 63: Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt Außenwand Erdgeschoß „EG 78“ + Innendämmung „ID07“	37
Tabelle 64: Speicherwirksame Masse Außenwand Erdgeschoß „EG 78“ + Innendämmung „ID07“	38
Tabelle 65: U-Wert-Berechnung Außenwand Erdgeschoß „EG 78“ + Innendämmung „ID07“	39
Tabelle 66: Bauteilschichten und Materialkenndaten Außenwand 2. Obergeschoß „AW OG2 63“ + Innendämmung „ID07“	40
Tabelle 67: Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt Außenwand 2. Obergeschoß „AW OG2 63“ + Innendämmung „ID07“	40
Tabelle 68: Speicherwirksame Masse Außenwand 2. Obergeschoß „AW OG2 63“ + Innendämmung „ID07“	41
Tabelle 69: U-Wert-Berechnung Außenwand 2. Obergeschoß „AW OG2 63“ + Innendämmung „ID07“	42
Tabelle 70: Bauteilschichten und Materialkenndaten Außenwand 4. Obergeschoß „AW OG4 44“ + Innendämmung „ID07“	43
Tabelle 71: Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt Außenwand 4. Obergeschoß „AW OG4 44“ + Innendämmung „ID07“	43
Tabelle 72: Speicherwirksame Masse Außenwand 4. Obergeschoß „AW OG4 44“ + ID „ID07“	44
Tabelle 73: U-Wert-Berechnung Außenwand 4. Obergeschoß „AW OG4 44“ + Innendämmung „ID07“	45
Tabelle 74: Bauteilschichten und Materialkenndaten Feuermauer „FM33“ + Innendämmung „ID07“	46
Tabelle 75: Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt	46
Tabelle 76: Speicherwirksame Masse Feuermauer „FM33“ + Innendämmung „ID07“	47
Tabelle 77: U-Wert-Berechnung Feuermauer „FM33“ + Innendämmung „ID07“	48
Tabelle 78 Legende für die Bezeichnung der Simulationsdateien	91
Tabelle 79 Liste mit Delphin simulierter Varianten	92
Tabelle 80 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	93
Tabelle 81 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	94
Tabelle 82 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	95
Tabelle 83 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	96
Tabelle 84 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	97
Tabelle 85 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	98
Tabelle 86 Liste mit Delphin simulierter Varianten (fortgesetzt)	99

Literaturverzeichnis Anhang

1. Müller, A.B.P.K., Lukas; Haas, Reinhard; Altenburger, Florian; Bergmann, Irene; Friedl, Günther; Haslinger, Walter; Heimrath, Richard; Ohnmacht, Ralf; Weiß, Werner, *Heizen 2050 - Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050*. 2010: Wien.
2. Ipser, C., et al., *Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 3 - Parameterstudien und Planungsempfehlungen zur Entwurfsoptimierung und Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden 2012*, Berichte aus Energie- und Umweltforschung: Wien.
3. Reisinger, K., W. Prause, and H. Feix, *Klimaneutrale Gründerzeithäuser Wege, Potenziale und Umsetzungsmöglichkeiten*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 2012. **27a**.
4. IBO, *Passivhaus Bauteilkatalog - ökologisch bewertete Konstruktionen. Onlineversion*. 2012, IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Verein) und IBO GmbH.
5. Nicolai, A., et al., *Programmpaket Delphin - Coupled Heat, Air, Moisture and Salt Transport*. 2004, TU Dresden: Dresden.
6. Krec, K., *Materialdatenkatalog WAEBED, GEBA*.
7. VDI, *VDI Wärmeatlas*, in *VDI-Wärmeatlas*, V.D. Ingenieure, Editor. 2006, Springer Verlag: Berlin, Heidelberg.
8. Normungsinstitut, O.Ö., *ON-V 31 Bauwesen 1 - Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen* 2003, ON: Wien.
9. ÖNorm, *ÖNorm EN 12524 Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften Tabellierte Bemessungswerte*. 2000.
10. DIN, *DIN V 4108-4 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*. 2007, DIN.
11. WTA, W.-T.A.f.B.u.D.e.V., *WTA Merkblatt 6-5 Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren unveröffentlichter Entwurf*. 2014, Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart.
12. WTA, W.-T.A.f.B.u.D.e.V., *WTA Merkblatt 6-2-01 Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse*. 2001, Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart.
13. ÖNorm, *ÖNorm EN 15026 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*. 2007, Österreichisches Normungsinstitut: Wien.
14. WTA, W.-T.A.f.B.u.D.e.V., *WTA Merkblatt 6-2-14 Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse*. 2014, Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart.
15. ISO, D.E., *DIN EN ISO 13788 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren*. 2013.

Lebenslauf

Beruflicher Werdegang

- Senior Researcher ^{seit 2017-09}
Abteilung Bauphysik
IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Branche: Architektur & Bauwesen
Forschungs- und gutachterliche Tätigkeit im Themenbereich Feuchteschäden, Innendämmung, Raumklima, Komfort, Sanierung; Bauphysikalische Nachweisführung, Einreichbauphysik, Bautechnische Beratungen.
- Junior Researcher ^{2012-09 bis 2017-09}
Abteilung Bauphysik
IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Branche: Architektur & Bauwesen
Forschungsprojekte - Monitoring+, GründerzeitToolbox, IDSolutions, Schimmelpilzwarnsystem; Dynamische Bauteil- und Gebäudesimulation; Redaktionsteam IBOmagazin.
- Junior Researcher ^{2011-07 bis 2012-08}
Abteilung Bautechnik, Baustoffprüfung und Bauschadensanalyse
Technische Versuchs- und Forschungsanstalt GmbH
Branche: Architektur & Bauwesen
COIN – Projekt IDkonkret – Ganzheitliche Umsetzung des vorhandenen Wissens über Innendämmsysteme in die Praxis und deren gezielte Optimierung, Kompetenzzentrum Innendämmung, Entwicklung und Umsetzung der Zertifizierungslehrgänge Experte/Expertin für die Vermeidung, Beurteilung und Sanierung von Schimmelpilzschäden in Gebäuden, Fachkraft für Luftdichtheitsprüfung von Gebäuden, Publikations- und Vortragstätigkeit, Akademie, Gutachterliche Tätigkeit, Hygrothermische Bauteil- & Gebäudesimulationen, Bauphysik, Bauschadensanalyse, Umweltproduktdeklarationen - EPD Gremium, Vorträge an der TU-Wien im Rahmen der Lehrveranstaltung Bauschäden, Diagnose und Sanierung.
- Experte für Bautechnik und Energie ^{2010-04 bis 2011-08}
Verein für Konsumenteninformation
Branche: Architektur & Bauwesen
Experte für Bautechnik und Energie - Beratung von Konsumenten zu den Themen Bauschäden, Sanierung, Innendämmung, Bautechnik, Bauverfahren, Energiesysteme, Energieträger, TGA, Schimmelpilze, Wasseraufbereitung, Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk.
- Geschäftsführender Gesellschafter ^{2009-09 bis 2011-12}
spherolight OG
Branche: Architektur & Bauwesen, Consulting
spherolight, ein Unternehmen welches neben planerischen und beratenden Tätigkeiten im Architektur- und Produktentwicklungsbereich auf wissenschaftliche und technologische Dienstleistungen und Forschungsarbeiten spezialisiert ist. Beratung Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk, Beratung Energieeffizienz im Wohnbau, Beratung Sanierung von Schimmelpilzschäden, Zertifizierte Fachkraft für die Luftdichtheitsprüfung von Gebäuden, Büro für technisches Zeichnen.
- Forschung ^{2009-02 bis 2011-12}
Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen
Technische Universität Wien
Branche: Forschung - Architektur & Bauwesen, Immobilienbewertung
GEBIN, Gebäudeintegration - Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung; nachWERThaltig; NHM, Nachhaltigkeit Massiv AP09.

- Immobilienmanagement ^{2007-12 bis 2008-12}
s OM, Erste Objektmanagement GmbH
Branche: Immobilien, Technisches Zeichnen, Projektmanagement
Konzernflächenmanagement der Erste Bank, Immobilienverwaltung der Erste Bank, Projekt Erste Campus, Belegungs-, Umbau- und Einreichplanung, Datenbank, Flächenaufstellungen, Verkehrswertermittlung der Immobilien der Erste Bank.
- Immobilienmanagement ^{2003-03 bis 2004-03}
Karina Plech Liegenschaftsverwaltung GmbH
Branche: Immobilien
Ganzheitliches Immobilienmanagement, Liegenschaftsverwaltung, Technische Betreuung.

Ausbildung - Hochschule

- **Technische Universität Wien** ^{2011-10 bis 2020-10}
Dr.-Studium der techn. Wissenschaften - Architektur
Titel ‚Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen und Untersuchungen zur Anwendungssicherheit von Innendämm-Systemen in Abhängigkeit des Innenraumklimas‘ unter der Leitung von Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Klaus Kreč, Institut für Architektur und Entwerfen Arbeitsgruppe für nachhaltiges Bauen.
- **Technische Universität Wien** ^{2006-09 bis 2011-06}
Studium ausgewählter Themen des Bauingenieurwesens
Bauwirtschaft, Bauphysik, Bauverfahrenstechnik, Bautechnik, Gebäudetechnik, Bauschäden, Sanierung, Baurecht, Sachverständigenrecht, Projektmanagement, Nachtragsmanagement.
- **Technische Universität Wien** ^{2002-10 bis 2008-11}
Architektur, Dipl.-Ing.
Interdisziplinäre Diplomarbeit am Institut für Hochbau und Technologie im Bereich Bauphysik und dem Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege mit dem Titel: ‚Tropfenkonturanalyse in der Denkmalpflege - Nachweis von Injektionsstoffen für die nachträgliche Horizontalabdichtung im Mauerwerk und deren Verteilung‘, mit Auszeichnung abgeschlossen.
Bauschäden, Feuchteschäden, Diagnose, Sanierung, Immobilienbewertung, Immobilienmanagement, Energieeffiziente Gebäude, Erneuerbare Energieträger, Gebäudetechnik, Bauen im Bestand.
- **HTL Wien XX - Wexstraße** ^{1996-09 bis 2001-06}
Nachrichtentechnik - Mikroelektronik
5 jährige Ausbildung in den Fachbereichen Nachrichtentechnik & Mikroelektronik am Technologischen Gewerbemuseum in Wien XX (Höhere Technische Bundes- Lehr- u. Versuchsanstalt), mit Auszeichnung abgeschlossen.
Nachrichtentechnik - Mikroelektronik, Mess- Steuerungs- und Regelungstechnik, Elektronik und Digitaltechnik, Hochfrequenz- und Impulstechnik, Steuerungs- und Regelungstechnik.

Gremien- und Vereinsarbeit

1. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Schriftleitung WTA Merkblätter (seit 2011-01), Leiter der WTA – Arbeitsgruppe „Zertifizierung der Anwendungssicherheit von Innendämmsystemen“ (derzeit ruhend), ordentliches Mitglied (seit 2012-03).
2. FVID, Fachverband Innendämmung e.V., Vertreter der IBO GmbH als wissenschaftliches Mitglied (seit 2014-06).
3. IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie e.V., im Vorstand (2017-06 bis 2020-03), ordentliches Mitglied (seit 2014-12).

4. Bundesverbandes für Schimmelsanierung und Technische Bauteiltrocknung, Gründungsmitglied (2012-04 bis 2017-04).
5. EPD-Gremium - Österreichische Plattform für Umweltproduktdeklarationen (2011-11 bis 2012-11).

Lehrtätigkeit

Technische Universität Wien

Bauingenieurwesen

1. Bauschäden, Diagnose und Sanierung_{2011,2012}

Architektur

2. Nachhaltiges Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen "Nachhaltige Sanierung mit nachwachsenden Rohstoffen" - Gastvortrag₂₀₁₉

Fachhochschule Salzburg

Lehrgang Smart Building

3. Smart Buildings Constructions II₂₀₁₉
4. Smart Buildings Constructions III – Expertise_{2019, 2020}

Lehrgang Smart Buildings in Smart Cities – Energieinfrastruktur und Quartierserneuerung

5. Bauschadensanalyse_{2018, 2019}

Fachhochschule Campus Wien

Lehrgang Architektur – Green Building

6. Baumaterialien und Green Building_{2017, 2018, 2019, 2020}
7. Nachhaltigkeit von Bauteilen und Konstruktionen_{2017, 2018, 2019, 2020}

Donau-Universität Krems

Lehrgang Sanierung und Revitalisierung – Modul 3 Bauphysik und Bautechnik

8. Bauschadensdiagnose_{2017, 2018, 2019, 2020}

Lehrgang Building Innovation - Planung ressourcenschonender zukunftsfähiger Gebäude – Modul 3 Bauphysik Advanced Level

9. Bauen im Bestand/Sanierungen₂₀₂₀

Wirtschaftsförderungsinstitut der Wirtschaftskammer Österreich

WIFI und Bauakademie

10. bauSCHADENfrei ₂₀₂₀

Betreute Bachelor- und Masterarbeiten

1. **Nagl, K.:** *Lehm in der modernen österreichischen Architektur – Bedeutung und Entwicklung eines nachhaltigen Baustoffes*. Bachelorarbeit, Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2018
2. **Panek, C.:** *Kreislauffähigkeit von Dämmstoffen - Am Beispiel von Stroh, EPS und Steinwolle*. Bachelorarbeit, Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2018

3. **Frühwirth, C.:** *Auswirkungen von Mineralfasern auf die menschliche Gesundheit in den verschiedenen Phasen ihres Lebenszyklus*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2018
4. **Stelzer, S.:** *Kosten und Energieeinsparungspotentiale bei thermischen Gebäudesanierungen von Kindergärten unter Berücksichtigung der Umweltförderung im Inland*. Master-Thesis, Lehrgang Sanierung und Revitalisierung, Krems: Donau-Universität Krems, Departement für Bauen und Umwelt, 2018
5. **Mayer, I.:** *Bauliche Lösungen für Nistkästen in Fassade und Dach – Ein angenehmes Miteinander von Mensch und Tier*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
6. **Zenz, J.M.:** *Bedeutung eines ökologischen Fassadenanstriches*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
7. **Zakall, L.:** *Stroh – Eine Zusammenstellung technischer, bauphysikalischer und ökologischer Kennzahlen*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
8. **Krizmanich, P.A.:** *Fassadenbegrünung – Auswirkung auf Wärmeschutz, Schallschutz und Mikroklima*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
9. **Magrutsch, A.:** *Klimawandel ist jetzt. Maßnahmen gegen die Hitze in der Stadt*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
10. **Krenek, V.M.:** *Umweltbewusste Erweiterung eines burgenländischen Hakenhofs*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
11. **Pecha, A.:** *Wiens Umgang mit baulichem Artenschutz bei Gebäudesanierungen und Dachgeschoßausbauten*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
12. **Schwinghammer, T.V.:** *Sanierung und Umbau von Schulbauten mit dem Fokus auf die Anpassung an aktuelle Anforderungen*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
13. **Kefer, M.T.:** *Schilf als Baumaterial Konstruktion, Anwendung, Potential*. Forschungsbereich Baumaterialien und Green Building, Wien: FH Campus Wien, Lehrgang Architektur - Green Building, 2019
14. **Waldner, R.:** *Raumakustische Parameter in der Planung und im Messverfahren – Raumakustische Evaluierung einer Pflichtschule in Tirol*. Master-Thesis, Lehrgang Sanierung und Revitalisierung, Krems: Donau-Universität Krems, Departement für Bauen und Umwelt, 2019

Schriftleitung WTA-Merkblätter

1. **WTA Merkblatt 3-15** (2014-04): Instandsetzung von Ortterazzo. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014

2. **WTA Merkblatt 6-5** (2014-04): Innendämmung nach WTA II Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
3. **WTA Merkblatt 3-18** (2014-09): Monitoring von Bauten und Denkmalen aus Naturstein. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
4. **WTA Merkblatt 8-14** (2014-09): Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
5. **WTA Merkblatt 4-6** (2014-11): Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
6. **WTA Merkblatt 4-10** (2015-03): Injektionsverfahren mit zertifizierten Injektionsstoffen gegen kapillaren Feuchtetransport. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
7. **WTA Merkblatt 4-7** (2015-04): Nachträgliche mechanische Horizontalsperre. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
8. **WTA Merkblatt 5-24** (2015-04): Überwachen der Qualität von Frischbeton in der Schweiz. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
9. **WTA Merkblatt 1-10** (2015-09): Sonderverfahren im Holzschutz Teil 1: Bekämpfungsmaßnahmen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
10. **WTA Merkblatt 2-13** (2015-09): Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) Wartung, Instandsetzung, Verbesserung. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
11. **WTA Merkblatt 6-9** (2015-11): Luftdichtheit im Bestand Teil 1: Grundlagen der Planung. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
12. **WTA Merkblatt 6-10** (2015-11): Luftdichtheit im Bestand Teil 2: Detailplanung und Ausführung. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
13. **WTA Merkblatt 6-11** (2015-12): Luftdichtheit im Bestand Teil 3: Messung der Luftdichtheit. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015

14. **WTA Merkblatt 4-11** (2016-03): Messung des Wassergehalts bzw. der Feuchte von mineralischen Baustoffen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
15. **WTA Merkblatt 6-8** (2016-08): Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen - Vereinfachte Nachweise und Simulation. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
16. **WTA Merkblatt 3-12** (2016-10): Natursteinrestaurierung Fugensanierung. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
17. **WTA Merkblatt 3-19** (2016-10): Instandsetzung von Natursteinbodenbelägen im Innenbereich. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
18. **WTA Merkblatt 6-4** (2016-10): Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
19. **WTA Merkblatt 4-12** (2016-11): Ziele und Kontrolle von Schimmelpilzschadensanierungen in Innenräumen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
20. **WTA Merkblatt E-7-1** (2018-02): Erhaltung und Instandsetzung von Mauerwerk Konstruktion und Tragfähigkeit. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
21. **WTA Merkblatt 8-5** (2018-04): Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmungen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
22. **WTA Merkblatt E-7-2** (2018-06): Historische Holzkonstruktionen Zustandsermittlung und Beurteilung der Tragfähigkeit geschädigter und verformter Holzkonstruktionen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
23. **WTA Merkblatt 2-11** (2018-08): Gipsmörtel im historischen Mauerwerksbau und an Fassaden. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
24. **WTA Merkblatt E-4-9** (2018-08): Instandsetzen von Gebäude- und Bauteilsockeln. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
25. **WTA Merkblatt 6-16** (2019-01): Technische Trocknung durchfeuchteter Bauteile: Planung, Ausführung und Kontrolle. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019

26. **WTA Merkblatt 6-18** (2019-02): Bauthermografie im Bestand. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
27. **WTA Merkblatt E-1-2** (2019-05): Der Echte Hausschwamm - Erkennen, Lebensbedingungen, bekämpfende chemische Maßnahmen, Leistungen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
28. **WTA Merkblatt 10-2** (2019-05): Präventive Konservierung architekturgebundener Glasmalerei. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
29. **WTA Merkblatt 3-13** (2019-12): Salzreduktion an porösen mineralischen Baustoffen mittels Kompressen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
30. **WTA Merkblatt 4-9** (2019-12): Nachträgliches Abdichten und Instandsetzen von Gebäude- und Bauteilsockeln. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
31. **WTA Merkblatt E-8-6** (2020-01): Fachwerkinstandsetzung nach WTA VI Beschichtung von Sichtfachwerkfassade - Ausfachungen/Putze. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020
32. **WTA Merkblatt E-8-7** (2020-01): Fachwerkinstandsetzung nach WTA VII Beschichtungen von Sichtfachwerkfassaden – Holz. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020
33. **WTA Merkblatt E-8-10** (2020-01): Fachwerkinstandsetzung nach WTA X: Wärmeschutz bei Fachwerkgebäuden. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020
34. **WTA Merkblatt 2-9** (2020-03): Sanierputzsysteme. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020
35. **WTA Merkblatt E-11-1** (2020-03): Brandschutz im Bestand und bei Baudenkmalen nach WTA I: Grundlagen. WTA, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020

Publikationen

1. **Steiner, T.:** *Tropfenkonturanalyse in der Denkmalpflege - Nachweis von Injektionsstoffen für die nachträgliche Horizontalabdichtung im Mauerwerk und deren Verteilung.* Diplomarbeit. Wien: Technische Universität Wien - Institut für Hochbau und Technologie - Forschungsbereich Bauphysik und Schallschutz, 2008
2. **Hecht, C. und T. Steiner:** *Nachweis von Injektionsstoffen im Mauerwerk und deren Verteilung - Minimierung des Probenmaterials.* In WTA-Kolloquium, WTA,

- Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
3. **Hecht, C. und T. Steiner:** *Die Kontaktwinkelmessung für den Bausachverständigen - Teil I - Grundlagen.* Der Bausachverständige - Zeitschrift für Bauschäden, Grundstückswert und gutachterliche Tätigkeit, Heft 2: Seite 29-31. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009
 4. **Hecht, C. und T. Steiner:** *Aus dem Garten der Natur - Planung und Ausführung von Innendämmung.* B+B Bauen im Bestand, Köln: Rudolf Müller Verlag, 2010
 5. **Steiner, T. und C. Hecht:** *IDkonkret. Beitrag 1. Kooperation und Vernetzung für eine ganzheitliche Umsetzung des vorhandenen Wissens über Innendämmsysteme in die Praxis und deren gezielte Optimierung.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 2, Seite 31-35, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2011
 6. **Bointner, R., et al.:** *Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
 7. **Ipser, C., T. Steiner, K. Krec und K. Stieldorf:** *Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 3 – Parameterstudien und Planungsempfehlungen zur Entwurfsoptimierung und Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
 8. **Steiner, T., et al.:** *Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 4 - Erneuerbare Energieträgertechnologien.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
 9. **Ipser, C., T. Steiner und K. Stieldorf:** *Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 5 - Entwurfsleitfaden Photovoltaik.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
 10. **Steiner, T., C. Ipser und K. Stieldorf:** *Planungsleitfaden Plusenergie - Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträgertechnologien in Vorentwurf und Entwurf - Teil 6 - Entwurfsleitfaden Solarthermie.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012
 11. **Steiner, T. und C. Hecht:** *Innendämmung - Anspruch und Wirklichkeit.* In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2012
 12. **Steiner, T., C. Hecht und O. Klar:** *IDkonkret. Beitrag 2. Was kann die Innendämmung dafür?* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 1, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012
 13. **Steiner, T. und C. Hecht:** *IDkonkret. Beitrag 4. Nachweisführung Innendämmung.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012

14. **Steiner, T., et al.:** *IDkonkret. Beitrag 5. Evaluation Innendämmung.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012
15. **Steiner, T.:** *Charmant - Wiener Dachgeschoße. Musterbeispiele gelungener Wiener Dachgeschoßbausbauten.* IBOmagazin, Heft 2, Seite 11-14, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2013
16. **Steiner, T. und R. Bintinger:** *Wärmedämmsysteme aus Schilf - Erste Ergebnisse zur Praxistauglichkeit.* IBOmagazin, Heft 2, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2013
17. **Steiner, T., R. Bintinger und J. Höller:** *Lasttragender Strohballenbau.* IBOmagazin, Heft 4, Seite 12-14, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2013
18. **Steiner, T. und C. Hecht:** *IDkonkret. Beitrag 6. Innendämmung in der Praxis - ausgewählte Projekte.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 1, Seite 41-47, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013
19. **Steiner, T., K. Stieldorf und C. Hecht:** *IDkonkret. Beitrag 7. Innendämmung in der Praxis - ausgewählte Projekte II.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 2, Seite 41-47, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013
20. **Steiner, T. und C. Hecht:** *IDkonkret. Beitrag 8. Innendämmung sicher projektieren - worauf es ankommt!* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 3, Seite 35-39, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013
21. **Steiner, T. und F. Heisinger:** *Innendämmung - Lösungen für den Gebäudebestand.* In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2013
22. **Steiner, T. und C. Ipser:** *Planungsleitfaden Plusenergie.* IBOmagazin, Heft 1, Seite 15-23, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2013
23. **Steiner, T. und C. Ipser:** *Plusenergie Planungsempfehlungen zur Entwurfsoptimierung und Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden.* In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2013
24. **Heisinger, F., et al.:** *Ehrensache Energieerzeugung.* IBOmagazin, Heft 3, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2014
25. **Steiner, T.:** *Innendämmung Auswahl, Konstruktion, Ausführung - "Aus der Praxis für die Praxis".* Rezension in Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 2, Seite 73, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
26. **Steiner, T., R. Bintinger, und B. Lipp:** *Energetische Qualität und Komfort in Plusenergiegebäuden.* In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2014
27. **Steiner, T., R. Bintinger, und B. Lipp:** *Qualität messen, beurteilen und steigern.* IBOmagazin, Heft 4, Seite 26-29, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2014

28. **Steiner, T., C. Hecht und O. Klar:** *Innendämmung - Varianten - dauerhaft und schadfrei*. In Tagungsband Die NOGOs der Bauphysik, OFI Technologie & Innovation GmbH (Hrsg.), Wien: TU Verlag, 2014
29. **Steiner, T. und K. Keintzel-Lux:** *21 Themen des gründerzeitlichen Gebäudebestands - GründerzeitToolbox Teil I*. IBOmagazin, Heft 4, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2014
30. **Steiner, T. und G. Lux:** *Kastenfenster zeitgemäß modernisieren*. IBOmagazin, Heft 1, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2014
31. **Steiner, T.:** *Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden - Energie und Komfort in Plusenergie-Gebäuden - Qualität messen, beurteilen und steigern*. In Tagungsband BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, Wien: IBO Verlag, 2015
32. **Steiner, T., et al.:** *Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden - Monitoring der Leitprojekte aus HAUSderZukunft*. Wien: IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH in Kooperation mit Österreichisches Ökologie-Institut, 2015
33. **Lechner, R., B. Lipp, B. Lubitz-Prohaska und T. Steiner:** *Monitoring der Leitprojekte aus Haus der Zukunft PLUS*. in Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Programm Haus der Zukunft, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2015
34. **Steiner, T.:** *Innendämmung in der Praxis*. In Tagungsband BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, Wien: IBO Verlag, 2015
35. **Steiner, T.:** Expertenworkshop Innendämmung in der Praxis. IBOmagazin, Heft 1, Seite 4-6, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2015
36. **Steiner, T. und F. Heisinger:** *IDSolutions - Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung auf Ebene der Nutzungseinheit*. In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2015
37. **Steiner, T. und V. Huemer-Kals:** *IDSolutions - Sanieren mit Innendämmung*. Österreichische Bauzeitung, Wien: Österreichischer Wirtschaftsverlag, 2015
38. **Steiner, T. und K. Keintzel-Lux:** *Modernisierung auf Ebene der Nutzungseinheit - GründerzeitToolbox Teil II*. IBOmagazin, Heft 2, Seite 6-10, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2015
39. **Steiner, T. und K. Keintzel-Lux:** *Werkzeuge für die Sanierung - GründerzeitToolbox Teil III*. IBOmagazin, Heft 4, Seite 2-4, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2015
40. **Steiner, T.:** *Keller wird überwacht - Innendämmung eines Kellers mit begleitendem Monitoring*. B+B Bauen im Bestand, Heft 5, Köln: Rudolf Müller Verlag, 2015
41. **Lechner, R., B. Lipp, B. Lubitz-Prohaska, T. Steiner und U. Weber:** *Nachhaltiges Bauen in Österreich Weißbuch 2015*. Wien: Österreichisches Ökologie-Institut in Kooperation mit IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2015
42. **Steiner, T.:** *Energie- und Komfort-Monitoring. Das Monitoring der „Haus der Zukunft Plus“-Demonstrationsgebäude, Teil 1*. IBOmagazin, Heft 2, Seite 17-19, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2015

43. **Steiner, T.:** *Innendämmung - Nachhaltigkeit, Lebenszyklus und Gesundheit.* In Praxishandbuch Innendämmung, Fachverband Innendämmung (Hrsg.). Köln: Rudolf Müller Verlag, 2015
44. **Steiner, T.:** *IDSolutions – Lösungen für sofort.* In Color, Wien: Österreichischer Wirtschaftsverlag, 2015
45. **Steiner, T., et.al.:** *IDSolutions – Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung im mehrgeschoßigen Gebäudebestand auf Ebene der Nutzungseinheit.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016
46. **Steiner, T., et.al.:** *Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung – Teil 1: Einleitung und Grundlagen.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016
47. **Steiner, T., C. Thurner, V. Huemer-Kals.:** *Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung – Teil 2: Systemkomponenten und Beurteilungskriterien.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016
48. **Steiner, T., C. Thurner, V. Huemer-Kals.:** *Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung – Teil 3: Muster-Sanierungs-Lösungen.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016
49. **Steiner, T.:** *Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung – Teil 4: Umsetzung in die Praxis.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016
50. **Steiner, T. und F. Heisinger:** *Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung – Teil 5: Parameterstudien.* Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016
51. **Steiner, T.:** *IDSolutions - Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
52. **Steiner, T.:** *Gründerzeit-Toolbox - ein smartes Konzept für die Sanierung.* Bausubstanz - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerksinstandsetzung und Denkmalpflege, Heft 2, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
53. **Steiner, T.:** *ID-solution - Sanierungen sofort machbar.* IBOMagazin, Heft 2, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2016
54. **Steiner, T.:** *Infrarotheizung zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung – Wirtschaftliche und dauerhafte Lösung zur Temperierung kritischer Außenwandbereiche mit sensorgesteuerter Infrarotheizung.* IBOMagazin, Heft 3, Seite 27-29, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2016
55. **Steiner, T. und C. Thurner:** *Holzschutz – Dekontamination von Holzschutzmittel-belastetem Holz – Merkblatt der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege.* Heft 2, Seite 16-18, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2016
56. **Steiner, T.:** *Nachhaltiges Bauen in Österreich. Das Monitoring von Demonstrationsgebäuden.* Bauen+ Energie, Brandschutz, Bauakustik und Gebäudetechnik, Heft 2, Seite 6-8, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016

57. **Steiner, T.:** *Passivhaus-Bauteilkatalog: Sanierung. Ökologisch bewertete Konstruktionen.* IBOmagazin, Heft 4, Seite 2-9, Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie e.V. (Hrsg.), Wien: IBO Verlag, 2016
58. **Steiner, T.:** *Erste Hilfe bei Schimmelpilz-Schäden in Gebäuden - In 5 Schritten zum Sanierungs-Erfolg.* Erste Hilfe bei Schäden in Gebäuden, Wien: IBO Verlag, 2017
59. **Zelger, T., et.al.:** *Passivhaus-Bauteilkatalog: Sanierung - Ökologisch bewertete Konstruktionen.* IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (Hrsg.), Basel: Birkhäuser Verlag, 2017
60. **Steiner, T. (Hrsg.):** *Ökologie und Ökonomie des Dämmens - Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbausanierung.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
61. **Steiner, T. und I. Dornigg:** *Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbausanierung – nachhaltig und ökosozial?.* In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2018
62. **Steiner, T. und I. Dornigg:** *Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbausanierung.* In Tagungsband BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, Wien: IBO Verlag, 2019
63. **Steiner, T.:** *Temperatur- und Feuchtemanagement mit porositäten mineralischen Baustoffen – Risiko oder Chance?.* In Tagungsband International Congress e-nova, Pinkafeld: Fachhochschulstudiengänge Burgenland, 2019
64. **Stieldorf, K., T. Steiner und A. Breuss:** *Erweiterung des Passivhausbauteilkatalogs in Richtung Lehm- und Holzbauteile.* In Tagungsband BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, Wien: IBO Verlag, 2020
65. **Steiner, T.:** *Wiener Tropennächte,* in *Jahrbuch Kitting.* 2020, IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH: Wien.