



Johannes Meinhardt, Bsc.

**Analyse der ÖNORM B 8110-2:2020 und ein Vergleich
verschiedener Nachweisverfahren zur Bestimmung der
Tauwasserbildung**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Masterstudium
Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der
Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dr. Christina Hopfe
Dipl.-Ing. BSc Baumeister Hans Hafellner

Institut für Bauphysik, Gebäudetechnik und Hochbau

Graz, April 2021

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Dissertation identisch.

21.04.2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Felix Klein', written over a horizontal line.

Datum, Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Studienzeit unterstützt haben.

Mein größter Dank gilt meiner gesamten Familie, besonders meinen Eltern. Danke Mama, danke Papa, dass ihr mir diesen Weg ermöglicht und mich in allen Lebenssituationen unterstützt habt.

Für die Betreuung und die Hilfsbereitschaft seitens der Technischen Universität Graz bedanke ich mich ganz herzlich bei Dipl.-Ing. Bmst. Hans Hafellner und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Christina Johanna Hopfe.

Ich bedanke mich auch bei allen Mitgliedern des Beton- und Holzbauzeichensaals für die gemeinsame Zeit. Ich habe hier sehr viele Freundschaften geschlossen, die hoffentlich ein Leben lang halten werden. Besonderer Dank gilt hier meinen Kärntner Kollegen Matthias, Martin und Robert, die gemeinsam mit mir ins Studium gestartet sind und mit denen ich viele lustige Momente erlebt habe.

Abschließend danke ich meiner Cousine Kerstin für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Kurzfassung

Im Jahr 2020 erschien eine neue Ausgabe der ÖNORM B 8110-2, welche für den bauphysikalischen Nachweis von Konstruktionen hinsichtlich Feuchtebeanspruchung aus dem Gebäudeinneren anzuwenden ist, um eine übermäßige Wasserdampfkondensation im Inneren von Bauteilen und Mängel infolge Wasserdampfkondensation/Schimmelbildung an der Bauteiloberfläche zu vermeiden.

In der vorliegenden Masterarbeit werden die Rechenverfahren und die Beurteilung der Bauteile für den Nachweis zur Vermeidung von Kondensation im Inneren und Wasserdampfkondensation/Schimmelbildung an der Oberfläche der neuen Ausgabe der ÖNORM B 8110-2 analysiert und ein Vergleich zum Vorgängerdokument hergestellt. Die Unterschiede wurden ausgearbeitet, dargestellt und bauphysikalisch bewertet. Dabei wird vor allem auf die unterschiedliche Methodik der Nachweisführung eingegangen. Die ÖNORM B 8110-2:2020 fordert für die Nachweisführung zur Vermeidung von Kondensation im Inneren ein instationäres Berechnungsverfahren oder, wenn ausdrücklich angegeben, ein stationäres Berechnungsverfahren gemäß modifiziertem Glaser-Verfahren – im Gegensatz zur ÖNORM B 8110-2:2003, die ein stationäres Berechnungsverfahren gemäß konventionellem Glaser-Verfahren verlangt. Die Unterschiede dieser Rechenverfahren werden erläutert und anhand von Konstruktionen aufgezeigt.

Die Beispielkonstruktionen, die den Unterschied zwischen stationären und instationären Nachweisverfahren aufzeigen sollen, wurden so gewählt, dass es durch die Vereinfachungen des stationären Verfahrens zu einer unterschiedlichen Beurteilung des Bauteils hinsichtlich schadenverursachenden Kondensats kommt. Dabei zeigt sich, dass das Glaser-Verfahren nur bei diffusionsbezogenen Problemstellungen (d.h. Feuchteeintrag durch Diffusion) eine verlässliche Beurteilung zur Schadensvermeidung hinsichtlich Kondensation im Inneren ermöglicht, wobei es aufgrund von Vereinfachungen, wie z.B. die Nichtberücksichtigung der Feuchtespeicherfähigkeit von Materialien, gegebenenfalls sogar zu einer zu konservativen Beurteilung führen kann. Das instationäre Verfahren bietet die Möglichkeit – neben dem Feuchteeintrag durch Dampfdiffusion – auch andere mögliche Feuchtequellen unter realem, nicht vereinfachtem Materialverhalten mitzuberücksichtigen. Dies ermöglicht eine realistische Simulation und Beurteilung aller Bauteile.

Abstract

A new edition of the ÖNORM B 8110-2 was published in 2020, which is used for the building physics verification of constructions with regard to moisture exposure from inside the building, in order to avoid excessive water vapor condensation inside components and defects due to water vapor condensation/mold formation on the component surface.

In this master thesis, the calculation methods and the assessment of the constructions for the verification of the avoidance of water vapor condensation inside and water vapor condensation/mold formation on the surface of the new edition of the ÖNORM B 8110-2 are analysed. In addition, the results are compared with the preceding norm. The differences are presented and assessed in terms of building physics. Especially, the different methods of verification are dealt with, because in contrast to the ÖNORM B 8110-2:2003, the ÖNORM B 8110-2:2020 requires a transient calculation method for the verification of avoidance of condensation inside or, if expressly stated, a steady-state calculation method based on the modified Glaser method and not a steady-state calculation method based on the conventional Glaser method.

The example constructions, which are intended to show the difference between steady-state and transient methods, were chosen in such a way that the simplifications of the steady-state method lead to a different assessment of the component in terms of moisture protection. It turns out that the Glaser method (steady-state method) only enables a reliable assessment of damage avoidance in the case of diffusion-related problems (i.e. moisture entry through diffusion), whereby it can even lead to an overly conservative assessment due to simplifications, such as the non-consideration of the moisture storage capacity of materials. The transient method offers the possibility – in addition to the entry of moisture through vapor diffusion – also to take into account other possible sources of moisture under real, non-simplified material behaviour. This enables realistic simulation and assessment of all constructions.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Aufbau der Arbeit	2
2	Vergleich der ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003	3
2.1	Methodik der Nachweisführung	3
2.2	Kondensation im Bauteilinneren	4
2.2.1	Verfahren zur Ermittlung des Außenklimas	5
2.2.2	Verfahren zur Ermittlung des Innenklimas	6
2.2.3	Nachweis der Vermeidung schadenverursachender Kondensation	13
2.2.4	Nachweisverfahren lt. ÖNORM B 8110-2:2003	17
2.3	Bestimmung des Bemessungstemperaturfaktors für die raumseitige Oberfläche	20
2.3.1	Bemessungstemperaturfaktor (Schimmelbefall)	21
2.3.2	Bemessungstemperaturfaktor (Oberflächenkondensat)	23
2.3.3	Nachweisführung lt. ÖNORM B 8110-2:2003	26
2.4	Wärmeübergangswiderstände	32
2.4.1	ÖNORM B 8110-2:2020	32
2.4.2	ÖNORM B 8110-2:2003	33
2.5	Zusammenfassung	33
2.5.1	Randbedingungen Kondensation im Inneren	33
2.5.2	Randbedingungen Schimmelbefall	34
2.5.3	Randbedingungen Oberflächenkondensat	34
2.5.4	Übersicht der Randbedingungen	35
3	Modifiziertes Glaser-Verfahren	37
3.1	Allgemeines	37
3.2	Vorgehensweise	40
3.3	Materialkennwerte	40
3.4	Klimatische Randbedingungen	40
3.5	Berechnungsbeispiel	40
3.6	Ergebnis der Berechnung	42
3.7	Zusammenfassung	43
4	Vergleich der standardisierten Nachweisverfahren für die Kondensation im Inneren	45
4.1	Vorgehensweise	45
4.2	Materialkennwerte	46
4.3	Klimatische Randbedingungen	46
4.4	Kriterien der Beurteilung gemäß ÖNORM B 8110-2:2003	46
4.5	Kriterien der Beurteilung gemäß ÖNORM B 8110-2:2020	46
4.6	Hinweise zum Programm „WUFI“	47
4.6.1	Auswerteprinzip des Programms “WUFI”	47
4.6.2	Auswerteprinzip von Tauwasser in der Simulation	48
4.6.3	Bewertung des Schimmelpilzrisikos	50
4.6.4	Feuchtequellen	52
4.7	Beispiel 1: Massive, mineralische, zweischalige Außenwand mit Vorsatzschale ohne Hinterlüftungsebene (Kerndämmung) [1]	53
4.7.1	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2020	54
4.7.2	Ergebnis der Berechnung	60
4.7.3	Bewertung der Ergebnisse	62
4.7.4	Abschließende Bewertung	67
4.7.5	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003	68

4.7.6	Vergleich der Ergebnisse	70
4.8	Beispiel 2: Boden eines konditionierten, nutzbaren Raumes gegen Erdreich mit innerhalb liegendem Dämmstoff.....	71
4.8.1	Berechnung gemäß ÖNORM B 8110-2:2020.....	72
4.8.2	Ergebnis der Berechnung	85
4.8.3	Bewertung der Ergebnisse	88
4.8.4	Abschließende Bewertung.....	92
4.8.5	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003	93
4.8.6	Vergleich der Ergebnisse	95
4.9	Beispiel 3: Holzriegelaußenwand, ohne Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene.....	96
4.9.1	Allgemeines zu Holzriegelbauten	97
4.9.2	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2020	98
4.9.3	Ergebnis der Berechnung	108
4.9.4	Bewertung der Ergebnisse	111
4.9.5	Abschließende Bewertung.....	117
4.9.6	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003	118
4.9.7	Vergleich der Ergebnisse	121
4.10	Beispiel 4: Holzriegelwand mit Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene.....	122
4.10.1	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2020	123
4.10.2	Ergebnis der Berechnung	131
4.10.3	Bewertung der Ergebnisse	134
4.10.4	Abschließende Bewertung	139
4.10.5	Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003	140
4.10.6	Vergleich der Ergebnisse.....	141
4.11	Zusammenfassung.....	142
5	Schlussfolgerung und Ausblick	145
5.1	Modifiziertes Glaser-Verfahren	145
5.2	Vergleich der standardisierten Nachweisverfahren für die Kondensation im Inneren	146

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bauschäden durch eine übermäßige Wasserdampfkondensation im Inneren von Bauteilen und Mängel infolge Wasserdampfkondensation bzw. Schimmelbildung an der Bauteiloberfläche, die auch ein gesundheitliches Risiko für den Menschen darstellen, sind aus der Praxis gut bekannt. Um diese Schäden bzw. Mängel zu vermeiden, müssen die Konstruktionen schon in der Planung auf die Funktionalität hinsichtlich Feuchtebeanspruchung aus dem Gebäudeinneren und den Umgebungsbedingungen geprüft werden. Die ÖNORM B 8110-2 stellt die Grundlage dieser Planung dar. [1]

Im Jahr 2020 ist eine neue Ausgabe dieser ÖNORM erschienen, die ein neues Konzept in Bezug auf die Methodik der Nachweisführung vorgibt. Die Änderungen im Vergleich zur Vorgängernorm und die dadurch entstehenden Unterschiede in der Beurteilung der Konstruktionen, sind aus bauphysikalischer Betrachtung sehr maßgeblich und relevant.

Die wohl größte Änderung ist die Abwendung vom konventionellem Glaser-Verfahren für den standardisierten Nachweis von Kondensat im Bauteilinneren. Das konventionelle Glaser-Verfahren ist ein einfaches grafisches Verfahren aus dem Jahr 1959 zur Verdeutlichung der Diffusionsströme von Kühlraumwänden [2], welches Jahrzehnte lang auch zur Beurteilung von Baukonstruktionen verwendet wurde und jetzt nur mehr bedingt als Stand der Technik gilt. Dieses Verfahren ist lt. ÖNORM B 8110-2: 2020 nur mehr für bestimmte Bauteilaufbauten zulässig und wurde dahingehend abgeändert, sodass auch der Feuchteintrag über konvektive Strömung (Eintrag über Fehlstellen/Leckagen) berücksichtigt werden kann. Das instationäre Verfahren gemäß ÖNORM EN ISO 15026 ersetzt das konventionelle Glaser-Verfahren als standardisiertes Nachweisverfahren zur Vermeidung von schadensverursachendem Kondensat im Bauteilinneren.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Vermittlung eines Überblicks über die Nachweisführung lt. neuer ÖNORM B 8110-2:2020 und ein Vergleich mit der Vorgängernorm ÖNORM B 8110-2:2003. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die anzuwendenden Nachweisverfahren für die Vermeidung von schadensverursachender Kondensation im Bauteilinneren gelegt; diese Verfahren werden erläutert und deren Unterschiede aufgezeigt. Die divergenten Ergebnisse/Bewertungen, die durch diese Unterschiede entstehen könnten, werden anhand von ausgewählten Bauteilkonstruktionen veranschaulicht und interpretiert, um aufzuzeigen, welche Faktoren für die richtige Wahl des Nachweisverfahren bzw. für die richtige Beurteilung des Bauteils zu beachten sind und dadurch unvorhergesehene Schäden des Bauteils hinsichtlich Kondensation im Inneren zu vermeiden.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 wird die ÖNORM B 8110-2:2020 erläutert und die Unterschiede zur Vorgängernorm – der ÖNORM B 8110-2003 – dargestellt. Dabei werden auch grundlegende Aspekte aufgezeigt und erklärt, um die bauphysikalischen Vorgänge zu verstehen und die Nachweisführung nachzuvollziehen.

Das vereinfachte Verfahren (modifiziertes Glaser-Verfahren) der ÖNORM B 8110-2:2020 für den Nachweis von Kondensation im Inneren wird in Kapitel 3 erklärt, anhand eines Beispiels berechnet und es wird ein Vergleich zum konventionellem Glaser-Verfahren hergestellt.

In Kapitel 4 werden stationäre und instationäre Berechnungsverfahren verglichen und deren Unterschiede ausgearbeitet. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse bzw. die Beurteilung von Bauteilkonstruktionen aufgrund dieser Unterschiede (z.B. Nichtbeachtung der Feuchtespeicherfähigkeit von Dämmstoffen) werden anhand von vier Berechnungsbeispielen aufgezeigt. Diese sollen einen Einblick vermitteln:

- wie die verschiedenen Verfahren funktionieren,
- welche Faktoren bei bestimmten Bauteilen berücksichtigt werden sollten,
- welches Verfahren welche Faktoren berücksichtigt,
- wie die Beurteilung der Bauteile erfolgt und
- welche Rückschlüsse man aufgrund verschiedener Beurteilungen auf die Einsatzfähigkeit der Verfahren ziehen kann; d.h. welches Verfahren für welches Bauteil angewendet werden kann, um schadensverursachendes Kondensat oder andere damit verbundene Schäden auszuschließen.

Dabei werden die Bauteile gemäß den Kriterien der ÖNORM B 8110-2:2003 (stationäres Verfahren) und ÖNORM B 8110-2:2020 (instationäres Verfahren) beurteilt.

2 Vergleich der ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003

Die ÖNORM B 8110-2 ist für den bauphysikalischen Nachweis hinsichtlich Feuchtebeanspruchung aus dem Gebäudeinneren anzuwenden. Es werden Rechenverfahren für die Bemessung von Bauteilen zur Vermeidung von Kondensat bzw. Schimmelbildung an der Oberfläche und zur Ermittlung einer möglichen Kondensatmenge im Bauteilinneren zur Verfügung gestellt. [1] In diesem Kapitel werden folgende Punkte der ÖNORM B 8110-2:2020 ausgearbeitet und mit der ÖNORM B 8110-2:2003 verglichen:

- Methodik der Nachweisführung
- Kondensation im Bauteilinneren
- Vermeidung von Schimmelbefall
- Kondensation an der Oberfläche
- Wärmeübergangswiderstände

2.1 Methodik der Nachweisführung

Für Außenbauteile und Bauteile, die Räume mit unterschiedlichen Luftzuständen voneinander trennen, muss ein bauphysikalischer Nachweis hinsichtlich Feuchtebeanspruchung aus dem Gebäudeinneren erfolgen. [1] Ein Raum weist – im Vergleich zu den anderen Räumen im Gebäude – dann unterschiedliche Luftzustände auf, wenn sich die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit dieses Raumes über einen längeren Zeitraum von den Luftzuständen in den angrenzenden Räumen unterscheiden. Dies ist z.B. bei unbeheizten Räumen der Fall. Konkrete Bedingungen, welche einen Raum mit unterschiedlichen Luftzuständen definieren, werden in der NORM nicht angegeben.

Die ÖNORM B 8110-2:2020 fasst im Kapitel 8 „Nachweisfreie Konstruktionen“ praxisbewährte Konstruktionen, bei denen schadensverursachendes Kondensat als vermieden gilt, zusammen. Wenn die Kriterien an eine Bauteilschicht nicht eingehalten werden, muss ein Nachweis nach ÖNORM EN ISO 15026 oder - wenn ausdrücklich angegeben - nach ÖNORM EN ISO 13788 (+Ergänzungen) erfolgen. Die ÖNORM EN ISO 15026 befasst sich mit der instationären Berechnung von Bauteilen, d.h. laut neuer ÖNORM müssen alle Bauteile, für die ein Nachweis erbracht werden muss, bis auf wenige Ausnahmen, instationär simuliert werden. Der Nachweis zur Vermeidung von Schimmelbildung bzw. Kondensation an der Oberfläche hat mittels Bemessungstemperaturfaktor gemäß ÖNORM EN ISO 13788 zu erfolgen (siehe Abbildung 1). [1]

In der ÖNORM B 8110-2:2003 werden im Kapitel 10 Bauteile, für die kein diffusionstechnischer Nachweis erforderlich ist, zusammengefasst. Alle Bauteile, die nicht in diese Kategorie fallen, müssen gemäß ÖNORM EN ISO 13788 nachgewiesen werden. [3]

Methodik der ÖNORM B 8110-2:2020

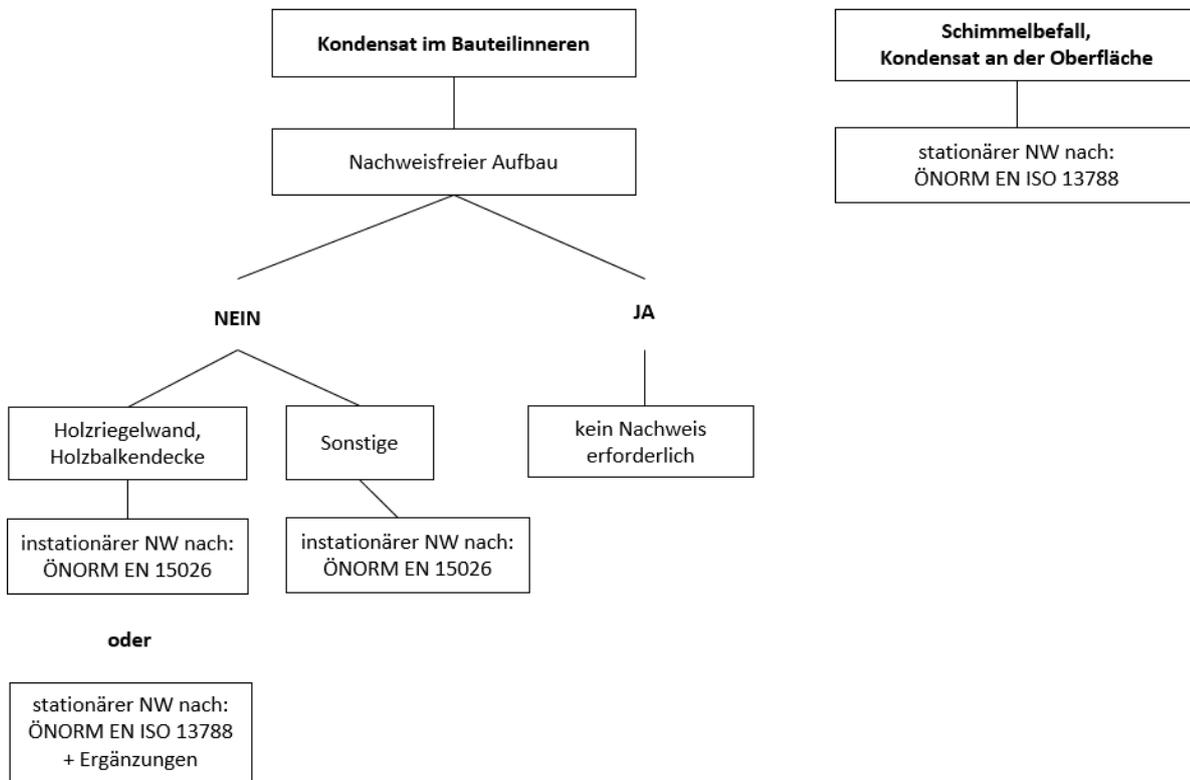


Abbildung 1: Methodik der Nachweisführung lt. ÖNORM B 8110-2:2020

2.2 Kondensation im Bauteilinneren

Grundsätzlich ist gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 immer eine instationäre hygrothermische Berechnung nach ÖNORM EN ISO 15026 (instationäres Verfahren) erforderlich, außer es handelt sich um Holzrahmenbauwände oder Holzbalkendecken; hier darf auch der vereinfachte Nachweis nach ÖNORM EN ISO 13788 inkl. der Ergänzungen (stationäres Verfahren) verwendet werden oder es sind die Bedingungen nach Punkt 8 für nachweisfreie Konstruktionen eingehalten, womit ein Nachweis entfallen kann. [1]

Die stationären Verfahren weisen im Gegensatz zu den instationären Verfahren einige Vereinfachungen auf, u.a.:

- Blockrandbedingungen (Sommer, Winter oder monatlich) d.h. konstante Klimabedingen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit)
- Feuchteunabhängige Materialparameter (Wärmeleitfähigkeit)
- Keine Berücksichtigung der Einbaufeuchte
- Sorptionsvorgänge bleiben unberücksichtigt
- Feuchtespeichervorgänge in Materialien bleiben unberücksichtigt

[4]

Dies hat zur Folge, dass nicht alle realen Bedingungen in die bauphysikalische Berechnung miteinfließen und es zu einer unterschiedlichen Bewertung kommen kann.

2.2.1 Verfahren zur Ermittlung des Außenklimas

Für das stationäre und instationäre Verfahren werden unterschiedliche Klimadaten benötigt.

Stationäres Verfahren:

Für den stationären Nachweis verwendet man die Randbedingungen lt. ÖNORM B 8110-5:2019, Abschnitt 5.2.1. Österreich wird in sieben Klimaregionen eingeteilt und anhand von Koeffizienten und Seehöhe des jeweiligen Standortes wird der Monatsmittelwert der Außentemperatur errechnet. [5]

Die relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft $\varphi_{e,m}$ wird aus dem Testreferenzjahr für Klagenfurt übernommen und gilt für alle Standorte in Österreich. [1]

Instationäre Verfahren:

Für den instationären Nachweis werden Klimadatensätze mit einer höheren Zeit- und Ortsauflösung benötigt. Der Klimadatensatz gilt als geeignet, wenn er gemäß ÖNORM EN ISO 15927-4 ermittelt wurde. [1]

Ein vollständiger Klimadatensatz enthält gemäß ÖNORM EN 15026 folgende Parameter:

- Trockenkugel-Temperatur;
- Dampfdruck oder sonstiger Feuchteparameter, der die Berechnung des Dampfdruckes ermöglicht;
- Globalstrahlung und diffuse Sonnenstrahlung;
- Lufttemperatur;
- Windgeschwindigkeit und Windrichtung;
- Gesamtluftdruck;
- Niederschlag (Regen, Schnee, Sprühregen)

[6]

2.2.2 Verfahren zur Ermittlung des Innenklimas

Die Innenluftbedingungen (Raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit), die für den bauphysikalischen Nachweis verwendet werden, sind abhängig von der Raumnutzung und der Außentemperatur. Die ÖNORM EN ISO 13788 stuft die verschiedenen Raumnutzungen in Luftfeuchteklassen ein, um die anzuwendende raumseitige Luftfeuchtelast zu bestimmen (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4). [7]

Raumtemperatur

Die Innentemperatur wird in Abhängigkeit der Monatsmitteltemperatur der Außenluft ermittelt: [1]

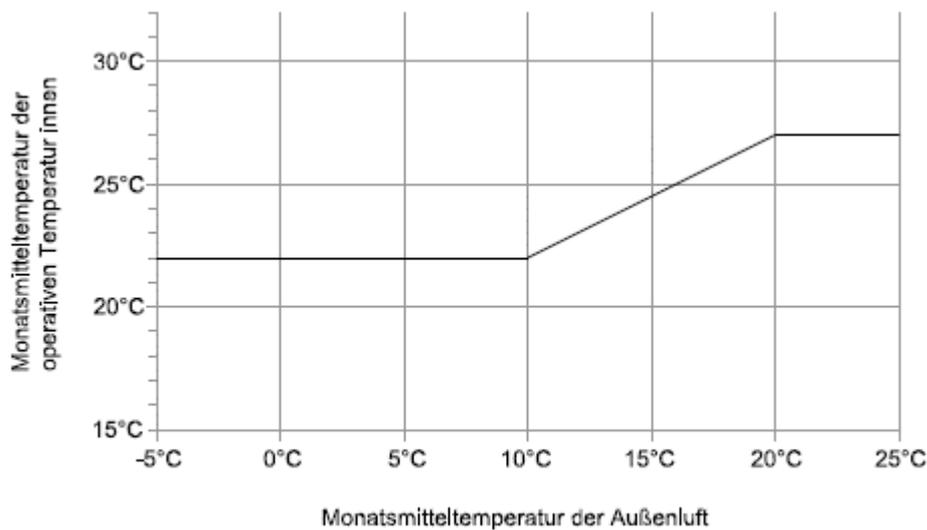


Abbildung 2: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2:2020-Kapitel 7.2.1, Monatsmitteltemperatur der Innenluft als Funktion der Monatsmitteltemperatur der Außenluft [1]

relative Luftfeuchtigkeit

Mit diesem Verfahren wird die relative Luftfeuchtigkeit der Innenluft des stationären und auch des instationären Nachweises ermittelt.

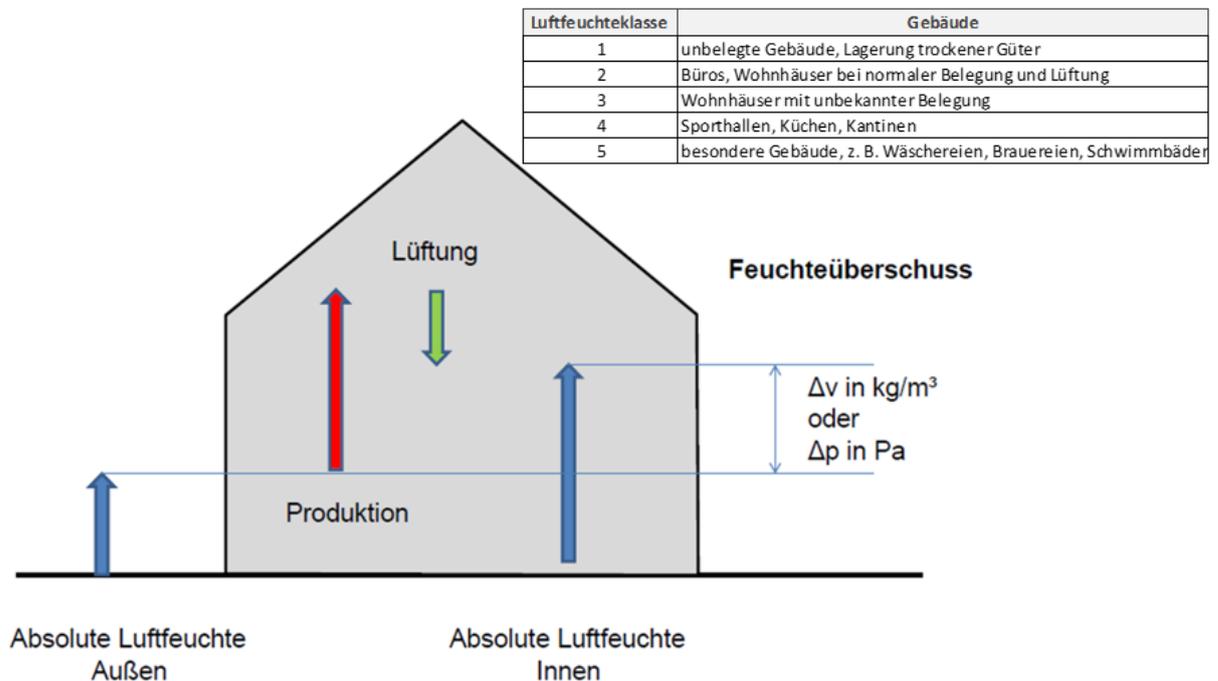


Abbildung 3: Darstellung des Einflusses der Nutzung auf Nutzklasse [8] inkl. der Luftfeuchteklassen gemäß ÖNORM EN ISO 13788 [7]

Die Abbildung 3 zeigt die verschiedenen Faktoren, welche die relative Luftfeuchtigkeit der Innenluft in einem Gebäude beeinflussen und wie diese miteinander interagieren. Diese und andere grundlegende Faktoren werden hier nochmals erläutert:

i. Luft- und Winddichte

Eine luftdichte Gebäudehülle unterstützt die Lüftungseffektivität, die Energieeffizienz, den thermischen Komfort und die hygienischen Anforderungen. Bei einem Neubau muss die Gebäudehülle luft- und winddicht ausgeführt werden. Dabei darf die Luftwechselrate bei einer Druckdifferenz von 50 Pa, bei geschlossenen Ab- und Zuluftöffnungen, den Wert von 3 h^{-1} nicht überschreiten. Bei Gebäuden mit mechanisch betriebenen Lüftungsanlagen darf der Wert von $1,5 \text{ h}^{-1}$ nicht überschritten werden. [9]

ii. Lüftung

Bei Aufenthaltsräumen und Sanitärräumen muss eine ausreichende Belüftung gewährleistet werden. Diese kann durch unmittelbar ins Freie führende Fenster, Türen und dergleichen und/oder durch eine mechanische Belüftung erfolgen. [10]

Die Raumluftbelastung in Räumen ist von vielen Faktoren abhängig, wie z.B. Anzahl der Personen (Belegung und Nutzungsdauer), Aktivität der Nutzer, Emissionen aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen (wie z.B. Computer usw.) und dergleichen. Diese Umstände müssen bei der Wahl des Belüftungssystem berücksichtigt werden. Dabei ist davon auszugehen, dass eine Person ca. 20-30 m³ Frischluft pro Stunde benötigt. [11]

Im Gegensatz zur mechanischen Belüftung hängt die Belüftung durch ins Freie führende Fenster maßgeblich vom Nutzer und folgenden Einflüssen ab:

- Dauer und Ausmaß der Fensteröffnung
- Windverhältnisse
- Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenluft: Bei geringen Temperaturunterschieden (z.B. im Sommer) entsteht nur eine kleine Luftwechselrate.

Für eine genaue Übersicht des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung wird auf das Dokument „Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht“ verwiesen. [12]

iii. Feuchteproduktion im Raum

Die Feuchteproduktion im Raum bzw. im Gebäude ist abhängig von der Belegung, der Aktivität der Belegung, den Einrichtungsgegenständen usw. Hier werden einige Richtwerte angeführt, anhand derer man die Feuchteproduktion abschätzen kann:

- | | |
|----------------------------------|----------------|
| - Mensch, je nach Aktivität | 30-300 [g/h] |
| - Wannenbad | ca. 700 [g/h] |
| - Duschen | ca. 2600 [g/h] |
| - Kochvorgänge | 600-1500 [g/h] |
| - Wäschetrocknen, 4,5 kg Trommel | 50-500 [g/h] |
| - Zimmerpflanzen | 5-20 [g/h] |

[13]

iv. Feuchteüberschuss

Der Feuchteüberschuss ergibt sich durch die Feuchteerzeugung im Raum, durch die Luftwechselrate und das Raumvolumen:

$$\Delta v_m = \frac{G}{n * V}$$

Δv_mraumseitiger Feuchteüberschuss [kg/m³]

Graumseitige Feuchtebelastung [kg/h]

nLuftwechselrate [h⁻¹]

VRaumvolumen [m³]

Oder durch die Differenz zwischen volumenbezogene Luftfeuchte Innen $v_{i,m}$ und volumenbezogene Luftfeuchte Außen $v_{e,m}$:

$$\Delta v_m = v_{i,m} - v_{e,m}$$

Δv_mraumseitiger Feuchteüberschuss [kg/m³]

$v_{i,m}$volumenbezogene Luftfeuchte Innen [kg/m³]

$v_{e,m}$volumenbezogene Luftfeuchte Außen [kg/m³]

Die ÖNORM EN ISO 13788 und die ÖNORM B 8110-2:2020 stellen den raumseitigen Feuchteüberschuss Δv_m in Abhängigkeit der Luftfeuchteklasse wie folgt dar:

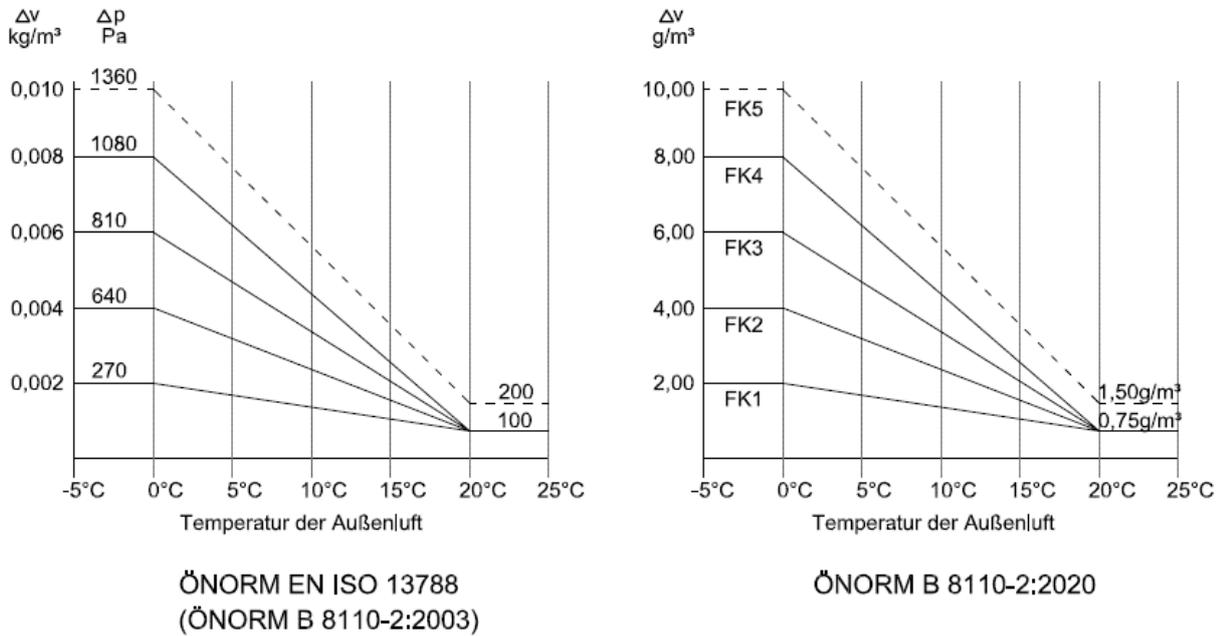


Abbildung 4: raumseitige Luftfeuchtelast der Verschiedenen Luftfeuchteklassen gemäß ÖNORM EN ISO 13788 und ÖNORM B 8110-2:2020 [1] [7]

Berechnungsverfahren zur Ermittlung der relativen Luftfeuchtigkeit Innen:

Der Sättigungsdampfdruck $\rho_{i,m,s}$ wurde mit folgender Formel berechnet:

$$\rho_{i,m,s} = 610,5 e^{\frac{17,269 \theta}{237,3+\theta}} \quad \text{für } \theta \geq 0^\circ\text{C}$$

$$\rho_{i,m,s} = 610,5 e^{\frac{21,875 \theta}{265,5+\theta}} \quad \text{für } \theta < 0^\circ\text{C}$$

$\rho_{i,m,s}$...Sättigungsdampfdruck [Pa]

θTemperatur [°C]

[7]

Die volumenbezogene Luftfeuchte $v_{i,m}$ wurde anhand folgender Formeln berechnet:

$$v_{i,m,s} = \frac{p_{i,m,s}}{R_v * T_i}$$

$$v_{i,m} = v_{i,m,s} * \varphi_{i,m}$$

$v_{i,m,s}$volumenbezogene Luftfeuchte der gesättigten Innenluft [kg/m³]

$v_{i,m}$tatsächliche volumenbezogene Luftfeuchte der Innenluft [kg/m³]

$p_{i,m,s}$Sättigungsdampfdruck [Pa]

R_vGaskonstante für Wasserdampf = 462 [Pa m³/K kg]

T_iInnentemperatur [K]

$\varphi_{i,m}$relative Luftfeuchtigkeit [-]

[7]

Der raumseitige Feuchteüberschuss Δv_m wird wie folgt definiert:

$$\Delta v_m = v_{i,m} - v_{e,m}$$

daraus folgt:

$$v_{i,m} = \Delta v_m + v_{e,m}$$

Δv_mraumseitiger Feuchteüberschuss [kg/m³]

$v_{i,m}$tatsächliche volumenbezogene Luftfeuchte der Innenluft [kg/m³]

$v_{e,m}$tatsächliche volumenbezogene Luftfeuchte der Außenluft [kg/m³]

[7]

Die tatsächliche volumenbezogene Luftfeuchtigkeit geteilt durch die volumenbezogene Luftfeuchte der gesättigten Luft ergibt die relative Luftfeuchtigkeit innen:

$$\varphi_{i,m} = \frac{v_{i,m}}{v_{i,m,s}}$$

[7]

Luftdichtheit des Bauteils

Die ÖNORM B 8110-2:2020 berücksichtigt für das stationäre Nachweisverfahren auch die Luftdichtheit des Bauteils:

$$\Delta P_s = \frac{z}{2} * 3456 * \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right)$$

ΔP_sDifferenzdruck über die Konstruktion [Pa]

zHöhe des zusammenhängenden Luftraums bis zum höchsten Punkt des betrachteten Bauteils (Summe der betreffenden Geschoßhöhen) [m]

T_eAußentemperatur [K]

T_iInnentemperatur [K]

[1]

$$\dot{m}_{Luft} = \rho * C * \Delta P^b$$

\dot{m}_{Luft}Luftmassenstromdichte [kg/m² s]

ρDichte der Luft ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$)

CLuftvolumenstromkoeffizient [m³/(s Pa^b)] bzw. [m³/(s Pa^{0,66})]

ΔP Druckdifferenz ($\Delta P \geq 0$) [Pa]

bLeckageexponent ($b = 0,66$)

[1]

Der Luftvolumenstromkoeffizient wird aus folgender Tabelle abgelesen:

Tabelle 1: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 9.2-Tabelle 3

Zeile	Ausführung der Luftdichtheit der Konstruktion auf der Innenseite	C
1	Die Luftdichtheit des Bauteils ist baulich dauerhaft gesichert. Dies gilt bei Bauteilen, bei denen z.B. ein Nagel oder eine Schraube zu keinem Strömungspfad in Bereichen führt, in denen schadensverursachendes Kondensat auftreten kann.	0 m ³ /(s*Pa ^b)
2	Bauteile aus einer qualitätsüberwachten Vorfertigung	8*10 ⁻⁷ m ³ /(s*Pa ^b)
3	Alle anderen Fälle	2*10 ⁻⁶ m ³ /(s*Pa ^b)

2.2.3 Nachweis der Vermeidung schadenverursachender Kondensation

Stationäres Verfahren:

Der vereinfachte Nachweis hat mit den Ergänzungen, gemäß ÖNORM B 8110-2:2020-Kapitel 11.2, nach ÖNORM EN ISO 13788 zu erfolgen und ist nur für Holzrahmenbauwände und Holzbalkendecken zulässig. Bei Bauteilen mit Lufthohlräumen (z.B. Holzrahmenbauwände, Holzbalkendecken) ist anstatt der Diffusionsgleichung die Diffusions-/Konvektionsgleichung für den Wärme und Feuchtetransport wie folgt zu verwenden, wenn die Luftdichtheit der Konstruktion auf der Innenseite nicht dauerhaft gesichert ist (siehe Tabelle 1):

Diffusions-/Konvektionsgleichung für den Wärmetransport

$$q = c * \dot{m}_{Luft} * \left(T_1 + \frac{T_1 - T_2}{e^{PH} - 1} \right)$$

Die oben angeführte Formel gibt die Wärmestromdichte unter Berücksichtigung des konvektiven Wärmetransports an. [14]

Diffusions-/Konvektionsgleichung für den Feuchtetransport

$$g' = \frac{0,622}{\rho_0} * \dot{m}_{Luft} * \left(p_1 + \frac{p_1 - p_2}{e^{PM} - 1} \right)$$

Diese Formel gibt den Feuchttestrom unter Berücksichtigung von Diffusion und konvektiven Feuchtetransport an. [14]

Die Parameter PH und PM geben dabei die Bedeutung der Luftströmung an:

$$PH = \frac{c * \dot{m}_{Luft}}{\left(\frac{\lambda}{d} \right)}$$

$$PM = \frac{\dot{m}_{Luft} * 0,0622 / \rho_0}{\delta_0 / (\mu * d)}$$

Im Grenzfall (PH → 0 und PM → 0) ergeben sich folgende Gleichungen für die Diffusion:

$$q = \frac{\lambda}{d} * (T_1 - T_2)$$

$$g' = \frac{\delta_0}{\mu * d} * (p_1 - p_2)$$

Die vorliegenden Formeln berücksichtigen nicht den konvektiven Wärme- oder Feuchtetransport. Sie werden nur im Grenzfall PH → 0 und PM → 0 verwendet. Dies ist der Fall, wenn die Luftdichtheit des Bauteils gegeben ist bzw. keine Leckagen vorhanden sind und somit keine Luft vom Innenraum in das Bauteil eindringen kann. Wenn dies eintritt, wird also nur der Wärme- oder Feuchtetransport durch Diffusion berücksichtigt – wie beim konventionellen Glaser-Verfahren gemäß ÖNORM EN ISO 13788.

[1]

d.....Schichtdicke [m]

λ.....Wärmeleitfähigkeit [m/W K]

c.....spezifische Wärmekapazität der Luft (*c* = 1006 J/(kg K)), in J/(kg K)

μ.....Diffusionswiderstandszahl

m_{Luft}.....Luftmassenstromdichte, in kg/(m² s)

T₁.....Temperatur der linken Schichtgrenze [K]

T₂.....Temperatur der rechten Schichtgrenze [K]

pWasserdampfpartialdruck [Pa]

p₀.....Luftdruck (= 101.325 Pa) [Pa]

PH.....numerischer Parameter für den Wärmetransport

PM.....numerischer Parameter für den Feuchtetransport

δ₀.....Wasserdampfpermeabilität (= 2 * 10⁻¹⁰ [kg/(m s Pa)])

q.....Wärmestromdichte [W/m²]

g'Kondensatmenge [kg/m²]

Die in diesem Unterkapitel angeführten Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 13788 berücksichtigen also nicht nur die Wärmeleitung, sondern auch den Wärme- und Feuchtetransport infolge Konvektion (siehe Abbildung 5).

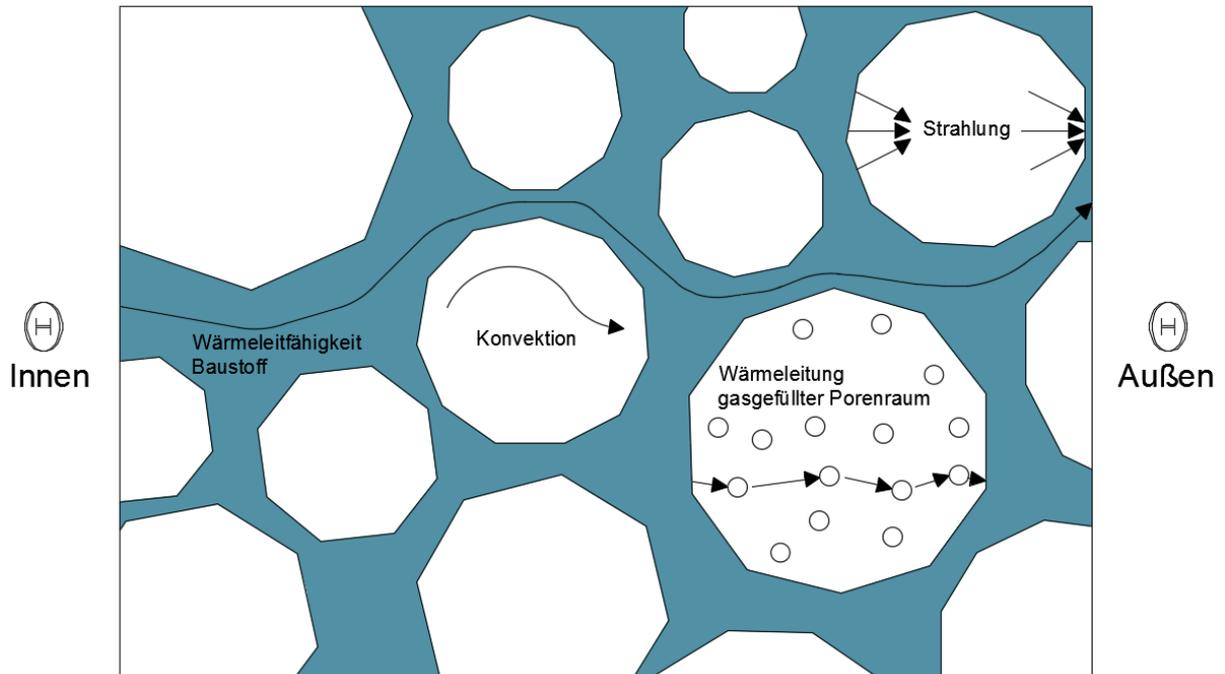


Abbildung 5: Porenraum eines Baustoffs und vier mögliche Wege des Wärmetransports. [15]

Die Abbildung 5 zeigt die vier möglichen Wege des Wärmetransports in einem Baustoff:

- Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes
- Konvektion
- Wärmestrahlung
- Wärmeleitung in einem gasgefüllten Porenraum

Kriterien zur Beurteilung:

i. ohne Anfangsfeuchte

- die Kondensatmenge darf an Grenzflächen, die kapillar nicht oder wenig aufnahmefähig sind, eine Menge von 0,5 kg/m² nicht überschreiten.
- die im Winter auftretende Feuchteanreicherung muss im Sommer wieder austrocknen können.

ii. mit Anfangsfeuchte

- es darf keine Feuchteanreicherung durch Kondensation über $\geq 0,5$ kg/m² auftreten.
- die im Winter auftretende Feuchteanreicherung inklusive Anfangsfeuchte muss im zweiten Sommer wieder austrocknen können.

Instationäres Verfahren

Bei der hygrothermischen Simulation gemäß ÖNORM EN 15026 werden das Materialverhalten, die klimatischen Randbedingungen und die hygrothermischen Prozesse im Bauteil im Vergleich zur stationären Berechnung ausführlicher betrachtet.

Um eine detailliertere Übersicht der berücksichtigten Einflüsse zu erhalten wird auf das WTA Merkblatt 6-2, Kapitel 1.2 verwiesen. [16]

Kriterien zur Beurteilung (Abschnitt 10):

- es muss sich ein eingeschwungener Zustand einstellen. Dieser ist dann vorhanden, wenn es durch die periodische Belastung mit dem Jahresklimasatz zu keiner weiteren Feuchteanreicherung kommt. Bei einer Veränderung von kleiner als 1% im Vergleich zum Vorjahr darf die Berechnung beendet werden.
- bei Konstruktionen im eingeschwungenen Zustand dürfen sich über einen längeren Zeitraum keine Feuchtezustände einstellen, welche zu Schimmelbildung in der Konstruktion, zur Verrottung organischer Materialien oder zu Eisbildung führen.
- durch Feuchtezustände darf es nicht zu einer Erhöhung des mittleren Wärmestroms im Winter um mehr als 10% kommen.

2.2.4 Nachweisverfahren lt. ÖNORM B 8110-2:2003

Außenbedingungen

Lt. ÖNORM B 8110-2:2003 werden Außentemperaturen des Standortes mit dem gleichen Verfahren wie in der ÖNORM B 8110-5 ermittelt. Die Klimadatensätze unterscheiden sich jedoch und es werden auch keine 2 K von den ermittelten Werten abgezogen. [3]

Die relative Luftfeuchte der Außenluft kann für alle Standorte mit 80% angenommen werden - außer in den Monaten Mai, Juni, Juli und August; hier wird die relative Luftfeuchtigkeit mit 75% angenommen. [3]

Innenklimabedingungen

Die ÖNORM B 8110-2:2003 stellt für Wohnungen und Räume vergleichbarer Widmung folgendes Verfahren zur Verfügung:

„Die Innenlufttemperatur wird über das ganze Jahr mit 20 °C angenommen.

relative Feuchtigkeit der Innenluft

(a) für die Bemessung zur Vermeidung von Kondensatbildung:

65% bei Außenlufttemperaturen von 0 °C bis 10 °C und

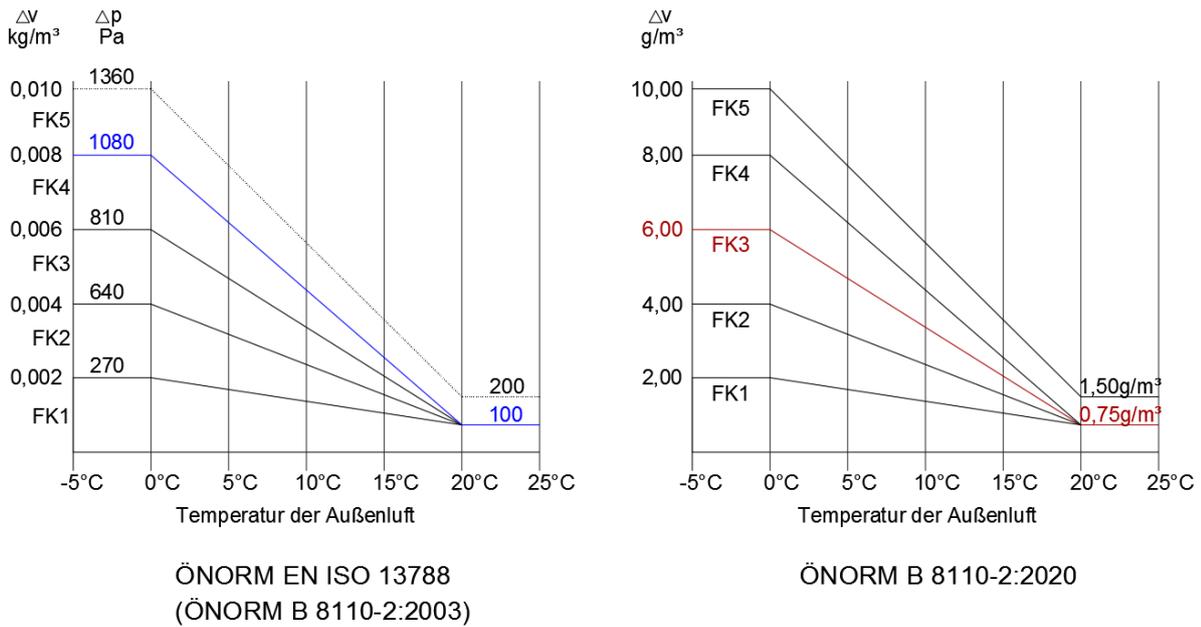
um je 1 Prozentpunkt fallend je 1 K Temperaturabnahme der Außenluft unter 0 °C

und um je 1 Prozentpunkt steigend je 1 K Temperaturzunahme der Außenluft über 10 °C“

[3,S.7]

Diese Bedingung entspricht der Grenzlinie zwischen Luftfeuchteklasse 4 und 5 lt. ÖNORM EN ISO 13788 (siehe Abbildung 4).Dadurch wird Kondensatbildung durch eine fallweise höhere Luftfeuchtigkeit vermieden. [3]

Das bedeutet, wenn man lt. ÖNORM B 8110-2:2003 Außenbauteile von Wohnungen oder Räumen vergleichbarer Widmung (Luftklasse 2 oder 3) berechnet, verwendet man einen höheren raumseitigen Feuchteüberschuss Δv_m , um eine fallweise höhere Luftfeuchtigkeit zu berücksichtigen und dadurch auf der sicheren Seite zu liegen (siehe Abbildung 6):



Linie A: Feuchteüberschuss von Wohnungen oder Räumen vergleichbarer Widmung der ÖNORM B 8110-2:2003

Linie B: Feuchteüberschuss von Wohnungen oder Räumen vergleichbarer Widmung der ÖNORM B 8110-2:2020

Abbildung 6: Der zu verwendende Feuchteüberschuss Δv_m der Luftklasse 3 gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 [1] [7]

Wenn es sich nicht um Wohnungen oder Räume vergleichbarer Widmung handelt, müssen die Innenklimabedingungen nach dem Verfahren, welches im Kapitel 2.2.2 erläutert wurde, ermittelt werden.

Zur Veranschaulichung der Unterschiede wurden die klimatischen Randbedingungen für den Standort Klagenfurt (Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 ermittelt:

Tabelle 2: klimatische Randbedingungen für den Standort Klagenfurt
(Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003

Vergleich der Randbedingungen (Luftklasse 3)								
Monat	ÖNORM B 8110-2:2020 (ÖNORM EN ISO 13788)				ÖNORM B 8110-2:2003			
	$\Theta_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	$\Theta_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	$\Theta_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	$\Theta_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$
	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%
Jänner	-4,63	87	22,00	46	-3,80	80	20,00	61,20
Februar	-1,84	79	22,00	48	-0,77	80	20,00	64,23
März	2,88	72	22,00	49	3,65	80	20,00	65,00
April	7,72	71	22,00	50	8,50	80	20,00	65,00
Mai	12,13	70	23,07	50	13,22	75	20,00	68,22
Juni	15,87	69	24,94	49	16,48	75	20,00	71,48
Juli	17,79	74	25,90	52	18,33	75	20,00	73,33
August	16,97	72	25,49	51	17,63	75	20,00	72,63
September	13,35	80	23,68	55	14,22	80	20,00	69,22
Oktober	7,72	86	22,00	56	8,57	80	20,00	65,00
November	1,42	87	22,00	53	2,43	80	20,00	65,00
Dezember	-3,40	90	22,00	48	-2,41	80	20,00	62,59

Da die ÖNORM B 8110-2:2003 eine geringere Innentemperatur und die räumliche Feuchtelast der Luftfeuchtekategorie 4 annimmt (um eine fallweise höhere Luftfeuchtigkeit zu berücksichtigen), kommt es zu großen Unterschieden der relativen Luftfeuchtigkeit der Innenluft. Die Klimadaten des Nachweises nach Abschnitt 10 werden hier nicht angeführt, da diese über die Monate nicht als konstant angenommen werden.

Des Weiteren wird lt. ÖNORM B 8110-2:2003 die Luftdichtheit bei Bauteilen mit Lufthohlräumen (z.B. Holzrahmenbauwände, Holzbalkendecken) nicht berücksichtigt. Es wird folgende Diffusionsgleichung für den Wärme- und Feuchtetransport verwendet:

$$q = \frac{\lambda}{d} * (T_1 - T_2)$$

$$g' = \frac{\delta_0}{\mu * d} * (p_1 - p_2)$$

[7]

d.....Schichtdicke [m]

λWärmeleitfähigkeit [m/W K]

T_1Temperatur der linken Schichtgrenze [K]

T_2Temperatur der rechten Schichtgrenze [K]

p Wasserdampfpartialdruck [Pa]

δ_0Wasserdampfpermeabilität (= $2 * 10^{-10}$ [kg/(m s Pa)])

2.3 Bestimmung des Bemessungstemperaturfaktors für die raumseitige Oberfläche

Der Nachweis zur Vermeidung von Schimmelbildung und Kondensation an der Bauteiloberfläche wird lt. ÖNORM B 8110-2:2020, gemäß ÖNORM EN ISO 13788, mittels des Temperaturfaktor f_{Rsi} bestimmt. Dieser wird anhand folgender Formel berechnet:

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

θ_{si}Temperaturfaktor der raumseitigen Oberfläche [°C]

θ_eaußenseitige Lufttemperatur [°C]

θ_iinnenseitige operative Lufttemperatur [°C]

[1]

Um den Bemessungstemperaturfaktor (kleinster zulässiger Wert des Temperaturfaktors) $f_{Rsi,min}$ bestimmen zu können, muss die tiefste zulässige Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ errechnet und in die Formel eingesetzt werden:

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

[1]

Für die Berechnung der tiefsten zulässigen Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ müssen die Außen- und Innentemperaturen lt. ÖNORM B 8110-2:2020 angesetzt und die Oberflächentemperatur so berechnet werden, dass die relative Luftfeuchtigkeit 80% (bei Schimmelbefall) oder 100% (bei Oberflächenkondensat) entspricht. [1]

Die Schimmelbildung und schadensverursachendes Kondensat gilt als vermieden, wenn der Temperaturfaktor größer als der Bemessungstemperaturfaktor ist:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$$

[1]

Im Bereich von Wärmebrücken tritt im Regelfall eine niedrigere Oberflächentemperatur auf als an der ungestörten Wand- oder Deckenoberfläche. Diese Bereiche sind somit besonders anfällig für Schimmel- und Kondensatbildung. Die Oberflächentemperatur θ_{si} in diesen Bereichen wird mit einem numerischen Rechenverfahren gemäß ÖNORM EN ISO 10211 ermittelt. [3]

Da die ÖNORM B 8110-2:2020 nur Bauteilaufbauten behandelt – also nur eine eindimensionale Betrachtung liefert – können Wärmebrücken nicht mitberücksichtigt werden und es wird generell auf das Rechenverfahren nach ÖNORM EN ISO 10211 verwiesen. [1]

2.3.1 Bemessungstemperaturfaktor (Schimmelbefall)

Außenklima:

Es sind die Monatsmittelwerte der Außentemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit des Standortes Klagenfurt (Seehöhe 450 m) zu verwenden, welche für jeden Standort in Österreich gültig sind. [1]

Die ÖNORM B 8110-2:2020 stellt im Anhang A die Außenrandbedingungen für die Luftfeuchteklasse 3 auf Grundlage des Standortes Klagenfurt (Seehöhe 450 m) zur Verfügung. Wenn man die Monatsmittelwerte der Außentemperatur θ_e für den Standort Klagenfurt (Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-5 ausrechnet, stellt man fest, dass sich die Werte minimal unterscheiden:

Tabelle 3: Außenbedingungen nach ÖNORM B 8110-5 und Unterschiede der Monatsmittelwerte der Außentemperatur θ_e

Monat	$\theta_{e,m}$ (Anhang A) °C	$\theta_{e,m}$ (ÖNORM B 8110-5) °C	$p_{e,m,s}$ Pa	$v_{e,m,s}$ g/m ³	$v_{e,m}$ g/m ³	$\varphi_{e,m}$ %	Δv_m g/m ³
Januar	-2,63	-2,63	490,50	3,93	3,42	87	6,00
Februar	0,17	0,16	617,65	4,90	3,87	79	5,96
März	4,89	4,88	864,59	6,74	4,85	72	4,72
April	9,74	9,72	1204,47	9,23	6,55	71	3,45
Mai	14,14	14,13	1611,26	12,15	8,51	70	2,29
Juni	17,89	17,87	2046,03	15,23	10,51	69	1,31
Juli	19,8	19,79	2306,75	17,06	12,63	74	0,81
August	18,98	18,79	2167,54	16,09	11,58	72	1,07
September	15,36	15,35	1743,19	13,09	10,47	80	1,97
Oktober	9,72	9,72	1204,47	9,23	7,93	86	3,45
November	3,43	3,42	780,26	6,11	5,32	87	5,10
Dezember	-1,38	-1,40	543,66	4,33	3,90	90	6,00

Die Berechnung des Bemessungstemperaturfaktors wird mit den Werten nach ÖNORM B 8110-5 durchgeführt. Die Werte für die relative Luftfeuchtigkeit φ_e wurden aus dem Testreferenzjahr für den Standort Klagenfurt abgeleitet. Der raumseitige Feuchteüberschuss Δv_m entspricht der Luftfeuchteklasse 3 (siehe Abbildung 4). [1]

Bemessungsklima (für den Innenbereich)

Das Bemessungsklima für den Innenbereich wird mit dem gleichen Verfahren ermittelt, welches schon im Kapitel 2.2.2 erläutert wurde und ergibt Folgendes:

Tabelle 4: Innenrandbedingungen und Unterschiede der resultierenden Innentemperaturen

Monat	$\theta_{i,m}$ (Anhang A) °C	$\theta_{i,m}$ (ÖNORM B 8110-5) °C	$p_{i,m,s}$ Pa	$v_{i,m,s}$ g/m ³	$v_{i,m}$ g/m ³	$\varphi_{i,m}$ %	$f_{Rsi,RH80\%}$
Januar	22,00	22,00	2642,41	19,40	9,42	49,00	0,68
Februar	22,00	22,00	2642,41	19,40	9,83	51,00	0,67
März	22,00	22,00	2642,41	19,40	9,57	49,00	0,54
April	22,00	22,00	2642,41	19,40	10,00	52,00	0,44
Mai	24,07	24,07	2993,83	21,83	10,80	49,00	0,20
Juni	25,95	25,94	3346,57	24,25	11,82	49,00	0,00
Juli	26,90	26,90	3541,34	25,57	13,43	53,00	0,04
August	26,49	26,49	3456,98	25,00	12,73	51,00	0,01
September	24,68	24,68	3105,15	22,59	12,44	55,00	0,34
Oktober	22,00	22,00	2642,41	19,40	11,38	59,00	0,60
November	22,00	22,00	2642,41	19,40	10,42	54,00	0,66
Dezember	22,00	22,00	2642,41	19,40	9,90	51,00	0,69

Aus der Tabelle 4 ist ersichtlich, dass der Dezember mit einem $f_{Rsi,min}$ von 0,69 der maßgebende Monat für die Bemessung auf Vermeidung von Schimmelbildung ist. Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird der Wert für den $f_{Rsi,min}$ lt. ÖNORM auf 0,7 festgelegt. [1]

Die ÖNORM B 8110-2:2003 fordert einen $f_{Rsi,min}$ -Wert von 0,71- somit ist die Bewertung nach neuer NORM unkritischer (siehe Tabelle 13).

Berechnungsbeispiel für den Monat Dezember

$$\theta_i = 22 \text{ °C und } \varphi_i = 51\%$$

Tatsächlicher Dampfdruck der Innenluft:

$$p_{51\%} = p_{sat,22} * \varphi_i = 2642 * 0,51 = 1347,42 \text{ Pa}$$

Umrechnung auf Dampfdruck, bei dem eine Sättigung von 80% eintritt:

$$p_{100\%} = \frac{p_{51\%}}{\varphi_{80\%}} = \frac{1347,42}{0,8} = 1684,28 \text{ Pa}$$

0,80 weil 80% Luftfeuchtigkeit bei Schimmel.

[3]

Mit folgender Formel kann vom Dampfdruck auf die Temperatur umgerechnet werden:

$$\theta_{si,min} = \frac{237,3 * \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} \quad \text{für } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$\theta_{si,min} = \frac{265,5 * \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{21,875 - \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} \quad \text{für } p_{sat} \leq 610,5 \text{ Pa}$$

Daraus folgt, dass die Mindestoberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ einen Wert von 14,82 °C entspricht.

[3]

Dadurch kann der Bemessungstemperaturfaktor mit folgender Formel berechnet werden:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{14,82 - (-1,38)}{22 - (-1,38)} = 0,69$$

[1]

2.3.2 Bemessungstemperaturfaktor (Oberflächenkondensat)

Außenklima:

„Für die Berechnung des Bemessungstemperaturfaktors zur Vermeidung von schadensverursachendem Kondenswasser ist als Außenlufttemperatur entweder -16 °C oder der mittlere jährliche Tiefstwert des Temperatur-Tagesmittels einzusetzen.“ [1,S.14]

Zur Veranschaulichung wird der Bemessungstemperaturfaktor für ein Wohngebäude (Luftklasse 3) und den Standort Klagenfurt (Seehöhe 448 m) ermittelt.

Variante A: Außenlufttemperatur von -16 °C.

Tabelle 5: Variante A-Außenrandbedingungen für die
Außenlufttemperatur von -16 °C

Monat	$\theta_{e,m}$	$p_{e,m,s}$	$v_{e,m,s}$	$v_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	Δv_m
	°C	Pa	g/m ³	g/m ³	%	g/m ³
Januar	-16,00	150,13	1,26	1,10	87	6,00
Februar	-16,00	150,13	1,26	1,00	79	6,00
März	-16,00	150,13	1,26	0,91	72	6,00
April	-16,00	150,13	1,26	0,90	71	6,00
Mai	-16,00	150,13	1,26	0,89	70	6,00
Juni	-16,00	150,13	1,26	0,87	69	6,00
Juli	-16,00	150,13	1,26	0,94	74	6,00
August	-16,00	150,13	1,26	0,91	72	6,00
September	-16,00	150,13	1,26	1,01	80	6,00
Oktober	-16,00	150,13	1,26	1,09	86	6,00
November	-16,00	150,13	1,26	1,10	87	6,00
Dezember	-16,00	150,13	1,26	1,14	90	6,00

Variante B: mittlerer jährlicher Tiefstwert lt. Anhang B als Außenlufttemperatur.

Der mittlere jährliche Tiefstwert des Temperatur-Tagesmittels für Klagenfurt, mit einer Seehöhe von 448 m (bei der Berechnung zur Vermeidung von Schimmelbildung wird eine Seehöhe von 450 m angegeben), entspricht lt. ÖNORM B 8110-2:2020-Anhang B -11,6 °C.
[1]

Tabelle 6: Variante B-Außenrandbedingungen für den mittleren jährlichen Tiefstwert
für den Standort Klagenfurt von -11,6 °C

Monat	$\theta_{e,m}$	$p_{e,m,s}$	$v_{e,m,s}$	$v_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	Δv_m
	°C	Pa	g/m ³	g/m ³	%	g/m ³
Januar	-11,60	224,72	1,86	1,62	87	6,00
Februar	-11,60	224,72	1,86	1,47	79	6,00
März	-11,60	224,72	1,86	1,34	72	6,00
April	-11,60	224,72	1,86	1,32	71	6,00
Mai	-11,60	224,72	1,86	1,30	70	6,00
Juni	-11,60	224,72	1,86	1,28	69	6,00
Juli	-11,60	224,72	1,86	1,38	74	6,00
August	-11,60	224,72	1,86	1,34	72	6,00
September	-11,60	224,72	1,86	1,49	80	6,00
Oktober	-11,60	224,72	1,86	1,60	86	6,00
November	-11,60	224,72	1,86	1,62	87	6,00
Dezember	-11,60	224,72	1,86	1,68	90	6,00

Bemessungsklima für den Innenbereich

Das Bemessungsklima für den Innenbereich wird mit dem gleichen Verfahren ermittelt, welches schon im Kapitel 2.2.2 erläutert wurde.

Variante A:

Tabelle 7: Variante A, Innenrandbedingungen

Monat	$\theta_{i,m}$	$p_{i,m,s}$	$v_{i,m,s}$	$v_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	fRsi,RH100%
	°C	Pa	g/m ³	g/m ³	%	
Januar	22,00	2642,41	19,40	7,10	36,60	0,592
Februar	22,00	2642,41	19,40	7,00	36,08	0,587
März	22,00	2642,41	19,40	6,91	35,62	0,582
April	22,00	2642,41	19,40	6,90	35,56	0,581
Mai	22,00	2642,41	19,40	6,89	35,49	0,580
Juni	22,00	2642,41	19,40	6,87	35,43	0,580
Juli	22,00	2642,41	19,40	6,94	35,76	0,583
August	22,00	2642,41	19,40	6,91	35,62	0,582
September	22,00	2642,41	19,40	7,01	36,15	0,587
Oktober	22,00	2642,41	19,40	7,09	36,54	0,591
November	22,00	2642,41	19,40	7,10	36,60	0,592
Dezember	22,00	2642,41	19,40	7,14	36,80	0,594

Variante B:

Tabelle 8: Variante B, Innenrandbedingungen

Monat	$\theta_{i,m}$	$p_{i,m,s}$	$v_{i,m,s}$	$v_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	fRsi,RH100%
	°C	Pa	g/m ³	g/m ³	%	
Januar	22,00	2642,41	19,40	7,62	39,28	0,569
Februar	22,00	2642,41	19,40	7,47	38,51	0,561
März	22,00	2642,41	19,40	7,34	37,84	0,553
April	22,00	2642,41	19,40	7,32	37,74	0,552
Mai	22,00	2642,41	19,40	7,30	37,65	0,551
Juni	22,00	2642,41	19,40	7,28	37,55	0,550
Juli	22,00	2642,41	19,40	7,38	38,03	0,555
August	22,00	2642,41	19,40	7,34	37,84	0,553
September	22,00	2642,41	19,40	7,49	38,61	0,562
Oktober	22,00	2642,41	19,40	7,60	39,18	0,568
November	22,00	2642,41	19,40	7,62	39,28	0,569
Dezember	22,00	2642,41	19,40	7,68	39,57	0,572

Aus Tabelle 7 und Tabelle 8 ist ersichtlich, dass der Dezember mit einem $f_{Rsi,min}$ von 0,594 und 0,572 der maßgebende Monat für beide Varianten der Oberflächenkondensatberechnung ist.

Die ÖNORM B 8110-2:2003 fordert einen $f_{Rsi,min}$ -Wert von 0,69- somit ist die Bewertung nach ÖNORM B 8110-2:2020 unkritischer (siehe Tabelle 13).

2.3.3 Nachweisführung lt. ÖNORM B 8110-2:2003

Schimmelbefall

Lt. ÖNORM B 8110-2:2003 müssen die Außenrandbedingungen für den benötigten Standort ermittelt werden; der Standort Klagenfurt ist nicht stellvertretend für alle Standorte in Österreich.

Die Innenrandbedingungen für die Luftklasse 3 werden wie folgt bestimmt:

„Die Innenlufttemperatur wird über das ganze Jahr mit 20 °C angenommen.

relative Feuchtigkeit der Innenluft

(b) für die Bemessung zur Vermeidung von Schimmelbildung:

55% bei Außenlufttemperaturen von 0 °C bis 5 °C und

um je 1 Prozentpunkt steigend je 1 K Temperaturzunahme der Außenluft für über 5 °C bis 10 °C und

um je 1,5 Prozentpunkte ansteigend je 1 K Temperaturzunahme der Außenluft über 10 °C und

um je 1 Prozentpunkt fallend je 1 K Temperatur der Außenluft unter 0 °C" [3,S.7]

Mit diesen Randbedingungen wird dann der $f_{Rsi,min}$ -Wert ermittelt, welcher sich vom Wert der neuen NORM wie folgt unterscheidet:

Tabelle 9: klimatische Randbedingungen für den Standort Klagenfurt
(Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003
(Schimmelbefall)

Vergleich der Randbedingungen (Luftklasse 3)										
Monat	ÖNORM B 8110-2:2020 (nach ÖNORM EN ISO 13788)					ÖNORM B 8110-2:2003				
	$\Theta_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	$\Theta_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	$f_{Rsi,RH80\%}$	$\Theta_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	$\Theta_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	$f_{Rsi,RH80\%}$
	°C	%	°C	%		°C	%	°C	%	
Jänner	-2,63	87	22,00	49	0,68	-3,80	80	20,00	51,20	0,70532
Februar	0,16	79	22,00	51	0,67	-0,77	80	20,00	54,23	0,70480
März	4,88	72	22,00	49	0,54	3,65	80	20,00	55,00	0,63828
April	9,72	71	22,00	52	0,44	8,50	80	20,00	58,50	0,56877
Mai	14,13	70	24,07	49	0,20	13,22	75	20,00	64,83	0,50553
Juni	17,87	69	25,95	49	0,00	16,48	75	20,00	69,72	0,37416
Juli	19,79	74	26,90	53	0,04	18,33	75	20,00	72,50	0,05356
August	18,97	72	26,49	51	0,01	17,63	75	20,00	71,45	0,23496
September	15,35	80	24,68	55	0,34	14,22	80	20,00	66,33	0,48235
Oktober	9,72	86	22,00	59	0,60	8,57	80	20,00	58,57	0,56776
November	3,42	87	22,00	54	0,66	2,43	80	20,00	55,00	0,66340
Dezember	-1,40	90	22,00	51	0,69	-2,41	80	20,00	52,59	0,70534

Zur Veranschaulichung wird ein konkretes Beispiel, der Eckbereich einer Außenwand, mit den unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen für den maßgebenden Monat Dezember, jenen Monat mit dem höchsten einzuhaltenden Bemessungstemperaturfaktor, berechnet.

Dabei handelt es sich um eine Wärmebrücke, die mit einem numerischen Rechenverfahren gemäß ÖNORM EN ISO 10211 ermittelt werden muss. [1] Bei der Außenwand handelt es sich um ein Wärmedämmverbundsystem, bestehend aus 20 cm Beton und 16 cm EPS-F:

Tabelle 10: Aufbau der Außenwand und die dazugehörigen Materialkennwerte

Material (Innen nach Außen)	d [cm]	μ	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	Diff. Widerstand [m]	R [m ² K/W]
Beton, Bewehrt 2% vol. Stahl (ÖNORM B 8110-7)	20	80	2,5	2400	16	0,08
EPS-F (ÖNORM B 8110-7)	16	60	0,04	17	9,6	4

Die Berechnung wurde mit dem Programm HTflux durchgeführt. HTflux ist eine Software zur Wärmebrücken-Berechnung und zweidimensionalen Untersuchung von Bauteilen. Die speziell entwickelte Glaser 2D- Methode ermöglicht auch die Anwendung des bewährten Glaser-Verfahrens auf komplexe zweidimensionale Geometrien.

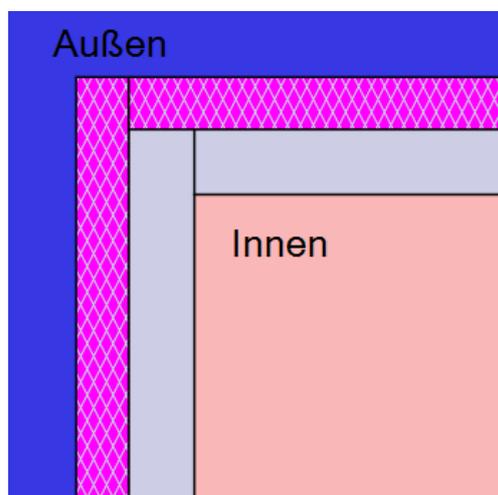


Abbildung 7: Querschnitt eines Eckdetails bestehend aus zwei Schichten (siehe Tabelle 10)

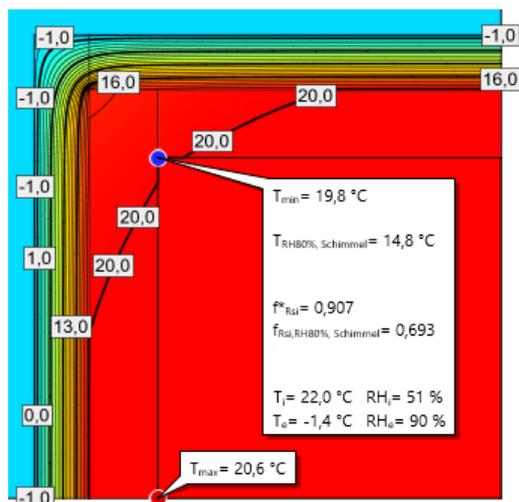


Abbildung 8: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2020)

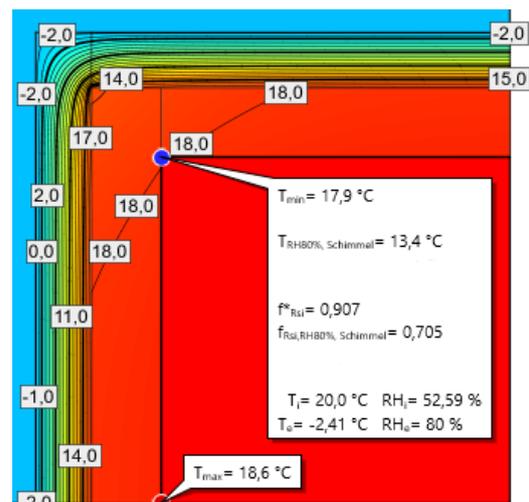


Abbildung 9: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2003)

Die Abbildung 8 und die Abbildung 9 zeigen die Temperaturverläufe über den Kantenbereich der Außenwand mit den klimatischen Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003. Daraus ist klar ersichtlich, dass sich die niedrigste Oberflächentemperatur T_{min} in der Kante befindet und die Temperatur hin zum ungestörten Wandbereich auf T_{max} ansteigt. Aufgrund der verschiedenen klimatischen Randbedingungen unterscheiden sich die Temperaturverläufe und die Werte für die tiefste zulässige Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelbefall $T_{RH80\%,Schimmel}$ voneinander.

Die tiefste zulässige Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelbefall $T_{RH80\%,Schimmel}$ entspricht nach den Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2020 einem Wert von 14,8 °C und nach den Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2003 einem Wert von 13,4 °C. Dabei stellen die Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2003 den ungünstigeren Fall dar, da der geforderte Bemessungstemperaturfaktor $f_{Rsi,RH80\%,Schimmel}$ größer ist als der geforderte Bemessungstemperaturfaktor $f_{Rsi,RH80\%,Schimmel}$ der ÖNORM B 8110-2:2020.

Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird der geforderte Wert des einzuhaltenden Bemessungstemperaturfaktors bei beiden Normen erhöht. Die ÖNORM B 8110-2:2003 fordert einen $f_{Rsi,min}$ -Wert von 0,71 und die ÖNORM B 8110-2:2020 einen $f_{Rsi,min}$ -Wert von 0,70 – somit ist die Bewertung nach neuer NORM unkritischer(siehe Tabelle 13).

Kondensation an der Oberfläche

Die Außenrandbedingungen müssen für den benötigten Standort ermittelt werden.

Die Innenrandbedingungen für die Luftklasse 3 werden wie folgt bestimmt:

- (a) „für die Bemessung zur Vermeidung von Kondensatbildung:
65% bei Außenlufttemperaturen von 0 °C bis 10 °C und
um je 1 Prozentpunkt fallend je 1 K Temperaturabnahme der Außenluft unter 0 °C
und um je 1 Prozentpunkt steigend je 1 K Temperaturzunahme der Außenluft über
10 °C“

[3,S.7]

Diese Bedingung ist von der Grenzlinie zwischen Luftklasse 4 und Luftklasse 5 abgeleitet (siehe Abbildung 4). Dadurch wird Kondensatbildung durch eine fallweise höhere Luftfeuchtigkeit vermieden [3]

Mit diesen Randbedingungen wird dann der $f_{Rsi,min}$ -Wert ermittelt, welcher sich vom Wert der neuen NORM wie folgt unterscheidet:

Tabelle 11: klimatische Randbedingungen für den Standort Klagenfurt
(Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003
(Oberflächenkondensat)

Vergleich der Randbedingungen (Luftklasse 3)										
Monat	ÖNORM B 8110-2:2020 (nach ÖNORM EN ISO 13788)					ÖNORM B 8110-2:2003				
	$\Theta_{e,m}$ (Var. A) °C	$\varphi_{e,m}$ %	$\Theta_{i,m}$ °C	$\varphi_{i,m}$ %	$f_{Rsi,RH100\%}$	$\Theta_{e,m}$ °C	$\varphi_{e,m}$ %	$\Theta_{i,m}$ °C	$\varphi_{i,m}$ %	$f_{Rsi,RH100\%}$
Jänner	-16,00	87	22,00	37	0,592	-3,80	80	20,00	61,20	0,677
Februar	-16,00	79	22,00	36	0,587	-0,77	80	20,00	64,23	0,665
März	-16,00	72	22,00	36	0,582	3,65	80	20,00	65,00	0,586
April	-16,00	71	22,00	36	0,581	8,50	80	20,00	65,00	0,411
Mai	-16,00	70	22,00	35	0,580	13,22	75	20,00	68,22	0,110
Juni	-16,00	69	22,00	35	0,580	16,48	75	20,00	71,48	0,000
Juli	-16,00	74	22,00	36	0,583	18,33	75	20,00	73,33	0,000
August	-16,00	72	22,00	36	0,582	17,63	75	20,00	72,63	0,000
September	-16,00	80	22,00	36	0,587	14,22	80	20,00	69,22	0,000
Oktober	-16,00	86	22,00	37	0,591	8,57	80	20,00	65,00	0,407
November	-16,00	87	22,00	37	0,592	2,43	80	20,00	65,00	0,614
Dezember	-16,00	90	22,00	37	0,594	-2,41	80	20,00	62,59	0,672

In der Vorgängernorm wird von einem höheren Feuchteüberschuss ausgegangen, deswegen unterscheiden sich die $f_{Rsi,min}$ -Werte der ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 in Bezug auf das Kondensat auf der Bauteiloberfläche stark.

Zur Veranschaulichung wird ein konkretes Beispiel, der Kantenbereich einer Außenwand, mit den unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen für den maßgebenden Monat Dezember, jenen Monat mit dem höchsten einzuhaltenden Bemessungstemperaturfaktor, berechnet.

Dabei handelt es sich um eine Wärmebrücke, die mit einem numerischen Rechenverfahren gemäß ÖNORM EN ISO 10211 ermittelt werden muss. [1] Bei der Außenwand handelt es sich um ein Wärmedämmverbundsystem, bestehend aus 20 cm Beton und 16 cm EPS-F:

Tabelle 12: Aufbau der Außenwand und die dazugehörigen Materialkennwerte

Material (Innen nach Außen)	d [cm]	μ	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	Diff. Widerstand [m]	R [m ² K/W]
Beton, Bewehrt 2% vol. Stahl (ÖNORM B 8110-7)	20	80	2,5	2400	16	0,08
EPS-F (ÖNORM B 8110-7)	16	60	0,04	17	9,6	4

Die Simulation wurde mit dem Programm „HTflux“ durchgeführt und ergibt folgendes:

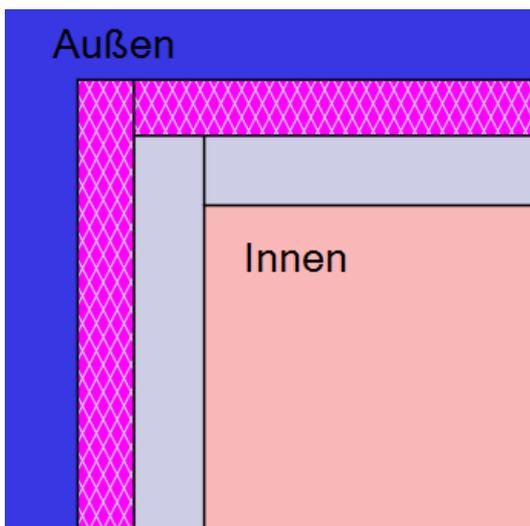


Abbildung 10: Querschnitt eines Eckdetails bestehen aus zwei Schichten (siehe Tabelle 12)

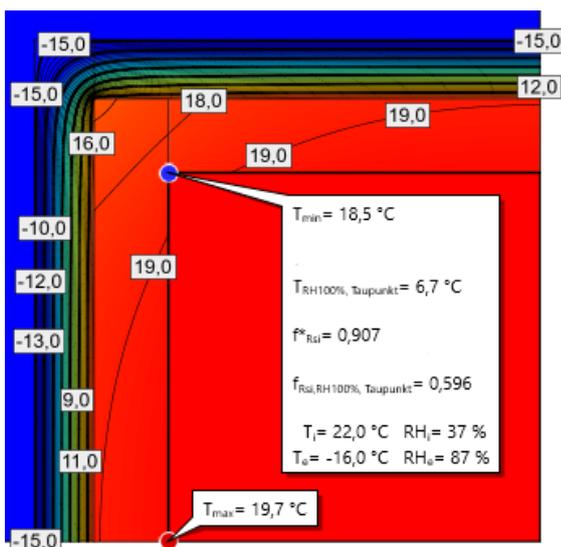


Abbildung 11: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2020)

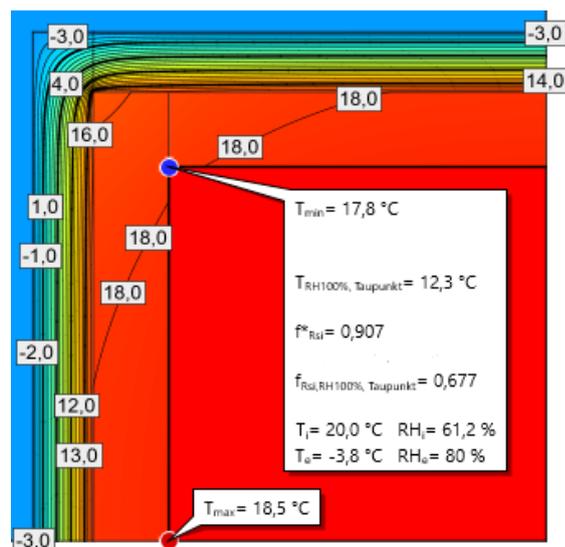


Abbildung 12: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2003)

Die Abbildung 11 und die Abbildung 12 zeigen die Temperaturverläufe über den Kantenbereich der Außenwand mit den klimatischen Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003. Daraus ist klar ersichtlich, dass sich die niedrigste Oberflächentemperatur T_{min} in der Kante befindet und die Temperatur hin zum ungestörten Wandbereich auf T_{max} ansteigt. Aufgrund der verschiedenen klimatischen Randbedingungen unterscheiden sich die Temperaturverläufe und die Werte für die tiefste zulässige Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelbefall $T_{RH80\%,Schimmel}$ voneinander.

Die tiefste zulässige Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelbefall $T_{RH80\%,Schimmel}$ entspricht nach den Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2020 einem Wert von 6,7 °C und nach den Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2003 einem Wert von 12,3 °C. Diese Werte unterscheiden sich, aufgrund der unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Feuchtebelastung im Inneren, sehr voneinander. In Zahlen ausgedrückt, unterscheiden sich die Ergebnisse um den Faktor 1,835. Dabei stellen die Randbedingungen der ÖNORM B 8110-2:2003 den ungünstigeren Fall dar, da der geforderte Bemessungstemperaturfaktor $f_{Rsi,RH80\%,Schimmel}$ größer ist als der geforderte Bemessungstemperaturfaktor $f_{Rsi,RH80\%,Schimmel}$ der ÖNORM B 8110-2:2020.

Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird der geforderte Wert des einzuhaltenden Bemessungstemperaturfaktors bei beiden Normen erhöht. Die ÖNORM B 8110-2:2003 fordert einen $f_{Rsi,min}$ -Wert von 0,71 und die ÖNORM B 8110-2:2020 einen $f_{Rsi,min}$ -Wert von 0,70 – somit ist die Bewertung nach neuer NORM unkritischer(siehe Tabelle 13).

Kriterien zur Beurteilung:

Tabelle 13: Geforderter Bemessungstemperaturfaktor lt. ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003

Bemessungstemperaturfaktor				
ÖNORM B 8110-2:2003	ÖNORM B 8110-2:2020			
$f_{Rsi,z}$ 0,71 zur Hintanhaltung von Schimmelbefall $f_{Rsi,z}$ 0,69 zur Vermeidung von Kondensation	Monat	Schimmelbefall	Kondensat	
		$f_{Rsi,min}$	$f_{Rsi,min}$ (Var.A)	$f_{Rsi,min}$ (Var.B)
	Jänner	0,68	0,592	0,569
	Februar	0,67	0,587	0,561
	März	0,54	0,582	0,553
	April	0,44	0,581	0,552
	Mai	0,20	0,580	0,551
	Juni	0,00	0,580	0,55
	Juli	0,04	0,583	0,555
	August	0,01	0,582	0,553
	September	0,34	0,587	0,562
	Oktober	0,60	0,591	0,568
	November	0,66	0,592	0,569
	Dezember	0,69	0,594	0,572
	$f_{Rsi,min}$	0,70	0,594	0,572

2.4 Wärmeübergangswiderstände

R_{si} und R_{se} definieren den Wärmeübergangswiderstand zwischen Luftschicht und Bauteil. Je höher der Wert, umso weniger Wärme wird übertragen. Der Wärmeübergangswiderstand innen wird für die Berechnung des Tauwassers und Schimmelbefalls höher angenommen als für die Berechnung des U-Wertes, um die negativen Auswirkungen von Ecken, Möbeln, abgehängten Decken oder Vorhängen richtig zu simulieren.

2.4.1 ÖNORM B 8110-2:2020

Die ÖNORM B 8110-2:2020 verwendet die gleichen Werte wie die ÖNORM B 8110-2:2003. Es wurden lediglich Ergänzungen hinzugefügt, falls die Erwärmung der Wand durch Konvektion aufgrund von Möbel, die zu nahe an der Oberfläche stehen, behindert wird.

„Wärmeübergangswiderstände innen:

- In der Regel ist R_{si} mit $0,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ anzunehmen.
- Für freistehende Schränke mit weniger als 5 cm Luftspalt zur Außenwand ist R_{si} mit $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ anzunehmen.
- Für Einbauschränke gilt: $R_{si}=1,0 \text{ m}^2 \text{ W/K}$

Bei Analyse des Anschlussbereichs an Fenster oder Rahmen:

- R_{si} auf Rahmen und Verglasung: $0,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Wärmeübergang an außenseitigen Oberflächen: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$." [1, S.43]

2.4.2 ÖNORM B 8110-2:2003

Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} für die Tauwasserberechnung oder Schimmelbefall sind laut ÖNORM B 8110-2:2003 wie folgt:

Tabelle 14: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2, Wärmeübergangswiderstände an der Oberfläche [3]

	Wärmeübergangswiderstand in $m^2 \cdot K/W$
Wärmeübergang an außenseitigen Oberflächen R_{se}	0,04
Wärmeübergang an raumseitigen Oberflächen R_{se}	
an Glas und Rahmen	0,13
an anderen raumseitigen Oberflächen	0,25

2.5 Zusammenfassung

2.5.1 Randbedingungen Kondensation im Inneren

Grundsätzlich ist immer eine instationäre hygrothermische Berechnung nach ÖNORM EN ISO 15026 erforderlich, außer es handelt sich um Bauteile in Holzrahmenbauweise; hier darf auch der vereinfachte Nachweis nach ÖNORM EN ISO 13788 mit den dazugehörigen Ergänzungen gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 verwendet werden oder es sind die Bedingungen nach Punkt 8 für nachweisfreie Konstruktionen eingehalten, womit ein Nachweis entfallen kann. [1]

Außenklima

- Temperatur: abhängig vom Standort und mittels ÖNORM B 8110-5 ermittelt (für den vereinfachten Nachweis gemäß ÖNORM EN ISO 13788)
- relative Luftfeuchtigkeit: gleichbleibend in ganz Österreich (Werte vom Testreferenzjahr des Standortes Klagenfurt) für den vereinfachten Nachweis gemäß ÖNORM EN ISO 13788

Für den instationären Nachweis (ÖNORM EN ISO 15026) werden Klimadatensätze mit einer höheren Zeit- und Ortsauflösung benötigt. Der Klimadatensatz gilt als geeignet, wenn er gemäß ÖNORM EN ISO 15927-4 ermittelt wurde. [1]

Innenklima

- Temperatur: abhängig von der Außentemperatur
- relative Luftfeuchtigkeit: abhängig von Außenklima, Innentemperatur und Feuchtekategorie

2.5.2 Randbedingungen Schimmelbefall

Laut ÖNORM B 8110-2:2020 ist für die Berechnung des Bemessungstemperaturfaktors zur Vermeidung von Schimmelbildung das Außenklima des Standortes Klagenfurt (Seehöhe 450 m) zu verwenden, welches für alle Standorte in Österreich gültig ist. [1]

Außenklima

- Temperatur: gleichbleibend in ganz Österreich (Werte des Standortes Klagenfurt)
- relative Luftfeuchtigkeit: gleichbleibend in ganz Österreich (Werte vom Testreferenzjahr des Standortes Klagenfurt)

Innenklima

- Temperatur: abhängig von Außentemperatur. Da aber in ganz Österreich das Außenklima des Standortes Klagenfurt angenommen werden darf, folgt daraus, dass auch die Innentemperatur in ganz Österreich gleichbleibend ist.
- relative Luftfeuchtigkeit: abhängig von Außenklima, Innentemperatur und Feuchtekategorie. Da aber in ganz Österreich das Außenklima des Standortes Klagenfurt angenommen werden darf, folgt daraus, dass auch die relative Luftfeuchtigkeit in ganz Österreich gleichbleibend ist.

2.5.3 Randbedingungen Oberflächenkondensat

Die Außentemperatur ist entweder -16 °C oder der mittlere jährliche Tiefstwert des Standortes.

Außenklima

i. Variante A

- Temperatur: gleichbleibend in ganz Österreich (-16 °C)
- relative Luftfeuchtigkeit: gleichbleibend in ganz Österreich (Werte vom Testreferenzjahr des Standortes Klagenfurt)

ii. Variante B

- Temperatur: abhängig vom Standort (mittlerer jährlicher Tiefstwert)
- relative Luftfeuchtigkeit: gleichbleibend in ganz Österreich (Werte vom Testreferenzjahr des Standortes Klagenfurt)

Innenklima

- Temperatur: abhängig von Außentemperatur
- relative Luftfeuchtigkeit: abhängig von Außenklima, Innentemperatur und Feuchtekategorie

2.5.4 Übersicht der Randbedingungen

In der folgenden Tabelle wird die Bestimmung der Randbedingungen für das Außenklima zusammengefasst:

Tabelle 15: Übersicht der Randbedingungen für das Außenklima

Monat	Randbedingungen Außenklima						
	Kondensat im Inneren (ÖNORM EN ISO 13788)		Schimmelbefall		Oberflächenkondensat		
	$\Theta_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	$\Theta_{e,m}$	$\varphi_{e,m}$	$\Theta_{e,m}$ (Var.A)	$\Theta_{e,m}$ (Var.B)	$\varphi_{e,m}$
	°C	%	°C	%	°C	°C	%
Jänner	abhängig vom Standort (ÖNORM B 8110-5)	87	-2,63	87	-16,00	abhängig vom Standort (mittlerer jährlicher Tiefstwert)	87
Februar		79	0,16	79	-16,00		79
März		72	4,88	72	-16,00		72
April		71	9,72	71	-16,00		71
Mai		70	14,13	70	-16,00		70
Juni		69	17,87	69	-16,00		69
Juli		74	19,79	74	-16,00		74
August		72	18,97	72	-16,00		72
September		80	15,35	80	-16,00		80
Oktober		86	9,72	86	-16,00		86
November		87	3,42	87	-16,00		87
Dezember		90	-1,40	90	-16,00		90

In der folgenden Tabelle wird die Bestimmung der Randbedingungen für das Innenklima zusammengefasst:

Tabelle 16: Übersicht der Randbedingungen für das Innenklima

Monat	Randbedingungen Außenklima						
	Kondensat im Inneren (ÖNORM EN ISO 13788)		Schimmelbefall		Oberflächenkondensat		
	$\Theta_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	$\Theta_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	$\Theta_{i,m}$ (Var.A)	$\Theta_{i,m}$ (Var.B)	$\varphi_{i,m}$
	°C	%	°C	%	°C	°C	%
Jänner	abhängig von Außentemperatur (Abbildung 2)	abhängig von Außenklima, Innentemperatur und Feuchteklasse (Kapitel 2.2.2)	abhängig von Außentemperatur (Abbildung 2)	abhängig von Außenklima, Innentemperatur und Feuchteklasse (Kapitel 2.2.2)	abhängig von Außentemperatur (Abbildung 2)	abhängig von Außentemperatur (Abbildung 3)	abhängig von Außenklima, Innentemperatur und Feuchteklasse (Kapitel 2.2.2)
Februar							
März							
April							
Mai							
Juni							
Juli							
August							
September							
Oktober							
November							
Dezember							

Die verschiedenen Randbedingungen wurden für den Standort Klagenfurt (Seehöhe 450 m) ausgerechnet und zusammengefasst (siehe Anhang).

3 Modifiziertes Glaser-Verfahren

Die Unterschiede des konventionellen Glaser-Verfahrens gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 und modifizierten Glaser-Verfahrens gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 (Abschnitt 11) werden in diesem Kapitel erläutert und anhand eines Beispiels veranschaulicht.

3.1 Allgemeines

Aufgrund der vielen Vereinfachungen des konventionellen Glaser-Verfahrens (siehe Kapitel 2.2) kann das Bauteilverhalten nicht realistisch dargestellt werden. Es kann somit nur als vergleichende Nachweisführung verwendet werden und gilt nur dann als geeignetes Verfahren, wenn die Feuchteinträge durch Diffusion, die Feuchteinträge durch Konvektion übersteigen. [2]

Bei dem vereinfachten Nachweis nach Abschnitt 11 der ÖNORM B 8110-2:2020 handelt es sich um ein modifiziertes Glaser-Verfahren, welches bei Leichtbaukonstruktionen angewendet wird. Hierbei wurde das konventionelle Verfahren dahingehend modifiziert, dass auch der Feuchteintrag über konvektive Strömung (Eintrag über Fehlstellen/Leckagen) berücksichtigt wird. Da der Feuchteintrag über Leckagen jenen der Dampfdiffusion deutlich übersteigt, ist es unerlässlich, diesen bei der Berechnung zu beachten, um das Bauteilverhalten realistisch darzustellen und es realitätsnah beurteilen zu können. [14]

Der Feuchtetransportprozess gemäß modifiziertem Glaser-Verfahren sieht wie folgt aus:

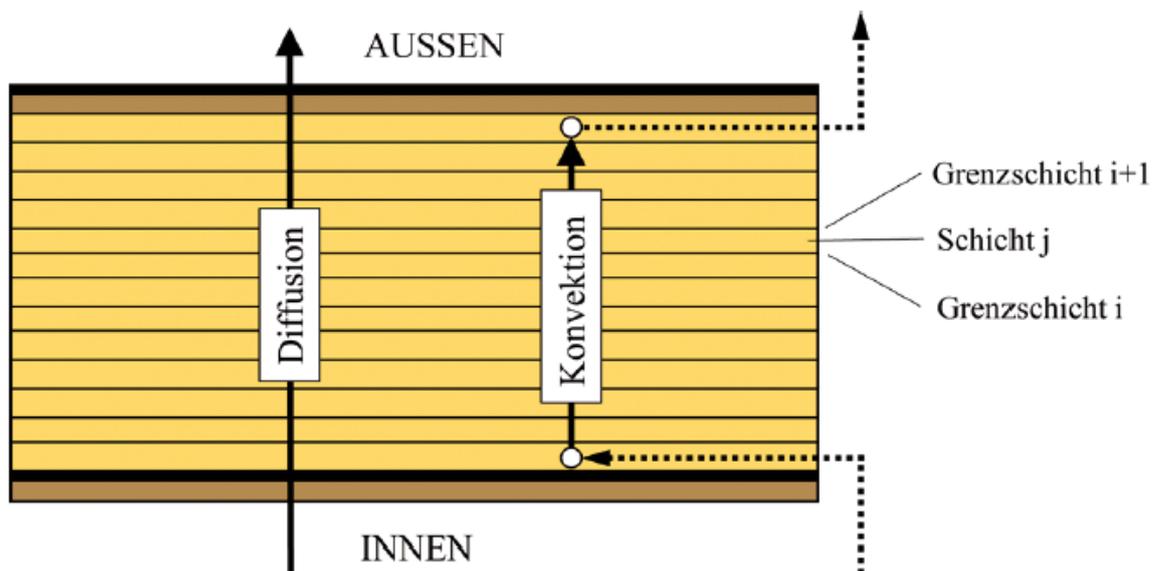


Abbildung 13: schematische Darstellung der Feuchtetransportprozesse im modifizierten Glaser-Verfahren (Flachdach) [14]

Die feuchte Luft gelangt durch eine Leckage, welche auch bei sorgfältiger Ausführung der dampfbremsenden Schicht zumindest in kleinem Maß entstehen kann, in das Bauteil und kondensiert gegebenenfalls an der äußeren Beplankung. Dabei werden Bauelemente mit einem Wärmedurchlasswiderstand von mehr als $0,25 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ in theoretische Schichten,

mit einem Wärmedurchlasswiderstand von bis zu 0,25 [W/m² K], unterteilt [7]. Dieser Vorgang schadet besonders Konstruktionen, die innen und außen stark diffusionsdicht ausgeführt sind, da die durch Konvektion eingetragene Feuchte aufgrund der dichten Ausführung nicht mehr austrocknen kann und zu Schäden durch Schimmelpilzwachstum und Holzfäule führt.

Leckagen

„Aus luftdichten Materialien zusammengesetzte Bauteile sind undichter als die Materialien selbst und aus diesen Bauteilen zusammengesetzte Gebäude sind wiederum undichter als die einzelnen Bauteile“ [17,S.269]

Wenn also luftdichte Materialien zu Bauteilen und diese zu einem Gebäude zusammengesetzt werden, entstehen zwangsläufig Leckagen. Diese können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- sichtbare Leckagen: können lokal zu einer Anfeuchtung führen, sind aber aufgrund der Sichtbarkeit vermeidbar.
- nicht sichtbare „unvermeidbare“ Leckagen: ergeben sich durch Anschlüsse, Klebeverbindungen, Tackernadeln etc. Der Feuchteintrag dieser Leckagen sollte bei einer hygrothermischen Bemessung mitberücksichtigt werden.

[17]

Dabei stellt die Quantifizierung des Luftvolumenstromkoeffizienten C (siehe Tabelle 1) beziehungsweise die Annahme der Leckagengröße ein Problem dar, welches noch nicht hinreichend gelöst wurde. Der Ansatz, welcher für die ÖNORM B 8110-2:2020 verwendet wird, wurde von Nusser vorgestellt. [14] [18] [19] [20] [21] Die Überlegung besteht darin, die durchschnittliche Anzahl an Durchdringungen (z.B. Steckdosen) von Wänden und Decken in Einfamilienhäusern statistisch zu erheben und daraus das 95%-Quantil der Leckagedichte zu ermitteln. Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung legte man den Wert $C = 4 * 10^{-6}$ [m³/(s*Pa^b)] für die „typische Durchströmung“ fest. Da es sich hier um einen vergleichsweise hohen Wert handelt, kann der Wert C abgemindert bzw. an die Ausführungsqualität angepasst werden. [14] Dieser Umstand wird in der folgenden Tabelle veranschaulicht:

Tabelle 17: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 9.2-Tabelle 3 + Ergänzung zur Erklärung der Werte-Entstehung

Zeile	Ausführung der Luftdichtheit der Konstruktion auf der Innenseite	C
1	Die Luftdichtheit des Bauteils ist baulich dauerhaft gesichert. Dies gilt bei Bauteilen, bei denen z.B ein Nagel oder eine Schraube zu keinem Strömungspfad in Bereiche führt, in denen Schadensverursachendes Kondensat auftreten kann.	$0 \text{ m}^3/(\text{s} * \text{Pa}^b) = 4 * 10^{-6} * 0$
2	Bauteile aus einer qualitätsüberwachten Vorfertigung	$8 * 10^{-7} \text{ m}^3/(\text{s} * \text{Pa}^b) = 4 * 10^{-6} * 0,2$
3	Alle anderen Fälle	$2 * 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{s} * \text{Pa}^b) = 4 * 10^{-6} * 0,5$

Die Tabelle 17 zeigt, mit welchem Faktor der Wert der „typischen Durchströmung“ in der ÖNORM B 8110-2:2020 multipliziert wurde, um ihn an die Ausführungsqualität anzupassen.

Der Feuchteintrag durch Konvektion kann also nur stattfinden, wenn Leckagen vorhanden sind, die zu einem Strömungspfad in Bereichen führen, in denen schadensverursachendes Kondensat auftreten kann. Dieser Feuchteintrag kann bei Konstruktionen bei denen massive Bauteile die luftdichte Ebene darstellen oder bei Leichtbaukonstruktionen, bei denen es zu keinen Durchdringungen der luftdichten Ebene kommt, ausgeschlossen werden [1] – vorausgesetzt die Ausführung dieser Bauteile ist technisch korrekt. Diese Annahme wird in der Berechnung gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 (Abschnitt 11) einbezogen, indem der Planer die Luftdichtheit des Bauteils abschätzt und den dazugehörigen Luftvolumenstromkoeffizienten C annimmt (siehe Tabelle 1). Wenn keine Leckagen zu erwarten sind, nimmt der Luftvolumenstromkoeffizient C den Wert null an (siehe Tabelle 1, Zeile 1). Aus diesem Grund tritt im weiteren Berechnungsverlauf nach Abschnitt 11 der Grenzfall $PH \rightarrow 0$ und $PM \rightarrow 0$ ein und es wird mit der Diffusionsgleichung für den Wärme- und Feuchtetransport gerechnet (siehe Kapitel 2.2.3). Der konvektive Einfluss fällt also weg und wird bei der Berechnung nicht mehr berücksichtigt.

Holzbauteile ohne rechnerischen Nachweis

Holzbauteile sind besonders robust gegen Feuchteinwirkungen hinsichtlich des Wasserdampftransportes, wenn sie nach der Dämmebene diffusionsoffen ausgeführt werden und die Ausführung der luftdichtenden Ebene fachgerecht ist. [2]

Wenn diese Schichten des Holzbauteiles folgende Kriterien erfüllen, kann der rechnerische Nachweis entfallen:

Tabelle 18: s_d -Werte für nachweisfreie Außenbauteile in Leichtbauweise für die Luftfeuchteklasse 3 [1]

Zeile	s_{di} -Wert innen	s_{de} -Wert außen
1	$\geq 2,0$ m oder feuchtevariable Dampfbremse	$< 0,3$ m
2	$\geq 4 \cdot s_{de}$ und $\geq 2,0$ m	$0,3 \text{ m} \leq s_{de} \leq 4,0 \text{ m}$

3.2 Vorgehensweise

Im Zuge des Berechnungsbeispiels wird nach ÖNORM B 8110-2:2020 (modifiziertes Glaser-Verfahren) und ÖNORM B 8110-2:2003 (konventionelles Glaser-Verfahren) die Kondensation im Inneren berechnet. Der Nachweis lt. ÖNORM B 8110-2:2020 wurde mit dem Referenztool berechnet, das bei der Berechnung der Validierungsbeispiele in der ÖNORM B 8110-2:2020, Anhang C verwendet wurde. [22] Der Nachweis lt. ÖNORM B 8110-2:2003 erfolgt nach ÖNORM EN ISO 13788. Laut ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 7 muss bei Konstruktionen, „bei denen zwischen Schichten mit einem s_d -Wert $\geq 0,5m$ Konstruktionsteile aus biogenen Werkstoffen vorhanden sind“, ein Feuchtezuschlag von $0,25 \text{ kg/m}^2$ angesetzt werden. [1] Dieser Feuchtezuschlag wird bei der Berechnung vernachlässigt, um nur den rechnerischen Feuchteeintrag durch die Leckagen zu erhalten. Dann ist gut erkennbar, um welchen Faktor der Feuchteeintrag der Konvektion jenen der Dampfdiffusion übersteigt. Jedoch ist hier anzumerken, dass das Referenztool ausschließlich dazu dient grundlegende Aspekte der Berechnung verstehen zu lernen. Es darf nicht für die Planung oder Begutachtung von Baukonstruktionen verwendet werden, aufgrund der vereinfachten Abbildung der Prozesse und eine nicht garantierte Fehlerfreiheit. [22]

3.3 Materialkennwerte

Die Materialkennwerte für die Berechnung werden aus der ÖNORM B 8110-7 entnommen. Dabei wird die Wasserdampf-Diffusionszahl der Baustoffe so eingesetzt, dass es den ungünstigsten Fall darstellt. Dies ist der Fall, wenn alle Schichten vor und inkl. der Dämmung den Wert μ_{min} und die Schichten nach der Dämmung den Wert μ_{max} erhalten. Somit wird simuliert, dass der Wasserdampf gut ins Bauteil eindringen kann und in dem kälteren Bereich schwer entweichen kann.

3.4 Klimatische Randbedingungen

Als Standort wurde Klagenfurt (Seehöhe 450 m) gewählt, das Außen- und Innenklima für diesen Standort wurde lt. ÖNORM B 8110-5 berechnet (siehe Kapitel 2.2 und Tabelle 2). Dieses Klima wird sowohl für den Nachweis nach ÖNORM B 8110-2:2020 (modifiziertes Glaser-Verfahren) und ÖNORM B 8110-2:2003 (konventionelles Glaser-Verfahren) verwendet, um einen besseren Vergleich der Ergebnisse zu erzielen. Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} werden mit $0,25 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$ und $0,04 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$ angenommen.

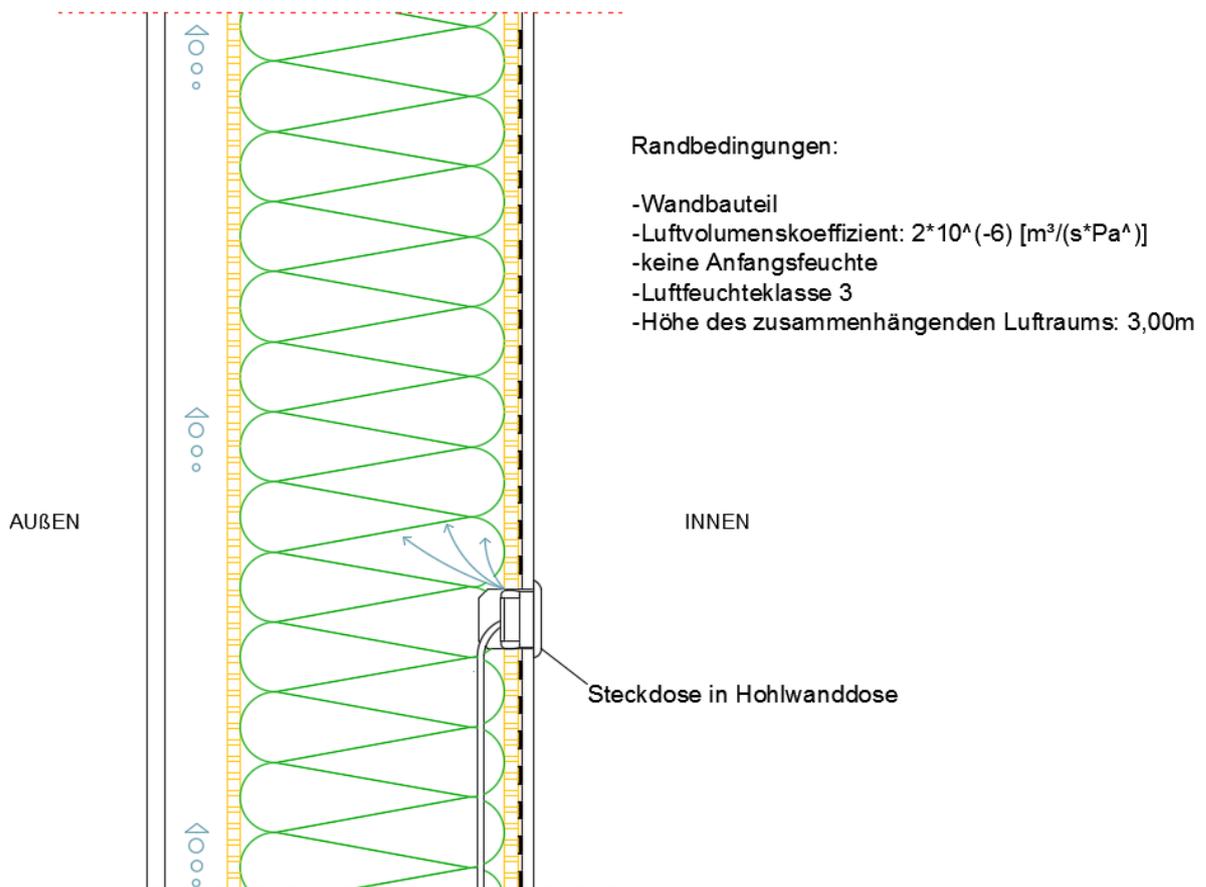
3.5 Berechnungsbeispiel

Bei dem Berechnungsbeispiel handelt es sich um eine Holzriegelaußenwand mit Hinterlüftung ohne Installationsebene. Da keine Installationsebene für den Verlauf der notwendigen Leitungen vorhanden ist, muss die luftdichte Ebene an manchen Stellen durchbrochen werden (z.B. bei Steckdosen, siehe Abbildung 14). Aufgrund des Durchbruchs kann ein Feuchteeintrag durch Konvektion stattfinden, welcher im modifizierten Glaser-Verfahren berücksichtigt werden kann. Dabei beginnt der Strömungspfad an der Stelle der Leckage und endet an der äußeren Beplankung. Das nachfolgende Beispiel wurde nur für eine bessere Darstellung der Problematik ohne

Vorsatzschale gewählt, obwohl dies nicht empfehlenswert ist. Die Praxis und die damit verbundenen Bauschäden zeigen, dass Ausführungen ohne Vorsatzschale immer noch umgesetzt werden. Zudem ist der bauphysikalische Aufbau in Bezug auf Kondensat im Inneren nicht optimal (außen eher diffusionsdicht), das Bauteil ist aber gemäß der Website dataholz.eu ein geprüftes/zugelassenes Bauteil hinsichtlich des Feuchteintrages durch die Dampfdiffusion. [23]

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau des Berechnungsbeispiels inkl. Materialkennwerte der einzelnen Schichten:

Holzriegelaußenwand, hinterlüftet, ohne Installationsebene



Material	d [m]	λ [W/mK]	μ ---	Strömungspfad	g init [g/m²]
1. Winddichtung	sd= 0,02m			---	0,00
2. OSB	0,015	0,13	200	---	0,00
3. Mineralwolle	0,1	0,04	1	Ende	0,00
4. Mineralwolle	0,1	0,04	1		0,00
5. Mineralwolle	0,1	0,4	1	Anfang	0,00
6. OSB	0,15	0,13	150	---	0,00
7. Dampfbremse	sd= 14m			---	0,00
8. Gipsplatte	0,0125	0,21	4	---	0,00

Abbildung 14: Aufbau des Berechnungsbeispiels und Materialkennwerte der einzelnen Schichten [1]

3.6 Ergebnis der Berechnung

Da diese Konstruktion keine Installationsebene besitzt und der Einbau der Steckdose einen Durchbruch der luftdichten Ebene erzeugt, kann von einem Feuchteintrag durch Konvektion ausgegangen werden. Der zu dem Bauteil passende Luftvolumenstromkoeffizienten C (siehe Tabelle 1) muss gewählt werden und die Berechnung gemäß den Formeln für das modifizierte Glaser-Verfahren (siehe Kapitel 2.2.3) durchgeführt werden. Beim konventionellen Glaser-Verfahren wird der Feuchteintrag durch diesen Durchbruch nicht berücksichtigt. Die Unterschiede der Ergebnisse zwischen modifizierten und konventionellen Glaser-Verfahren sind in folgender Abbildung ersichtlich:

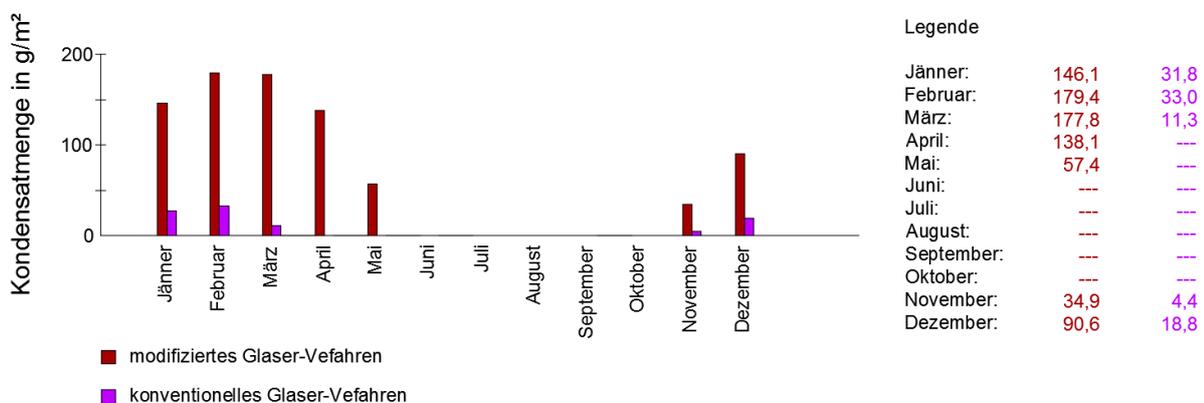


Abbildung 15: Ergebnis der Berechnung nach modifizierten- und konventionellen Glaser-Verfahren

Die Abbildung 15 zeigt die Kondensatmenge in g/m² der verschiedenen Berechnungsverfahren über das Jahr hinweg. Dabei ist klar ersichtlich, dass die nach modifizierten Glaser-Verfahren ermittelte Kondensatmenge viel größer ist als die nach konventionellen Glaser-Verfahren ermittelte Menge. Die Menge nach modifizierten Verfahren übersteigt die des konventionellen Verfahrens im Verlauf des Jahres um den Faktor 5,43. Dieses Ergebnis zeigt, dass der Feuchteintrag durch Konvektion einen deutlichen Einfluss hat und berücksichtigt werden sollte, wenn von Leckagen ausgegangen werden kann, um das Bauteil möglichst realitätsnah beurteilen zu können.

3.7 Zusammenfassung

Das modifizierte Glaser-Verfahren gemäß ÖNORM B 8110-2 darf nur für Bauteile in Holzrahmenbauweise angewendet werden und unterscheidet sich von dem konventionellen Glaser-Verfahren dahingehend, dass auch der Feuchteeintrag über konvektive Strömung (Eintrag über Fehlstellen/Leckagen) berücksichtigt wird. Da der Feuchteeintrag über Fehlstellen/Leckagen jenen der Dampfdiffusion deutlich übersteigt, sollte dieser bei der Berechnung mitberücksichtigt werden, um das Bauteil realistisch beurteilen zu können. Die ÖNORM B 8110-2:2020 stuft die Luftdichtheit der Konstruktion (bzw. die zu erwartende Leckagengröße) entsprechend der Ausführungsqualität in drei Fälle ein (siehe Tabelle 17).

Die Beispielkonstruktion, welche gemäß modifiziertem und konventionellem Glaser-Verfahren berechnet wurde, zeigt, dass die zu erwartende Kondensatmenge des modifizierten Verfahrens (Feuchteeintrag auch über Fehlstellen/Leckagen) jenen des konventionellen Verfahrens (Feuchteeintrag nur durch Diffusion) übersteigt. Die Menge nach modifizierten Verfahren übersteigt die des konventionellen Verfahrens im Verlauf des Jahres um den Faktor 5,43. Deshalb sollte der Feuchteeintrag über Konvektion unbedingt bei der Berechnung mitberücksichtigt werden, wenn bei dem Bauteil von Fehlstellen/Leckagen ausgegangen werden kann.

4 Vergleich der standardisierten Nachweisverfahren für die Kondensation im Inneren

Das konventionelle Glaser-Verfahren (stationäres Verfahren) befasst sich ausschließlich mit winterlicher Tauwasserbildung durch Dampfdiffusion. Andere Feuchtebelastungen, welche beim instationären Verfahren berücksichtigt werden können, wie z.B. Raumluftkonvektion, Anteil des Schlagregens sowie Einbaufeuchte werden nicht beachtet. Vor allem die Baufeuchte erfährt durch den heutigen Termindruck eine höhere Brisanz. Durch die Nichtbeachtung dieser Umstände kann eine Feuchtesicherheit vorgetäuscht werden, die in der Realität gar nicht vorhanden ist. Des Weiteren werden beim stationären Verfahren Vereinfachungen in Bezug auf Materialeigenschaften (keine Transport- und Speichereigenschaften etc.) und Klimabedingungen (Blockrandbedingungen) getroffen, die eine realitätsnahe Simulation des Bauteils erschweren.

Aus diesem Grund wurden instationäre Rechenverfahren entwickelt, deren Zweck eine realitätsnahe Simulation von Bauteilen darstellt. Die Zuverlässigkeit dieser Verfahren scheint inzwischen so groß, dass die ÖNORM B 8110-2:2020 eine instationäre Berechnung der Bauteile fordert und nicht mehr die stationäre Berechnung nach Glaser.

Um eine detailliertere Übersicht der berücksichtigten Einflüsse zu erhalten wird auf das WTA Merkblatt 6-2, Kapitel 1.2 verwiesen. [16]

In diesem Kapitel werden Bauteile nach dem stationären und instationären Verfahren berechnet, beurteilt und die Unterschiede der Ergebnisse aufgearbeitet. Die Berechnung/ Beurteilung der Bauteile gemäß modifizierten Glaser-Verfahren wird hier nicht durchgeführt, da die Fehlerfreiheit des dafür vorgesehenen Tools nicht gewährleistet ist und es für die Beurteilung in der Praxis auch nicht verwendet werden darf.

4.1 Vorgehensweise

Die Konstruktionen werden nach ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 auf Kondensation im Inneren berechnet. Der Nachweis lt. neuer NORM muss nach ÖNORM EN ISO 15026 geführt werden, für die Berechnung wird das Programm WUFI verwendet. Der Nachweis lt. alter NORM erfolgt gemäß ÖNORM EN ISO 13788 mit dem Programm GEQ. Da laut ÖNORM B 8110-2:2003 für Wohnungen und Räume von vergleichbarer Widmung (Luftklasse 3) zur Sicherheit der Feuchteüberschuss Δv_m der Luftklasse 4 angesetzt werden muss (siehe Kapitel 2.2.4), werden die Konstruktionen zusätzlich mit dem tatsächlich vorgegebenen Feuchteüberschuss Δv_m der Luftklasse 3 berechnet, um einen wirklichen Vergleich der Ergebnisse zwischen stationären und instationären Verfahren erreichen zu können.

Dabei wird die Wasserdampf-Diffusionszahl der Baustoffe so eingesetzt, dass es den ungünstigsten Fall darstellt. Dies ist der Fall, wenn alle Schichten vor und inkl. der Dämmung den Wert μ_{min} und die Schichten nach der Dämmung den Wert μ_{max} erhalten. Somit wird simuliert, dass der Wasserdampf gut ins Bauteil gelangt und in dem kälteren Bereich schwer entweichen kann.

4.2 Materialkennwerte

Die Materialkennwerte für den Nachweis nach ÖNORM EN ISO 13788 werden aus der ÖNORM B 8110-7 entnommen. Falls die Kennwerte für ein Material nicht in dieser Norm enthalten sind, werden die Werte laut Hersteller verwendet. Die Materialkennwerte für den Nachweis nach ÖNORM EN ISO 15026 werden aus der integrierten Materialdatenbank des Programms „WUFI“ entnommen.

4.3 Klimatische Randbedingungen

Als Standort wurde Graz (Seehöhe 366 m) gewählt, da das Programm „WUFI“ für diesen Standort einen geeigneten Klimadatensatz nach ÖNORM EN ISO 15026 zur Verfügung stellt.

Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} werden mit $0,25 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$ und $0,04 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$ angenommen.

4.4 Kriterien der Beurteilung gemäß ÖNORM B 8110-2:2003

- Wenn es zu einer Kondensatbildung kommt, muss dieses übers Jahr vollständig austrocknen, damit es zu keiner fortschreitenden Durchfeuchtung kommt.
- Wenn das Kondensat vollständig übers Jahr austrocknen kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:
 - a) die Kondensatmenge darf an Grenzflächen, die kapillar nicht oder wenig aufnahmefähig sind, eine Menge von $0,5 \text{ kg/m}^2$ nicht überschreiten.
 - b) die Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes und die daraus resultierende Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit darf den Wärmeschutz des Bauteils nicht um 10% oder mehr verringern.
 - c) die Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes darf zu keiner Schädigung der betroffenen Baustoffe führen (Korrosion, Pilzbefall, Frostzerstörung oder Ähnliches). Massebezogene Feuchtigkeit bei Holz $\leq 3\%$. [3]

4.5 Kriterien der Beurteilung gemäß ÖNORM B 8110-2:2020

- Es muss sich ein eingeschwungener Zustand einstellen. Dieser ist dann vorhanden, wenn es durch die periodische Belastung mit dem Jahresklimasatz zu keiner weiteren Feuchteanreicherung kommt.
- Bei Konstruktionen im eingeschwungenen Zustand dürfen sich über einen längeren Zeitraum keine Feuchtezustände einstellen, welche zu Schimmelbildung in der Konstruktion, zur Verrottung organischer Materialien oder zu Eisbildung führen.
- Durch Feuchtezustände darf es zu keiner Erhöhung des mittleren Wärmestroms im Winter um mehr als 10% kommen.

[1]

4.6 Hinweise zum Programm „WUFI“

In diesem Kapitel werden einige Begriffe bzw. Vorgänge vorab näher erläutert, um die Berechnung und die Bewertung der Beispielkonstruktionen zu verstehen.

4.6.1 Auswerteprinzip des Programms „WUFI“

Das Auswerteprinzip erfolgt von „grob nach fein“. Wenn der Gesamtwassergehalt fällt und eingependelt ist, dann werden die einzelnen Schichten und kritischen Positionen auf die einzelnen Bedingungen hin untersucht: [24]

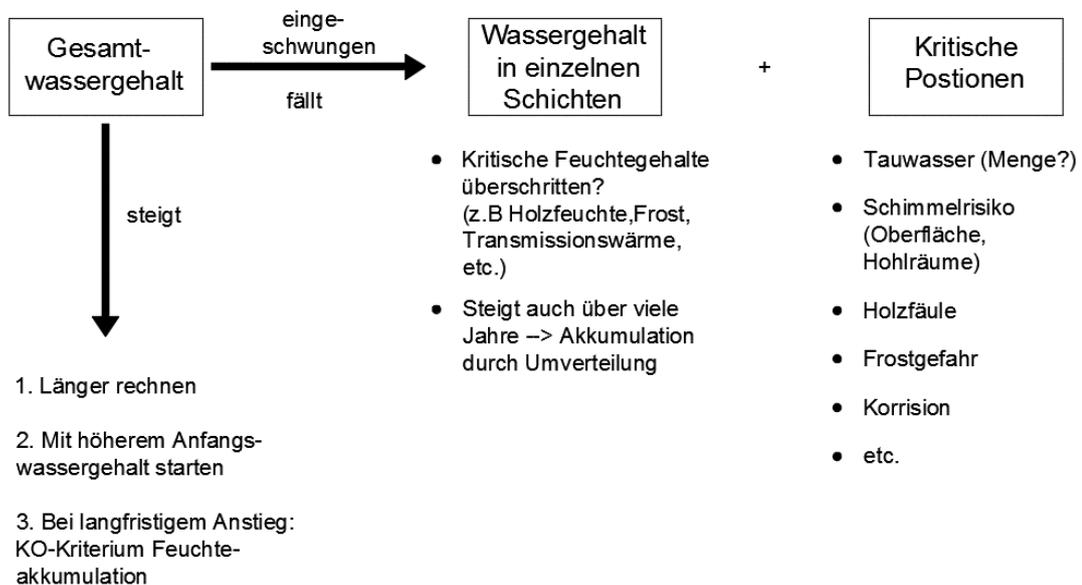


Abbildung 16: Auswerteprinzip des Programms „WUFI“ [24]

4.6.2 Auswerteprinzip von Tauwasser in der Simulation

Das Programm WUFI berücksichtigt auch die Feuchtespeicherfähigkeit (Sorptionsfähigkeit) von Baustoffen. Bei sorptionsfähigen Baustoffen wird Tauwasser in der Porenstruktur physikalisch gebunden und erst bei der Überschreitung der freien Sättigung wird von ablaufendem Tauwasser ausgegangen. Falls die Feuchtespeicherfähigkeit des Baustoffes nicht bekannt ist, wird für die Bewertung der maximalen Tauwassermenge auf Normen (siehe Tabelle 19) zurückgegriffen. Die unterschiedlichen Bewertungskriterien sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

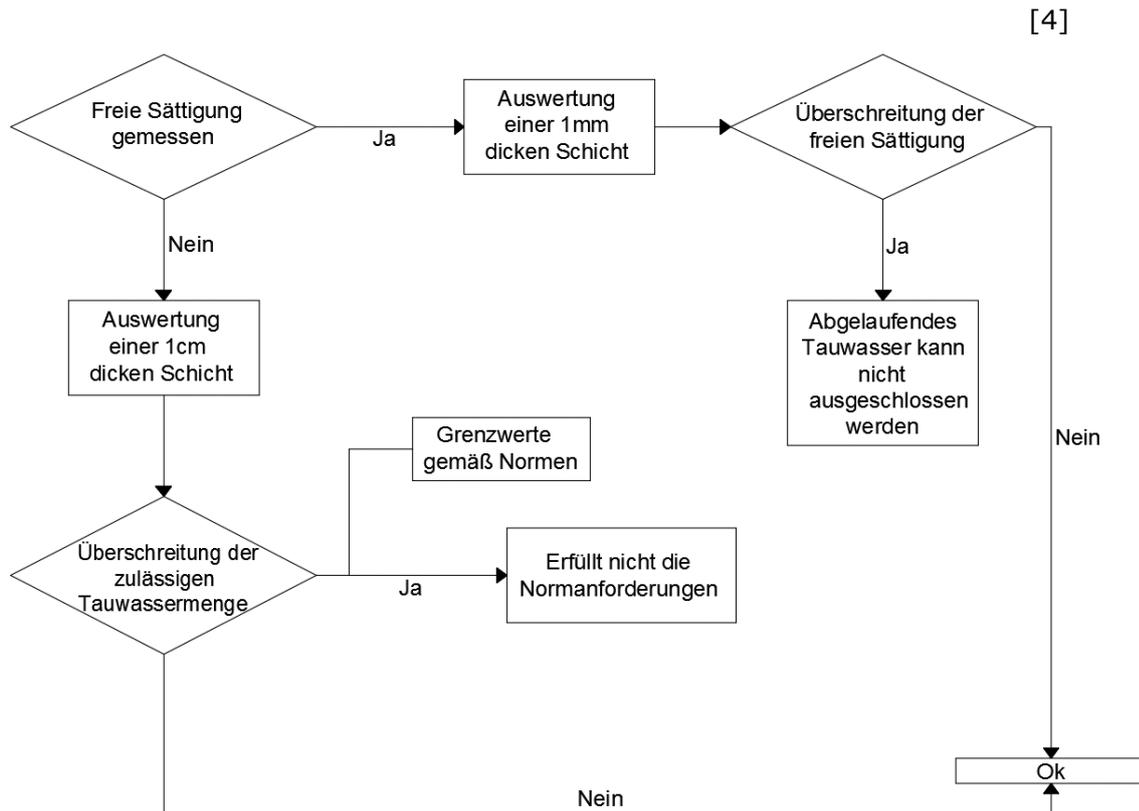


Abbildung 17: Auswerteprinzip von Tauwasser in der Simulation [4]

Tabelle 19: Maximale Tauwassermenge gemäß unterschiedlicher Normen

DIN EN ISO 13788: 2012	
Maximale Tauwassermenge, auf einer nicht sorptiven Oberfläche, um das Abfließen von Tauwasser zu verhindern.	$< 200 \text{ g/m}^2$
DIN 4108:2014 (stationär)	
Maximale flächenbezogene Tauwassermenge (allgemein).	$< 1000 \text{ g/m}^2$
An Schichtgrenzen mit nicht kapillar aufnahmefähiger Schicht z.B. Schaumkunststoffe, Folien.	$< 500 \text{ g/m}^2$
ÖNORM B 8110-2:2003 (stationär)	
An Schichtgrenzen mit nicht kapillar aufnahmefähiger Schicht z.B. Berührungsflächen zwischen Luftschicht und	$< 500 \text{ g/m}^2$
ÖNORM B 8110-2:2020 (stationär)	
An Schichtgrenzen mit nicht kapillar aufnahmefähiger Schicht z.B. Berührungsflächen zwischen Luftschicht und Schwerbeton	$< 500 \text{ g/m}^2$
Die Berechnung ist zunächst ohne Anfangsfeuchte durchzuführen. Anschließend ist für Konstruktionen bei denen zwischen Schichten mit einem sd-Wert $> 0,5 \text{ m}$ Konstruktionsteile aus biogenen Stoffen vorhanden sind, ein Feuchtezuschlag von 250 g/m^2 in der Mitte zwischen den Schichten mit dem sd-Wert $> 0,5 \text{ m}$ anzusetzen und zwar in dem Monat in dem maximale Kondensatmenge bei der Berechnung ohne Anfangsfeuchte aufgetreten ist.	
ÖNORM B 3802-2:2015 Holzschutz im Bauwesen	
Für den Nachweis auf Kondensat im Inneren gemäß ÖNORM B 8110-2 infolge Diffusion muss bei beidseitig geschlossenen Konstruktionen zusätzlich eine Trocknungsreserve von $250 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nachgewiesen werden, um einen konvektiven Feuchteintrag oder eine erhöhte Anfangsfeuchte zu berücksichtigen. Bei dem Nachweis mittels numerischer Simulation gemäß ÖNORM EN 15026 muss der konvektive Feuchteintrag entsprechend der geplanten Luftdichtheit berücksichtigt werden.	
BSI 5250: 2011 (Britischer Standard)	
Maximale Tauwassermenge zur Vermeidung großer Tropfen, die von horizontalen Flächen abfließen/abtropfen können.	$\leq 250 \text{ g/m}^2$

4.6.3 Bewertung des Schimmelpilzrisikos

Bei ausreichend hohem Feuchteangebot und hinreichender Temperatur kann es zu Schimmelpilzwachstum kommen. Die ÖNORM B 8110-2 nennt als Grenzwert 80% relativer Oberflächenfeuchte, jedoch genügen bei höheren Temperaturen, insbesondere im Sommer, bereits 75% relativer Oberflächenfeuchte, um Schimmelpilzwachstum zu ermöglichen.

Im Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche sind zusätzlich die Grenzisoplethen (lowest Isopleth for Mould) eingetragen, welche die minimalen Wachstumsvoraussetzungen für das auf den Baumaterialien üblichen Nährstoffangebot darstellen (siehe Abbildung 17). Dabei entsprechen die Kurven:

- *LIM B 0: optimales Substrat, biologische Vollmedien*
- *LIM B I: biologisch verwertbare Substrate, z.B. Tapeten, Produkte aus abbaubaren Rohstoffen etc.*
- *LIM B II: Substrate mit porigem Gefüge, z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer, Dämmstoffe, die nicht unter I fallen. Bei starker Verschmutzung sind die Baustoffe in Kategorie I einzuordnen*

[25]

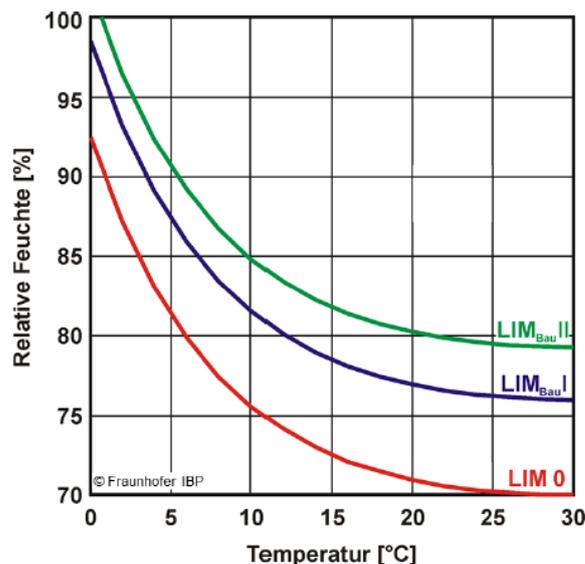


Abbildung 18: Temperatur/Feuchtediagramm der Innenoberfläche [26]

Bei Überschreitung, der für das Bauteil relevanten Grenzlinie, hängt das Risiko des Schimmelbefalls von Ausmaß und Dauer der Überschreitung ab. Für eine genauere Beurteilung bei einer Überschreitung, ist es sinnvoll, das Bauteil zusätzlich mit dem Zusatztool WUFI BIO zu simulieren.

[25]

WUFI Bio – Modellspore zur Beurteilung des Feuchteverhaltens

Eine Pilzspore verfügt über ein gewisses osmotisches Potential und kann dadurch Wasser aus der Umgebung aufnehmen. Dieses osmotische Potential wird durch eine Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Die Sporenwand verzögert die Feuchteaufnahme bzw.- abgabe, da diese einen feuchteabhängigen Diffusionswiderstand aufweist (siehe Abbildung 19).

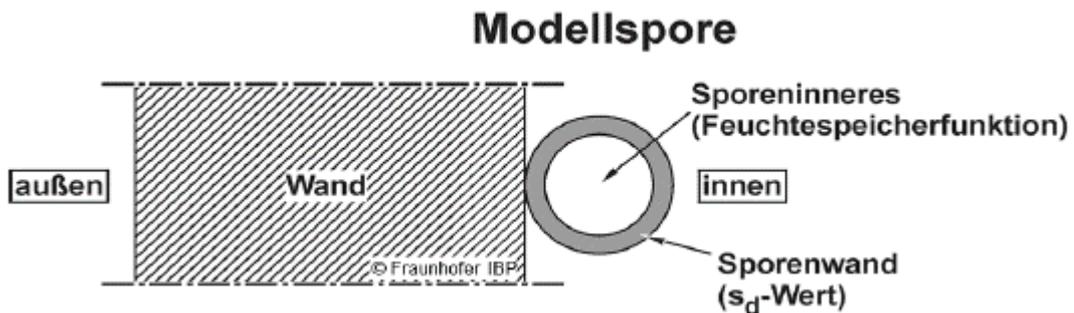


Abbildung 19: Modellspore zur Beurteilung des Feuchteverhaltens [26]

Die Umgebungstemperatur und -feuchte beeinflussen den Wassergehalt in der Spore und wenn der temperaturabhängige kritische Grenzwassergehalt erreicht wird, keimt die Spore aus und es ist von Schimmelbefall auszugehen. Das biogrothermische Modell von WUFI-BIO gibt die Größe des wachsenden Schimmelflecks pro Jahr an. Daraus wird auch der „Mould-Index“ abgeleitet, welcher den Pilzwachstum im Verhältnis zur befallenen Oberfläche einordnet (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Schimmelwachstum und Mould – Index [27, 28]

Index	Beschreibung
0	kein Wachstum
1	ein wenig Wachstum unter dem Mikroskop erkennbar
2	mäßiges Wachstum unter Mikroskop erkennbar, Bedeckung mehr als 10%
3	ein wenig mit bloßem Auge sichtbares Wachstum
4	sichtbares Wachstum, Bedeckung mehr als 10%
5	Bedeckung mehr als 50%
6	Bedeckung mehr als 100%
Schimmelwachstum liegt unter 50mm/Jahr (Mould Index $\leq 0,5$) → noch kein Wachstum → akzeptabel	
Schimmelwachstum liegt zwischen 50mm/Jahr und 200 mm/Jahr → beginnendes nur Mikroskopische erkennbares Wachstum → weitere Untersuchung erforderlich	
Schimmelwachstum überschreitet 200 mm/Jahr (Mould Index ≥ 2) → beginnendes sichtbares Wachstum → nicht akzeptabel	

[29, 25]

4.6.4 Feuchtequellen

Mithilfe des Programms WUFI können – neben dem Feuchteeintrag durch Diffusion – auch folgende Feuchtequellen für die Simulation eines Bauteils berücksichtigt werden:

- i. Anteil des Schlagregens: Hiermit lassen sich Undichtheiten simulieren, über welche Regenwasser ins Bauteil gelangen kann. Niederschlagswasser kann beispielsweise bei Anschlussdetails, wie z.B. bei Fensterlaibungen ins Bauteil gelangen und Schäden verursachen. Deswegen wird ein Anteil von 1 % des auf die Fassade auftreffenden Regens als Feuchtequelle hinter der Dämmung angesetzt, welcher schadlos austrocknen muss. Dieser Wert geht aus dem amerikanischen ASHRAE Standard 160 hervor [30].
- ii. Luftinfiltrationsmodell IBP: Dieses Modell ermöglicht die Ermittlung der vom Innenraum her eingetragenen Feuchtemenge (über Leckagen) und ist abhängig von:
 - den instationären Randbedingungen (Innen- und Außenklima)
 - der Temperatur an der gewählten Position der Tauwasserebene
 - der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle
 - der Höhe des zusammenhängenden Raumluftvolumens

Aufgrund von Messungen ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle meistens bekannt (Blower-Door-Test) und es wird ein gewisser Wert vorgeschrieben. Basierend auf empirischen Untersuchungen wird angenommen, dass die Durchströmung des Regelquerschnitts um den Faktor 15 kleiner ist als die Durchströmung der gesamten Gebäudehülle (siehe Tabelle 21). [31]

Tabelle 21: Luftdichtheitsklassen des Programms WUFI [31]

Luftdichtheitsklasse	Durchströmung der Hülle q_{50} [m^3/hm^2]	Durchströmung des Bauteils $q_{50,\text{Bauteil}}$ [m^3/hm^2]
A	1,0	0,07
B	3,0	0,20
C	5,0	0,33

Für einen genauen Überblick zu diesem Berechnungsmodell wird auf das Kapitel „Hygrothermische Quellen“ im programminternen Helpcenter verwiesen.

- iii typische Baufeuchte: Die Einbaufeuchte der verwendeten Materialien wird als Anfangsbedingung in der Simulation mitberücksichtigt. Diese Werte sind in WUFI-Datenbank enthalten.

4.7 Beispiel 1: Massive, mineralische, zweischalige Außenwand mit Vorsatzschale ohne Hinterlüftungsebene (Kerndämmung) [1]

Die Abbildung 20 zeigt den Bauteilaufbau des Berechnungsbeispiels. Dieser Bauteilaufbau ist gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 als nachweisfrei eingestuft und müsste nicht auf Kondensatbildung im Inneren untersucht werden (siehe ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 8.2.5 - Bild 6).

Massive, mineralische, zweischalige Außenwand mit Vorsatzschale ohne Hinterlüftungsebene (Kerndämmung)

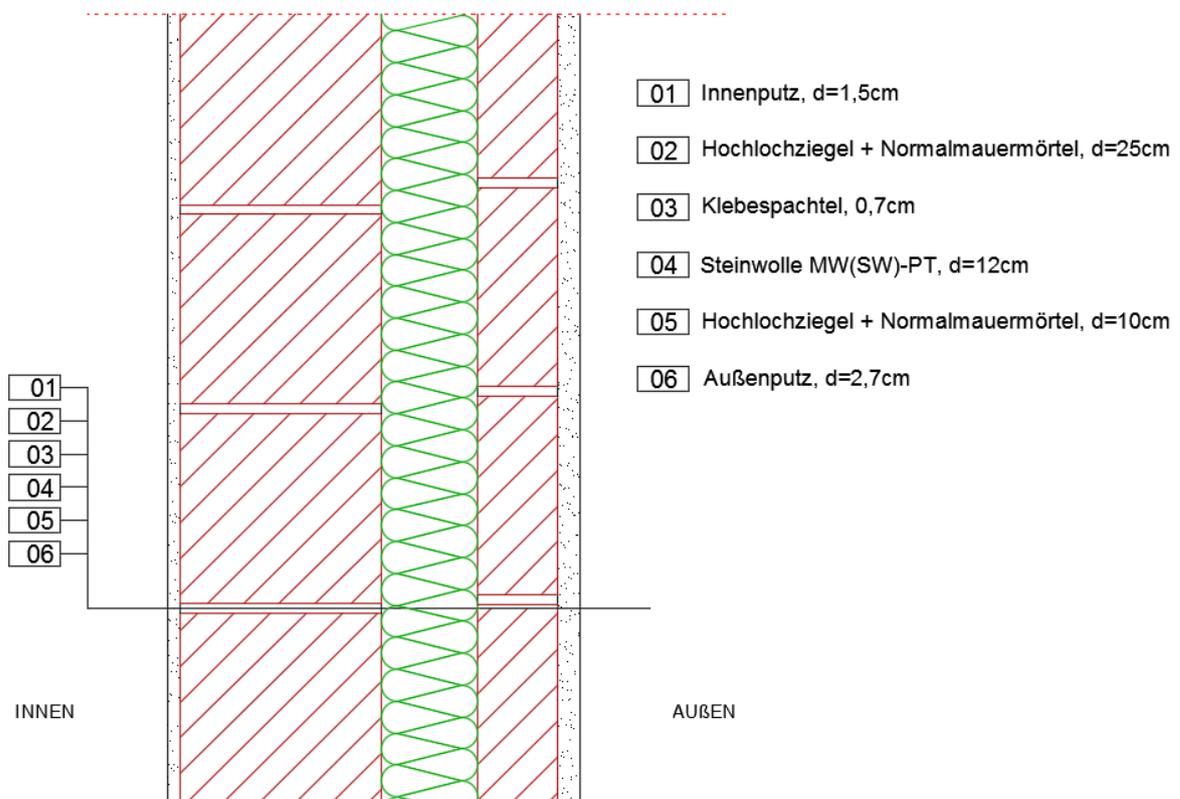


Abbildung 20: Massive, mineralische, zweischalige Außenwand mit Vorsatzschale ohne Hinterlüftungsebene (Kerndämmung) und Materialdaten der Schichten

4.7.1 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2020

Dieser Bauteilaufbau ist nach ÖNORM B 8110-2:2020 gemäß ÖNORM EN ISO 15026 zu berechnen.

Randbedingungen

Außen

Klima:	Graz; Universität
Temperaturverschiebung:	0.0 °C
Orientierung/Neigung:	Nord/90°
Wärmeübergangskoeffizient:	0,04 [m ² K/W]

Innen

Innenklima:	EN 13788 Feuchtekategorie 3 ; Temperatur 20 °C
Wärmeübergangswiderstand	0,25 [m ² K/W]

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen

Tabelle 22: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 1

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand -beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,04 ja
sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Anhaftender Anteil des Regens	Gemäß Bauteilneigung	[-]	----
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen

Tabelle 23: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 1

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,25
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[m]	----

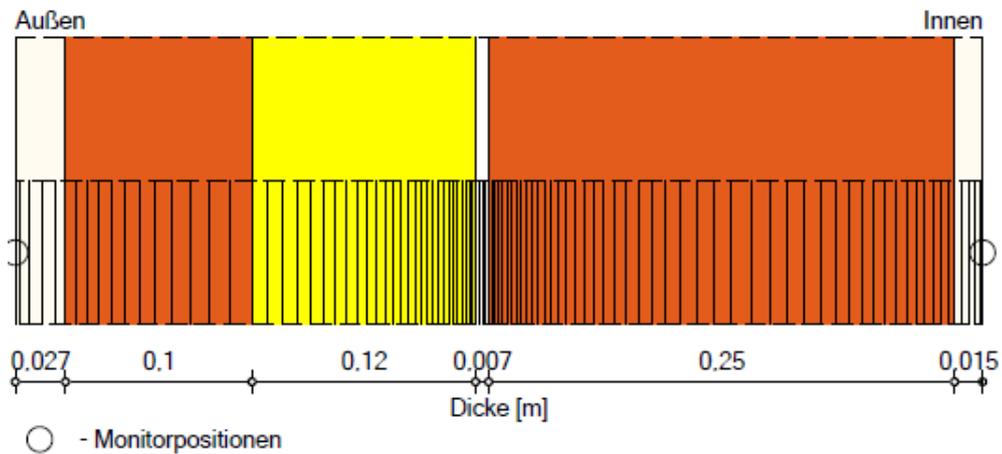
Höhe/Schlagregenkoeffizienten

Kleines Gebäude, Höhe bis 10 m; Relevant für den Anteil des Schlagregens

Rechenverlauf

Dauer der Rechnung 5. Jahre; Beginn 1. Oktober

Bauteilaufbau



Materialien:

	- Kalkzementputz (w-Wert: 2.0 kg/m ² h ^{0,5})	0,027 m
	- Ziegel 800	0,1 m
	- ROCKWOOL Klemmrock 035	0,12 m
	- Klebspachtel	0,007 m
	- Ziegel 800	0,25 m
	- Kalkzementputz (w-Wert: 2.0 kg/m ² h ^{0,5})	0,015 m

Gesamtdicke: 0,519 m
 Wärmedurchlasswiderstand: 5,43 (m² K)/W
 U-Wert: 0,175 W/(m² K)

Abbildung 21: Aufbau des Bauteils in WUFI, Beispiel 1

Anfangswassergehalt der Schichten (Typische Einbaufeuchte):

Kalkzementputz (w-Wert: 2.0kg/m ² h ^{0,5})	210 [kg/m ³]
Ziegel 800	100 [kg/m ³]
Rockwool Klemmrock 035	0,17 [kg/m ³]
Klebspachtel	163,15 [kg/m ³]

Materialkennwerte

Tabelle 24: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 1

Kennwert	Einheit	Kalk-zementputz	Ziegel 800	Klebe-spachtel	Rockwool Klemmrock	Ziegel 800	Kalk-zementputz
Rohdichte	[kg/m ³]	1900	765	1300	40	765	1900
Porosität	[m ³ /m ³]	0,24	0,6	0,43	0,986	0,6	0,24
Wärmekapazität trocken	[J/kg K]	850	850	850	850	850	850
Wärmekapazität trocken, 10°C	[W/m K]	0,8	0,158	0,8	0,035	0,158	0,8
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	[-]	19	15	39,05	1,3	15	19
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Temp.	[W/m K ²]	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	0,0002	2,00E-04	2,00E-04
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	[W/m K]	----	----	----	0,035	----	----
Bezugsfeuchtigkeit	[kg/m ³]	----	13	----	----	13	----
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	----	193	----	----	193	----
Wasseraufnahmekoeffizient	kg/(m ² s ^{0,5})	----	0,16	----	----	0,16	----
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Feuchte	[%/M.-%]	8	8	----	----	8	8

• Kalkzementputz

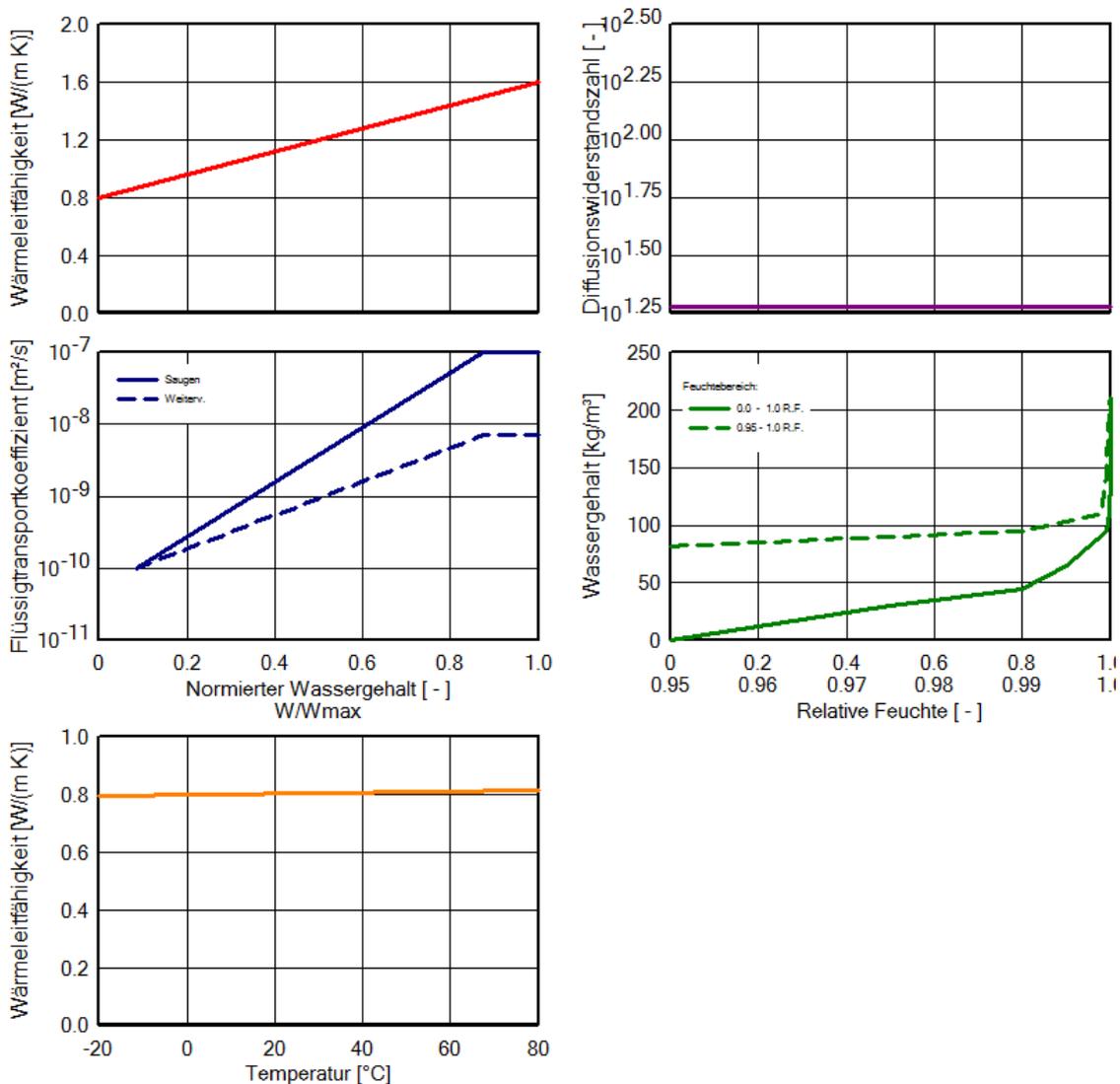


Abbildung 22: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Kalkzementputz“ [32]

- Ziegel 800

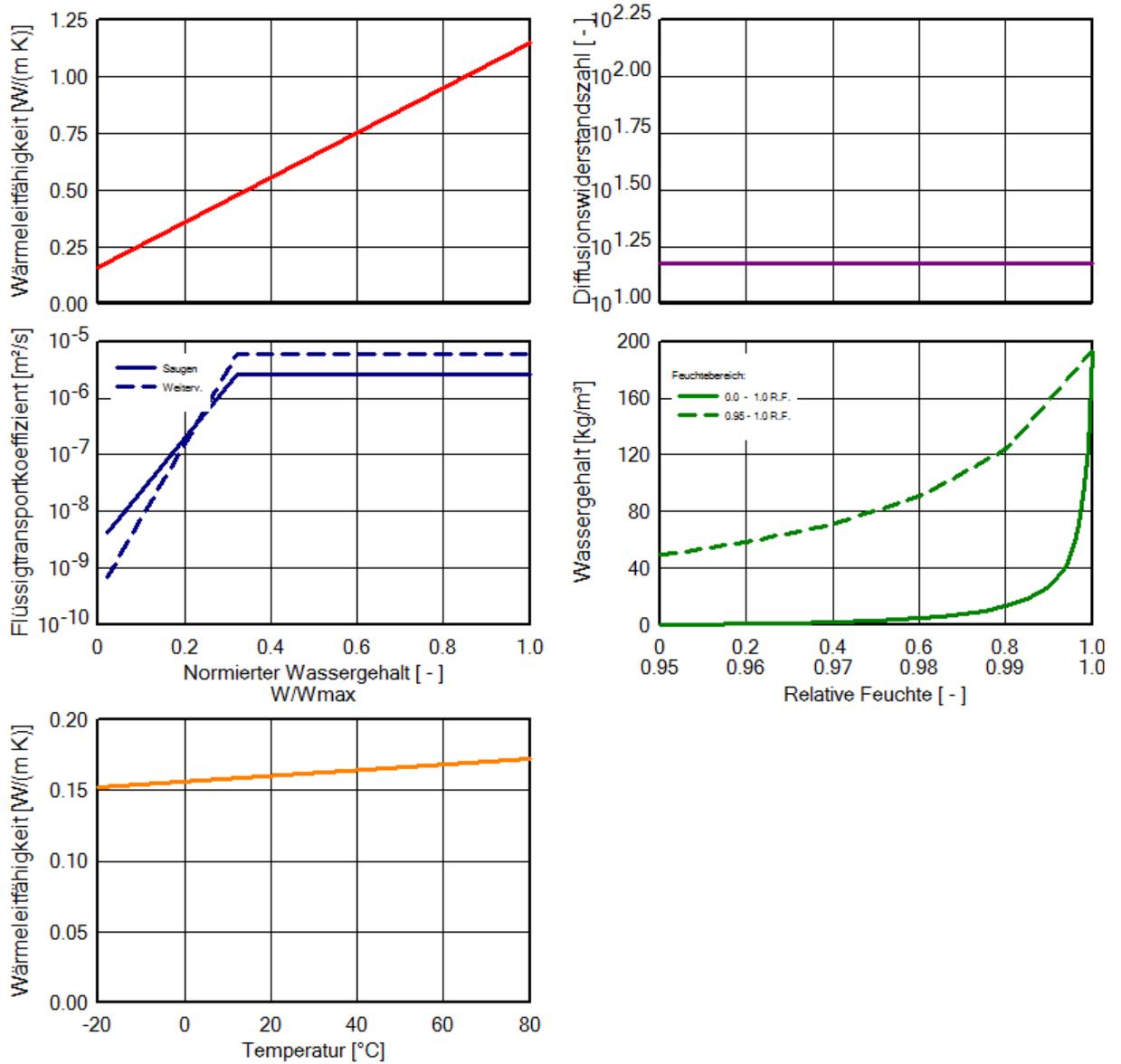


Abbildung 23: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Ziegel 800“ [32]

- Klebspachtel

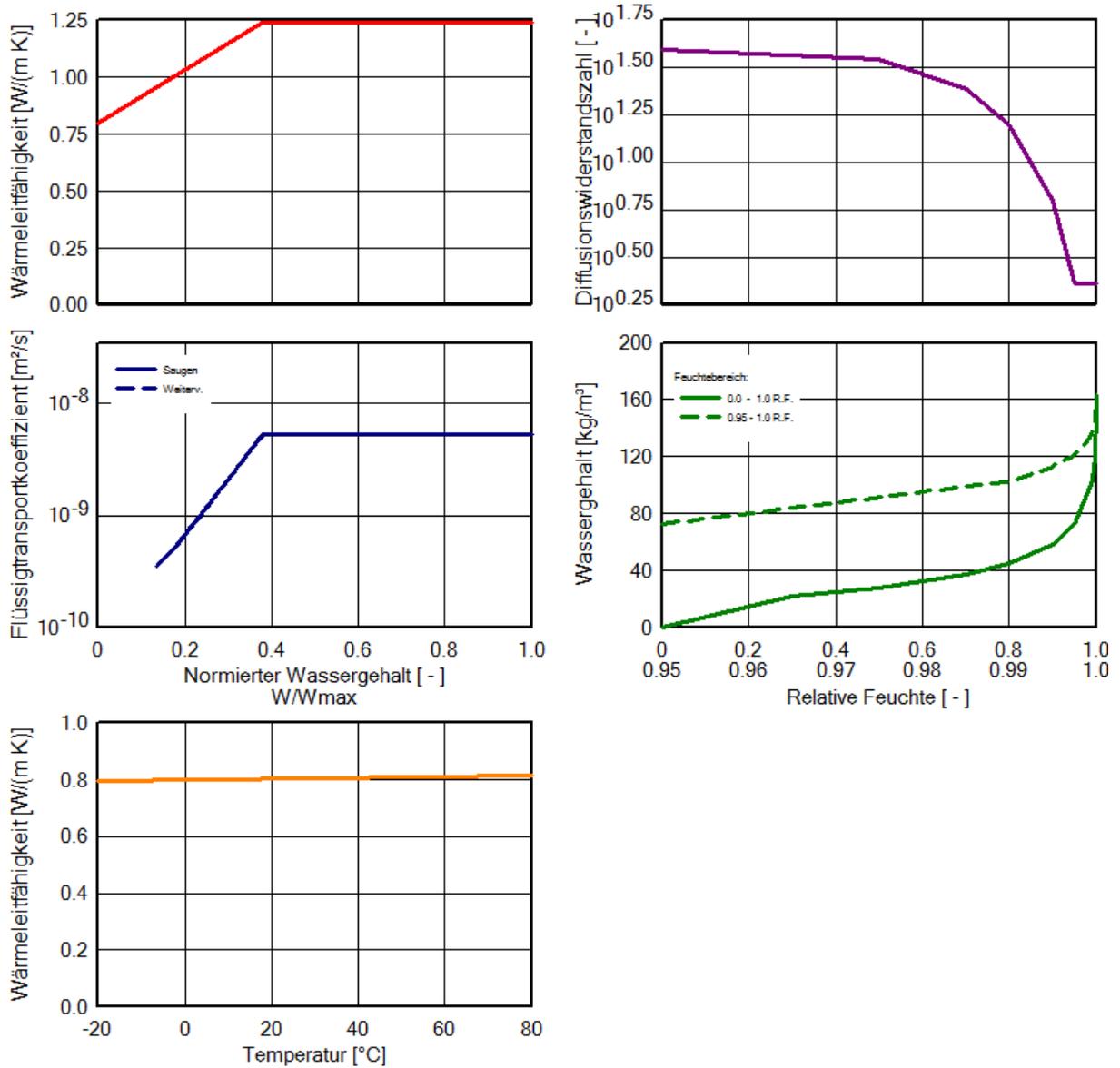


Abbildung 24: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Klebspachtel“ [32]

- Rockwool Klemmrock 035

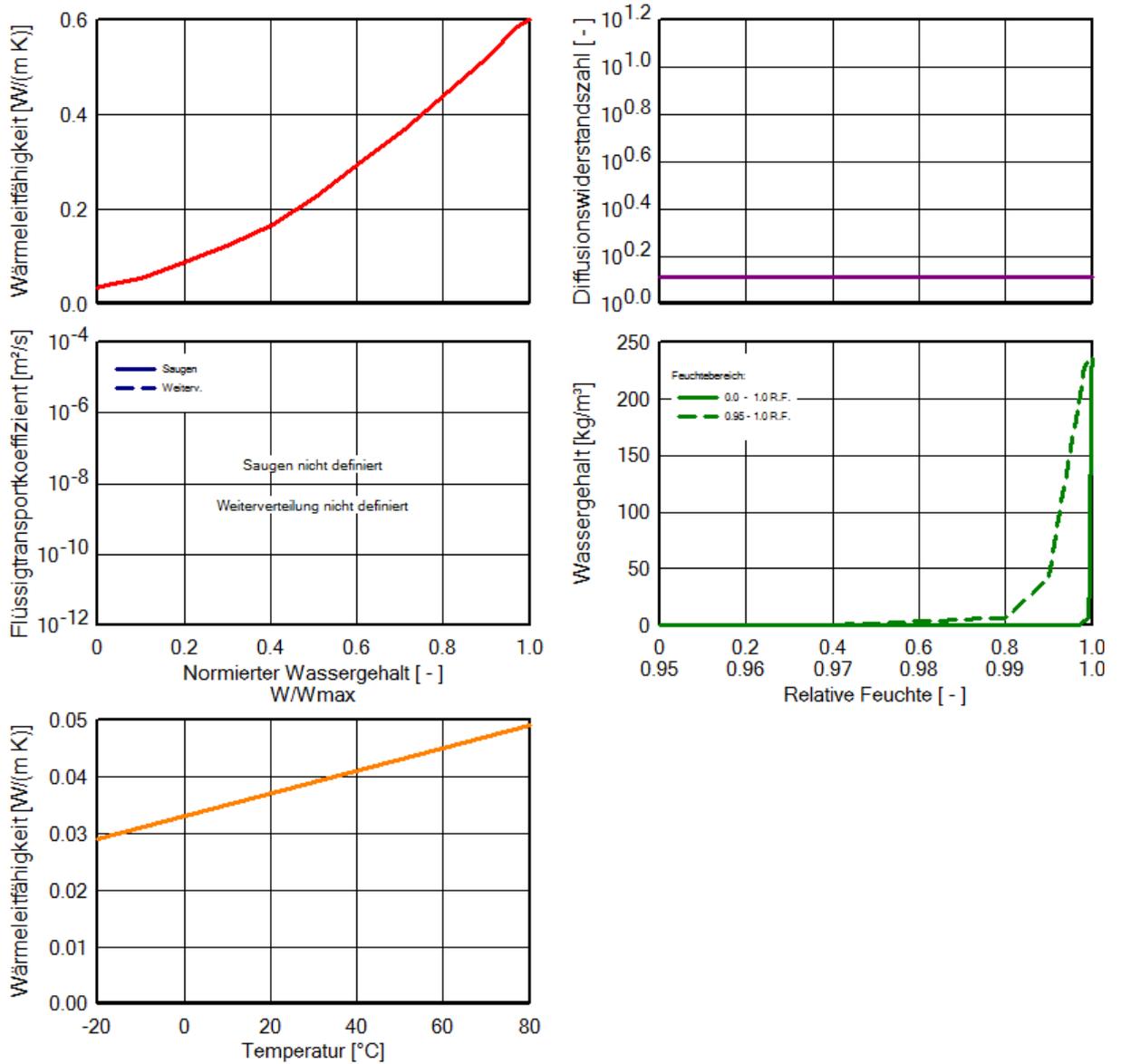


Abbildung 25: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ [32]

4.7.2 Ergebnis der Berechnung

Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt im Bauteil über den Berechnungszeitraum wird in folgender Abbildung dargestellt:

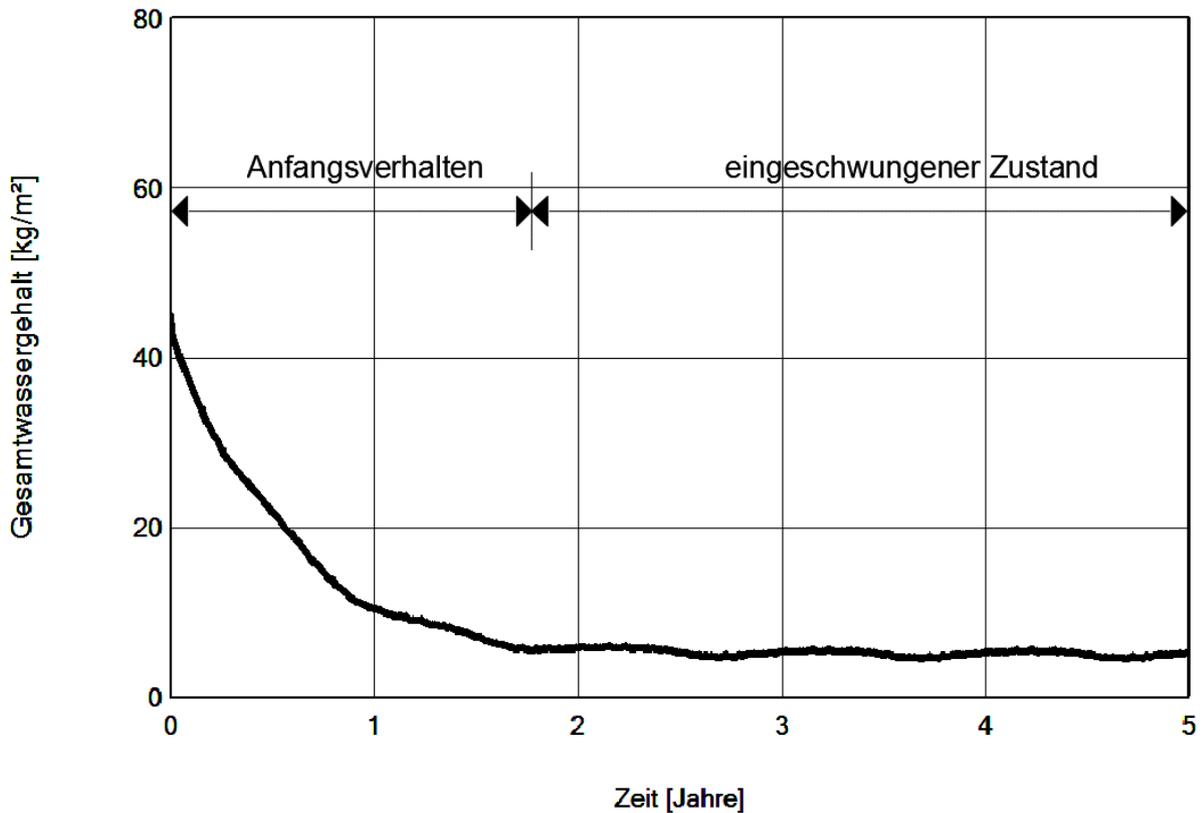


Abbildung 26: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 1

Hier wird ersichtlich, dass die Anfangsfeuchte sinkt und sich dann ein periodischer Verlauf über die Winter- und Sommermonate einpendelt. Die Ergebnisse dieser Abbildung in Zahlen entsprechen den Werten:

Tabelle 25: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 1

Wassergehalt [kg/m²]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	44,98	5,24	4,47	44,98

Die Werte zeigen, dass sich der Gesamtwassergehalt im Bauteil um 39,74 [kg/m²] verringert. Der Gesamtwassergehalt fällt und ist eingeschwungen, somit wird nachfolgend der Wassergehalt in den einzelnen Schichten und kritischen Positionen untersucht. (siehe Abbildung 16)

Wassergehalt in den einzelnen Schichten

Der Wassergehalt der einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum wird in folgender Tabelle und Abbildung dargestellt:

Tabelle 26: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 1

Wassergehalt in den einzelnen Schichten [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Außen	---	---	---	---
Kalkzementputz	210,00	48,79	35,93	210,00
Ziegel 800	100,00	11,23	8,87	142,07
Rockwool Klemmrock 035	0,17	0,14	0,12	10,64
Klebespachtel	163,15	33,37	24,92	163,15
Ziegel 800	100,00	7,73	4,36	106,15
Kalkzementputz	210,00	41,14	33,89	210,00
Innen	---	---	---	---

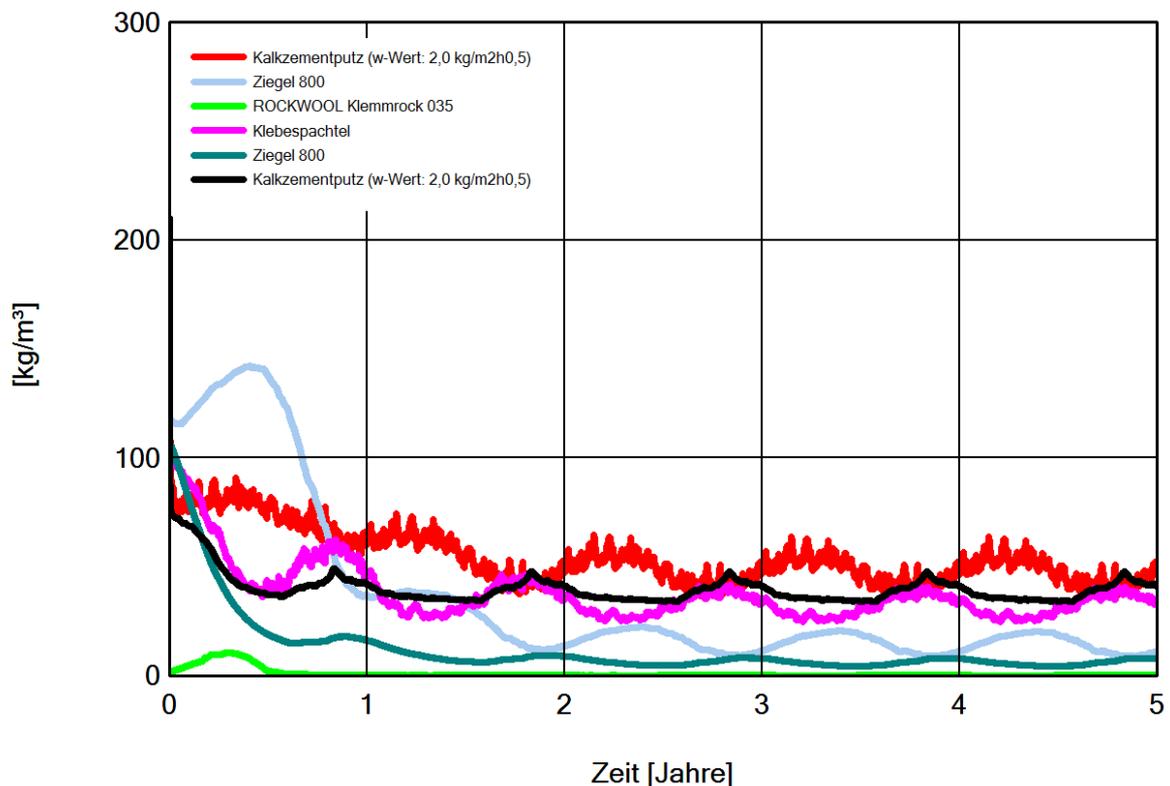


Abbildung 27: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 1

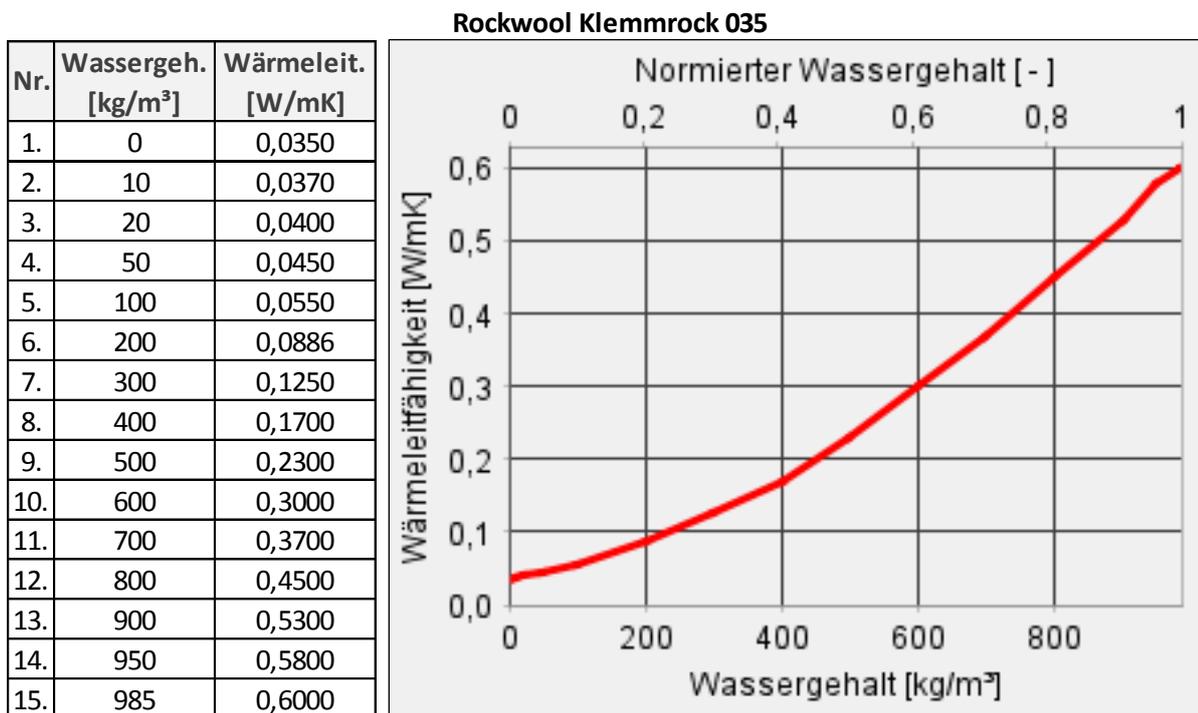
Aus der Tabelle 26 und der Abbildung 27 ist ersichtlich, dass der Feuchtegehalt der einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum sinkt.

4.7.3 Bewertung der Ergebnisse

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei feuchteunempfindlichen Dämmstoffen

Die Feuchteaufnahme von feuchteunempfindlichen Dämmstoffen (z.B. Hartschaum oder Mineralfaser) durch Diffusion kann zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führen. Diese Abhängigkeit ist bei den Materialkennwerten hinterlegt (siehe Abbildung 25, rote Linie) und wird wie folgt ausgewertet:

Tabelle 27: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Wassergehalt der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ [32]



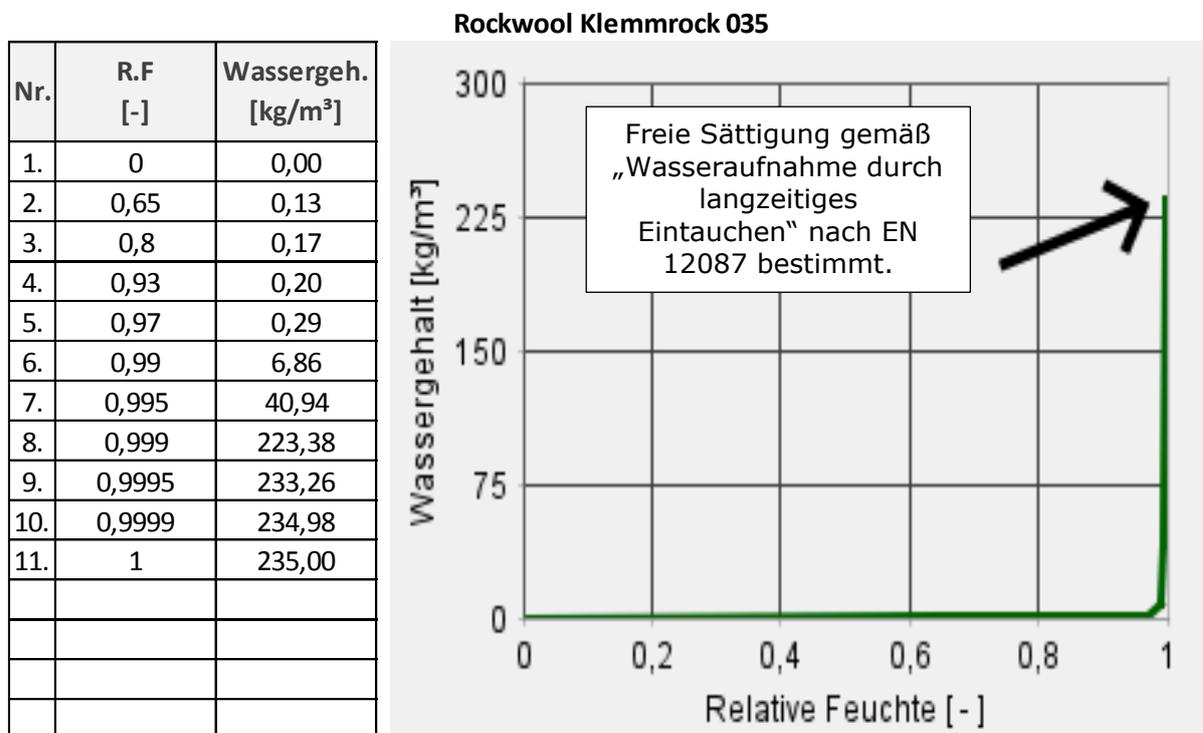
Die Tabelle 27 zeigt die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit [W/m K] in Abhängigkeit von dem Wassergehalt [kg/m³] der Schicht Rockwool Klemmrock 035. Bei der Betrachtung des Wassergehaltes in der Schicht über den Berechnungszeitraum (siehe Tabelle 26) ist ersichtlich, dass der maximale Wassergehalt einen Wert von 0,17 [kg/m³] aufweist; dieser Wert ist zu gering für eine entscheidende Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Des Weiteren stellt dieser Wert den Startwert dar, welcher über die Jahre stetig sinkt. Somit ist eine Verringerung des Wärmeschutzes um mehr als 10% ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.5).

Ablaufendes Tauwasser

Die kritische Position für ablaufendes Tauwasser ist der Bereich zwischen Vorsatzschale/Dämmung. Da hier der Wasserdampf, der durch Diffusion durch das Bauteil strömt, nach der Dämmung auf eine kalte Oberfläche trifft und kondensieren könnte. Eine Tauwasserbildung auf der kalten Seite der Dämmung könnte die Folge sein. In diesem Bereich wird der Wassergehalt einer 1 mm dicken Schicht der Dämmung untersucht, da die freie Sättigung der Dämmung bekannt ist. Wenn die freie Sättigung der Dämmung nicht bekannt ist, dann muss eine 1 cm dicke Schicht untersucht werden (siehe Abbildung 17). [4]

Die gemessene freie Sättigung ist bei den Materialkennwerten der Dämmung angeführt und entspricht:

Tabelle 28: gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ [32]



Die Tabelle 28 stellt die gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ dar. Sie setzt sich messtechnisch aus Sorptionsisothermen (bis $\approx 0,9$ r.F.) und Saugspannungsmessungen (bis $\approx 0,95$ r.F.) zusammen. [33] Ungebundenes flüssiges „Tauwasser“ kann erst auftreten, wenn die freie Sättigung erreicht wird. [4]

Der Wassergehalt in der 1 mm dicken Schicht der Dämmung entspricht:

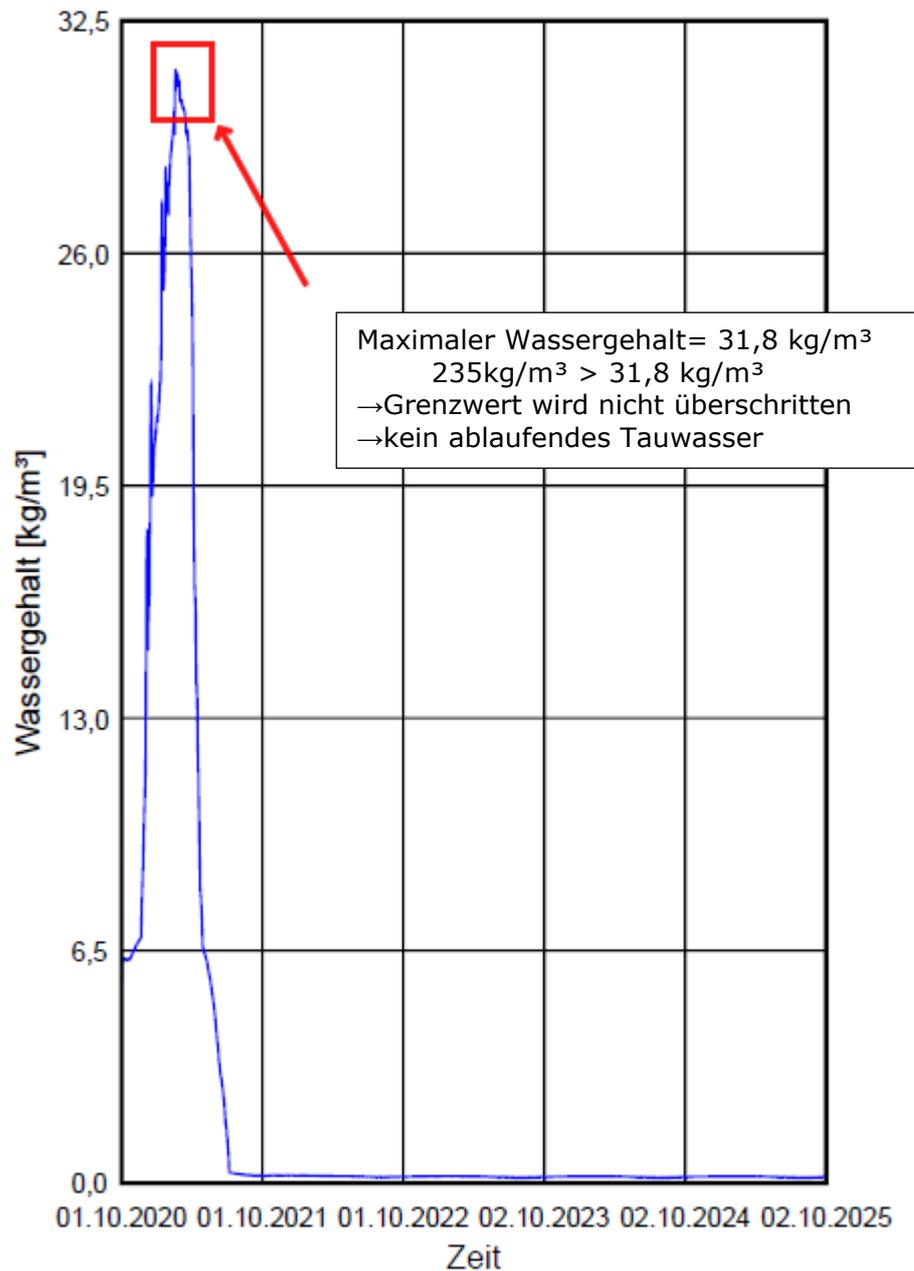


Abbildung 28: Wassergehalt der 1 mm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 1

Aus der Abbildung 28 ist ersichtlich, dass der Grenzwert der freien Sättigung nicht überschritten wird. Ablaufendes Kondensat kann ausgeschlossen werden.

Schimmelpilzwachstum

Die Bewertung des Schimmelpilzrisikos wird gemäß den im Kapitel 4.6.3 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

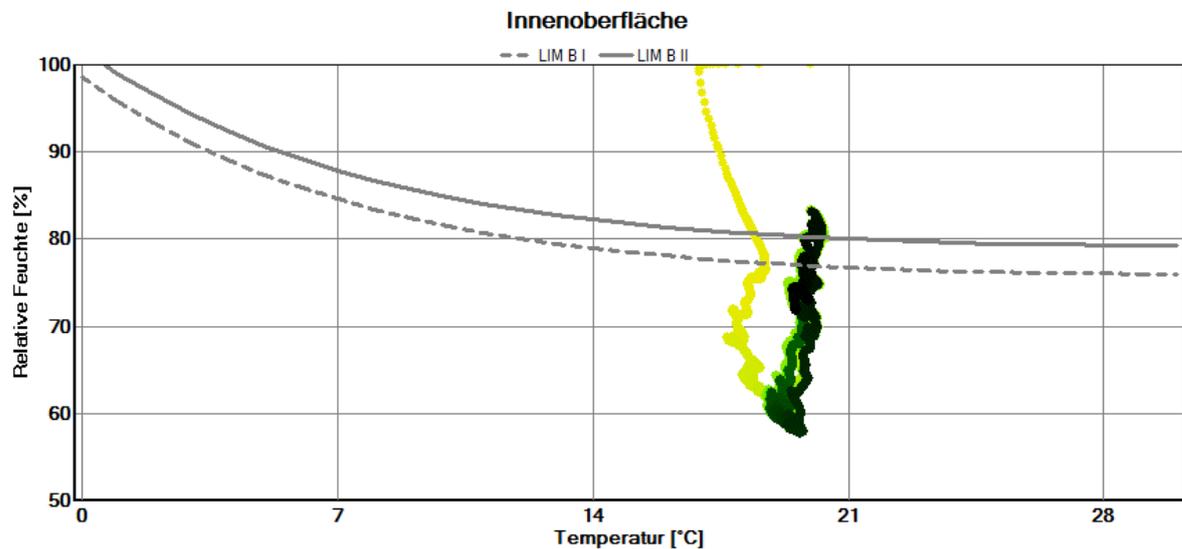


Abbildung 29: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 1

Da die Innenoberfläche aus Kalkzementputz besteht, ist die LIM B II-Grenzlinie für die Beurteilung relevant. Die Abbildung 29 zeigt, dass die LIM B II-Grenzlinie am Berechnungsstart (gelber Farbverlauf) und am Berechnungsende (schwarzer Farbverlauf) überschritten wird. Bei Überschreitung hängt das Risiko von Ausmaß und Dauer der Überschreitung ab. Folglich ist das Risiko des Schimmelbefalls als sehr niedrig einzuschätzen, da die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung gering sind.

Das Beispiel wird zusätzlich mit WUFI-BIO berechnet, um den Schimmelbefall garantiert ausschließen zu können:

Eingabe:

- Anfängliche rel. Feuchte der Spore: 0,5 [-] (empfohlen)
- Substratklasse II

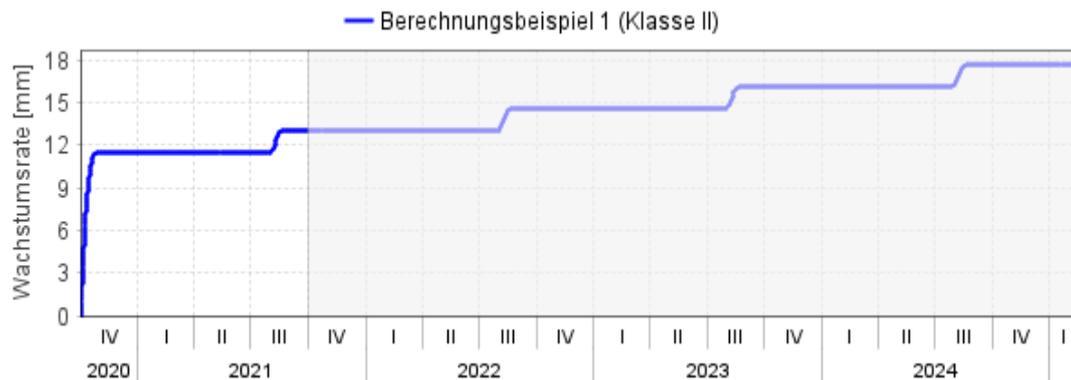


Abbildung 30: Wassergehalt der Spore [kg/m³] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 1

Aus der Abbildung 30 ist ersichtlich, dass der Grenzwassergehalt am Berechnungsanfang und im dritten Quartal jedes Jahres überschritten wird. Da die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung gering ist, kommt es zu einer sehr geringen Wachstumsrate pro Jahr. In Zahlen ausgedrückt wären das:

- Im ersten Jahr: 13[mm/Jahr] und einen Mould-Index von 0,02 (durch Anfangsfeuchte)
- In den Folgejahren: 1,58 [mm/Jahr] und einen Mould-Index von 0,00

Ein Schimmelbefall kann somit ausgeschlossen werden. Aufgrund der Tatsache, dass kein Schimmelbefall an der Oberfläche auftritt, kann man auch Kondensat an der Oberfläche ausschließen, da dies der noch schlechtere Fall wäre.

4.7.4 Abschließende Bewertung

Die folgenden Kriterien an die Berechnung wurden erfüllt:

Tabelle 29: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 1

	Kriterium	Bewertung
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering	✓
	Wenige oder keine Konvergenzfehler	✓
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt eingeschwungen?	✓
	Tauwasser in der Dämmebene?	✓
	Erhöhung des mittleren Wärmestroms aufgrund von Feuchtezunahme	✓
		Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach ÖNORM B 3802-2)
	Schimmelbefall/Kondensat an Oberfläche	✓

Das Bauteil erfüllt die Anforderungen gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 (siehe Kapitel 4.5) und der Feuchteschutz ist somit gewährleistet.

4.7.5 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003

Der Bauteilaufbau wird auch nach ÖNORM B 8110-2:2003 gemäß ÖNORM EN ISO 13788 zu berechnen.

Randbedingungen:

Außen

Klima: Graz; Universität
 Wärmeübergangskoeffizient: 0,04 [m² K/W]

Innen

Innenklima: EN 13788
 Feuchtekategorie 3 & 4; Temperatur 20 °C
 Wärmeübergangswiderstand 0,25 [m² K/W]

Materialkennwerte:

Die Materialkennwerte für die einzelnen Schichten wurden aus der ÖNORM B 8110-7 entnommen:

Tabelle 30: Materialkennwerte lt. ÖNORM B 8110-7, Beispiel 1 [34]

Material (Innen nach Außen)	d [cm]	μ	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	Diff. Widerstand [m]	R [m ² K/W]
Normalputzmörtel GP Kalkzement	1,50	5	0,910	1700	0,075	0,016
Hochlochziegel 17-18cm Normalmauerm. 975 kg/m ³	25,00	5	0,340	975	1,250	0,735
Klebspachtel (ÖNORM B 6400-1)	0,70	50	0,800	1400	0,350	0,009
Mineralfaserdämmung	12,00	1	0,035	60	0,120	3,423
Hochlochziegel < 17cm Dünnett.	10,00	10	0,340	800	1,000	0,294
Normalputzmörtel GP Kalkzement	2,00	35	0,910	1700	0,700	0,022
Klebspachtel + Textilglasgitter (ÖNORM B 3346)	0,50	35	0,910	1700	0,175	0,005
Silikatputz (ÖNORM B 3346)	0,20	35	0,910	1700	0,070	0,002

Ergebnis der Berechnung:

Die Ergebnisse der Berechnung gemäß ÖNORM EN ISO 13788 sind folgende:

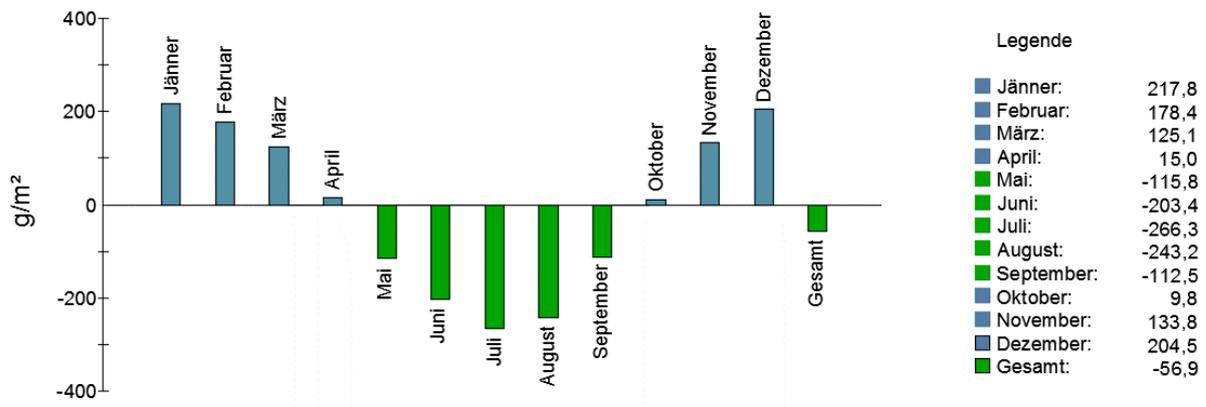


Abbildung 31: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchtklasse 4, Beispiel 1

Die Abbildung 31 zeigt, dass über die Wintermonate eine Kondensatmenge von 884,4 g/m² entsteht, welche in den Sommermonaten wieder verdunsten kann. Die Kondensatmenge darf allerdings bei kapillar nicht- oder wenig aufnahmefähigen Grenzflächen einen Wert von 500 g/m² nicht übersteigen. [3] Eine Kondensatmenge von 500 g/m² wird nachfolgend als Versagenskriterium angenommen, da in der ÖNORM B 8110-2:2003 neben der Empfehlung für wenig wasseraufnahmefähige Grenzflächen kein weiterer Grenzwert angegeben wird. Das Bauteil erfüllt somit nicht die Kriterien gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 (siehe Kapitel 4.4) und der Nachweis gilt als nicht erfüllt.

Wenn man das Bauteil für die Feuchtklasse 3 berechnet, ist erkennbar, dass eine geringere Kondensatmenge entsteht (siehe Abbildung 32). Die Kondensatmenge von 585,1 g/m² liegt jedoch über den maximal erlaubten Wert von 500 g/m² und das Bauteil müsste gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 negativ bewertet werden.

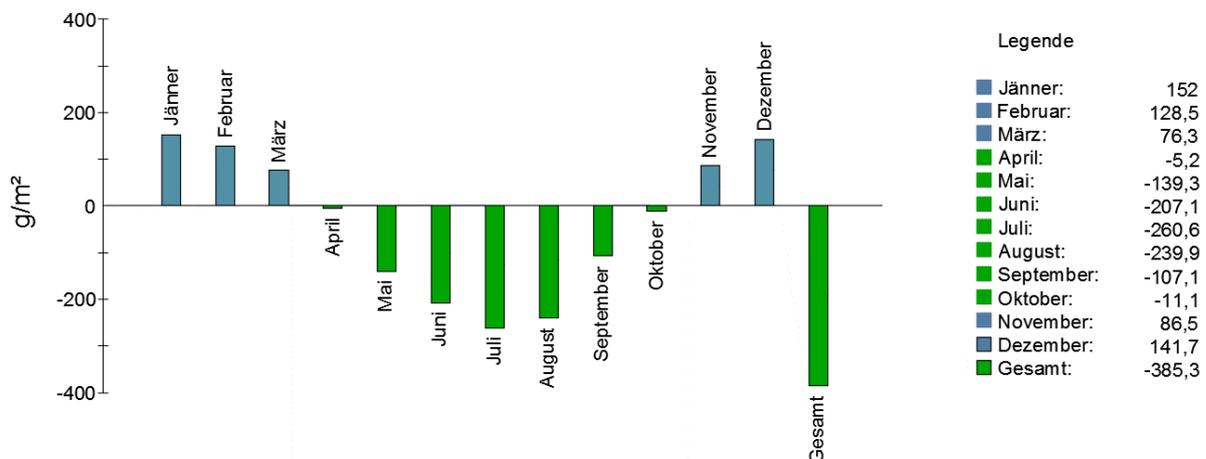


Abbildung 32: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchtklasse 3, Beispiel 1

4.7.6 Vergleich der Ergebnisse

Wenn man die Ergebnisse der stationären und instationären Berechnung miteinander vergleicht, ist ersichtlich, dass das Bauteil nach ÖNORM B 8110-2:2003 (stationäre Berechnung) negativ und nach ÖNORM B 8110-2:2020 (instationäre Berechnung) positiv beurteilt wird. Darüber hinaus muss man hervorheben, dass bei der instationären Berechnung von keiner ablaufenden Tauwassermenge aufgrund der Speicherfähigkeit der Dämmung ausgegangen wird, während es bei der stationären Berechnung (nach Glaser) zu einer Kondensatmenge von 884,8 g/m² (Feuchtekategorie 4) und 585,1 g/m² (Feuchtekategorie 3) an der Grenzschicht zwischen Dämmung und Hochlochziegel (außen) kommt. Die verschiedenen Verfahren stellen das feuchtetechnische Verhalten des Bauteils also sehr unterschiedlich dar. Hier müsste der Planer nach ÖNORM B 8110-2:2003 auf einen konservativen Bauteilaufbau zurückgreifen während das Bauteil nach ÖNORM B 8110-2:2020 in Bezug auf Kondensation im Inneren unproblematisch erscheint. An diesem Beispiel zeigt sich, dass das Glaser-Verfahren bezüglich der Vorhersage von Kondensatbildung konservativ ist (also auf der sicheren Seite liegt), wenn der Feuchteintrag ausschließlich über Diffusion stattfindet (siehe Tabelle 31, Vergleich von Spalte 1 und 3).

Die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsvarianten werden in der folgenden Tabelle nochmals zusammengefasst:

Tabelle 31: Zusammenfassung der Ergebnisse, Berechnungsbeispiel 1

Zusammenfassung der Ergebnisse: Beispiel 1							
Nr.	Berechnung nach:	Kondensat [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	Austrocknung [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	geeignet	Anmerkung
1.	ÖNORM B 8110-2:2003	585,1	299,3	970,3	29,1	Nein	für die Feuchtekategorie 3
2.	ÖNORM B 8110-2:2003	884,4		941,2		Nein	für die Feuchtekategorie 4
3.	ÖNORM B 8110-2:2020	---	---	---	---	Ja	für die Feuchtekategorie 3

4.8 Beispiel 2: Boden eines konditionierten, nutzbaren Raumes gegen Erdreich mit innerhalb liegendem Dämmstoff

Die Abbildung 33 zeigt den Bauteilaufbau des Berechnungsbeispiels. Dieser Bauteilaufbau ist gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 als nachweisfrei eingestuft und müsste nicht auf Kondensatbildung im Inneren untersucht werden (siehe ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 8.9.2-Bild 31).

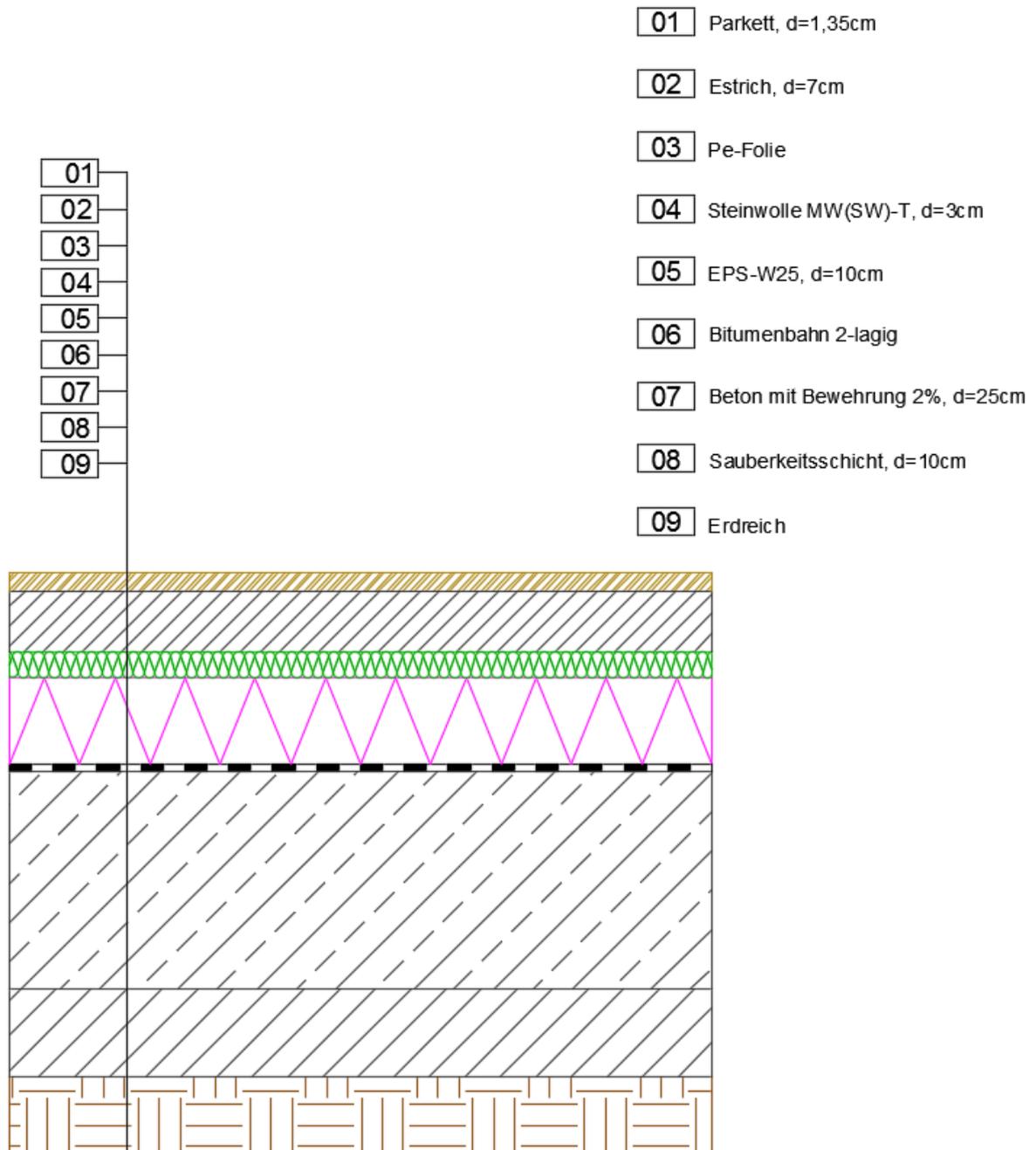


Abbildung 33: Boden eines konditionierten, nutzbaren Raumes gegen Erdreich mit innerhalb liegendem Dämmstoff

4.8.1 Berechnung gemäß ÖNORM B 8110-2:2020

Berücksichtigung des Erdkörpers

Die Eigenschaften des Erdkörpers wurden gemäß ÖNORM EN ISO 13370 ermittelt. Hierbei muss die Bodenplattenkonstruktion zuzüglich einer 0,5 m dicken Schicht des Erdreichs und zuzüglich einer 0,1m virtuellen Schicht zusammengesetzt werden. [35]

Es wurde von einem Erdreich aus Sand oder Kies ausgegangen, da dieser Fall verwendet werden soll, falls die Art des Erdreiches unbekannt ist. Dieses Erdmaterial besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von 2,0 [W/(m K)] und eine volumenbezogene Wärmekapazität von $2 \cdot 10^6$ [J/(m³ K)].

[35]

Für die Randbedingungen am Boden wird eine virtuelle Temperatur Θ_{vi} ermittelt, für deren Berechnung folgende Annahmen getroffen wurden:

- quadratische Bodenplatte, $a=10$ m
- Bodenplatte auf Erdreich
- senkrechte Randdämmung

Das Bauteil wird hier zum besseren Verständnis in einem Detail dargestellt:

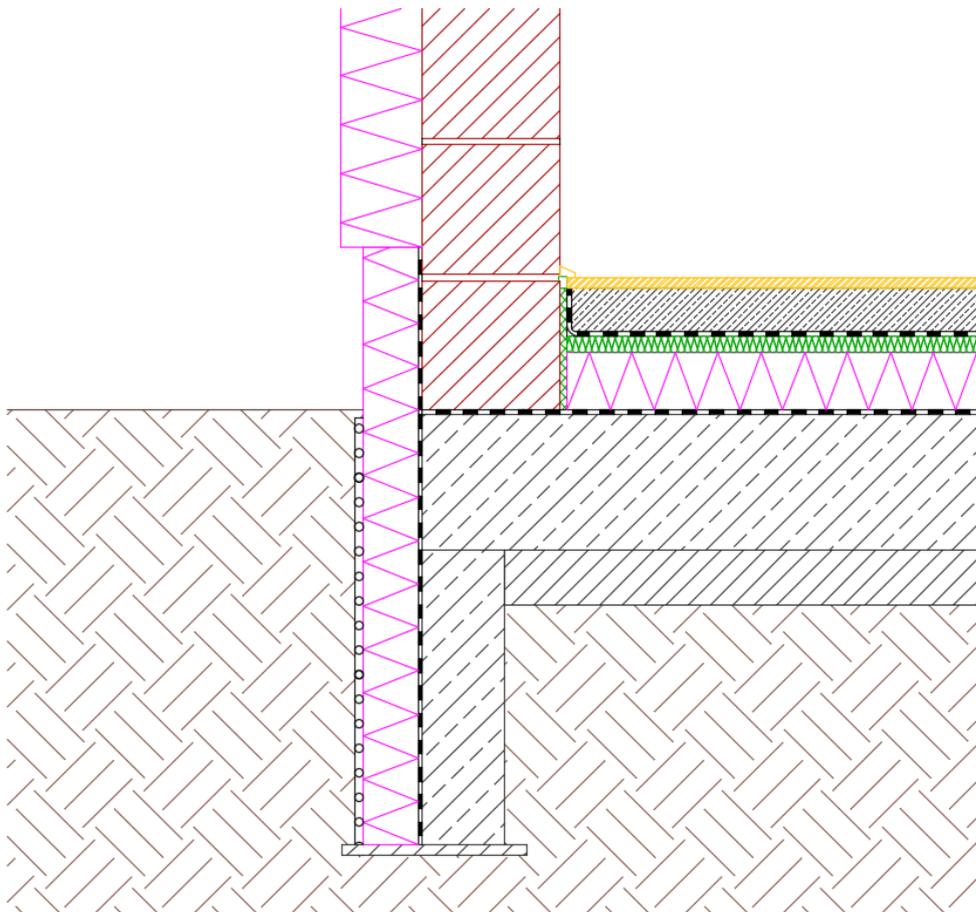


Abbildung 34: Schematische Darstellung des Bauteils

Die Berechnung der virtuellen Temperatur erfolgt nach der angegebenen Formel:

$$\theta_{vi,m} = \theta_{int,m} - \frac{\Phi_m - P * \Psi_{wf} * (\theta_{int} - \theta_e)}{A * U_{fg,sog}}$$

[35]

$\theta_{vi,m}$virtuelle Temperatur für den Monat [°C]

$\theta_{int,m}$Temperatur Innen für den Monat [°C]

Φ_mder mittlere Wärmestrom [W]

Pexpandierter Umfang

Ψ_{wf}längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m K)]

θ_{int}durchschnittliche Temperatur Innen über das Jahr [°C]

θ_edurchschnittliche Temperatur Außen über das Jahr [°C]

AFläche der Bodenplatte [m²]

$U_{fg,sog}$...Wärmedurchgangskoeffizient, einschließlich Wirkung des Erdreichs [W/m² K]

Die Werte für die Außentemperaturen wurden gemäß ÖNORM B 8110-5 für den Standort Graz ermittelt und daraus die Innentemperatur gemäß Abbildung 2 abgeleitet. Auf die Berechnung der anderen Faktoren wird hier nicht näher eingegangen, die NORM verweist auf die ÖNORM EN ISO 13370.

Daraus ergeben sich folgende Werte für die virtuelle Temperatur $\theta_{vi,m}$ des Erdreichs. Diese werden als sinusförmige Temperaturschwankung in WUFI simuliert:

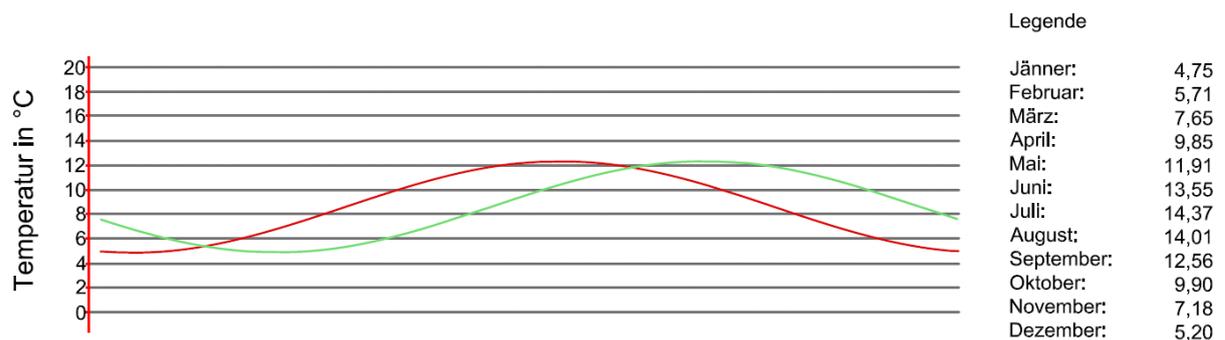


Abbildung 35: Temperaturschwankung der virtuellen Temperatur des Erdreichs als Sinuskurve

Der Mittelwert der Sinuskurve entspricht 9,71 °C, die Amplitude 4,66 °C und der Tag des Maximums ist der 15 Juli (rote Linie). Aufgrund der thermischen Trägheit des Erdreichs kommt es zu einer Phasenverschiebung dieser Sinuskurve, da die Temperatur des Erdreichs den Schwankungen der Außentemperatur nacheilt, die seitliche Randdämmung verstärkt diesen Effekt. Die Phasenverschiebung beträgt zwei Monate (grüne Linie). [35]

Randbedingungen

Außen

Klima:	Graz; Universität
Temperatur Erdreich	lt. grüner Linie (Abbildung 35)
rel. Luftfeuchtigkeit	99%
Wärmeübergangskoeffizient:	0,00 [m ² K/W]

Innen

Innenklima:	EN 13788
	Feuchtekategorie 3; Temperatur 20°C
Wärmeübergangswiderstand	0,125 [m ² K/W]

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen

Tabelle 32: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 2

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,00 ja
sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Anhaftender Anteil des Regens	Gemäß Bauteilneigung	[-]	----
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen

Tabelle 33: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 2

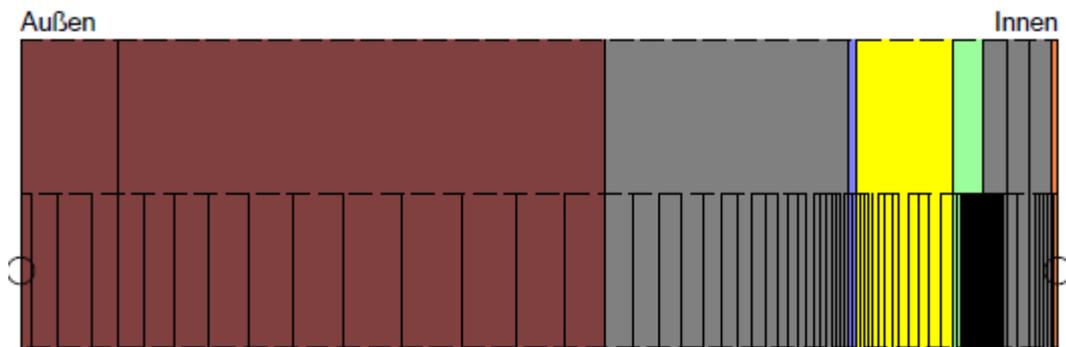
Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,125
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[m]	----

Rechenverlauf

Beginn/Ende der Rechnung 10. Jahre; Beginn 1. Oktober

Bauteilaufbau

Variante: Boden eines konditionierten, nutzbaren Raumes gegen Erdreich



○ - Monitorpositionen

Dicke [m]

Materialien:

	- *Virtuelle Schicht	0,1 m
	- *Erdreich 'Christian' DIN - entriegelt	0,5 m
	- Beton C35/45	0,25 m
	- *Bitumenbahn	0,008 m
	- EPS (Wärmeleit.: 0,04 W/mK - Dichte: 15 kg/m³)	0,1 m
	- Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK)	0,03 m
	- *Dampfbremse (sd=145m)	0,001 m
	- Zement Fließestrich, untere Schicht	0,023 m
	- Zement Fließestrich, mittlere Schicht	0,023 m
	- Zement Fließestrich, obere Schicht	0,023 m
	- Laminatboden	0,007 m

Gesamtdicke: 1,065 m
 Wärmedurchlasswiderstand: 4,85 (m² K)/W
 U-Wert: 0,201 W/(m² K)

Abbildung 36: Bauteilaufbau in WUFI, Beispiel 2

Anfangswassergehalt der Schichten (Typische Einbaufeuchte):

Virtuelle Schicht	0,019	[kg/m ³]
Erdreich DIN	0,019	[kg/m ³]
Beton C35/45	116,29	[kg/m ³]
Bitumenbahn	0,002	[kg/m ³]
EPS	1,787	[kg/m ³]
Mineralfaser	1,787	[kg/m ³]
Dampfbremse	0,002	[kg/m ³]
Zementfließestrich	77,21	[kg/m ³]
Laminatboden	5,00	[kg/m ³]

Materialkennwerte

Tabelle 34: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 2

Kennwert	Einheit	virtuelle Schicht	Erdreich "Christian"	Beton C35/40	Bitumenbahn	EPS	Mineralfaser	Dampfbremse	Zementfließestrich	Laminatboden
Rohdichte	[kg/m ³]	1	1500	2220	1100	15	60	130	1970	800
Porosität	[m ³ /m ³]	0,01	0,01	0,18	0,001	0,95	0,95	0,001	0,177	0,42
Wärmekapazität trocken	[J/kg K]	1	2000	850	1000	1500	850	2300	850	1600
Wärmeleitfähigkeit trocken, 10°C	[W/m K]	1,46	2	1,6	0,23	0,04	0,04	02.Jän	01.Jän	00.Jän
Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl	[-]	1	50	248	50000	30	1,3	145000	69	2500
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Temp.	[W/m K ²]	----	----	2,00E-04	0,0002	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04

Der Zementestrich wird laut WUFI in eine obere, mittlere und untere Schicht eingeteilt, da sich im unteren Teil durch Sedimentation dichtere Bereiche bilden. In Tabelle 34 werden nur die Materialkennwerte für die mittlere Schicht angegeben, da sich die Werte nicht sonderlich von einander unterscheiden. Die Sauberkeitsschicht wird in der Berechnung vernachlässigt. Der μ -Wert der Dampfbremse wurde angepasst, sodass der geforderte s_d -Wert von 100 (lt. ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 8.9.2-Bild 31) erreicht wird und der s_d -Wert einer im Handel erhältlichen Dampfbremse gleicht. [36]

Für das Erdreich wurde das Material „Erdreich DIN“ aus der Materialdatenbank übernommen und mit den Eigenschaften von Sand und Kies gemäß ÖNORM EN ISO 13370 ergänzt. Die Wärmeleitfähigkeit der virtuellen Schicht wurde gemäß ÖNORM EN ISO 13370 berechnet. Diese Schicht wird miteinbezogen, so dass der jährliche durchschnittliche Wärmestrom richtig ist. Die Werte für die Rohdichte und Wärmekapazität wurden gemäß ÖNORM EN ISO 13370 mit 1 kg/m³ und 1 J/(kg·K) gewählt. [35]

- Erdreich „Christian“ DIN

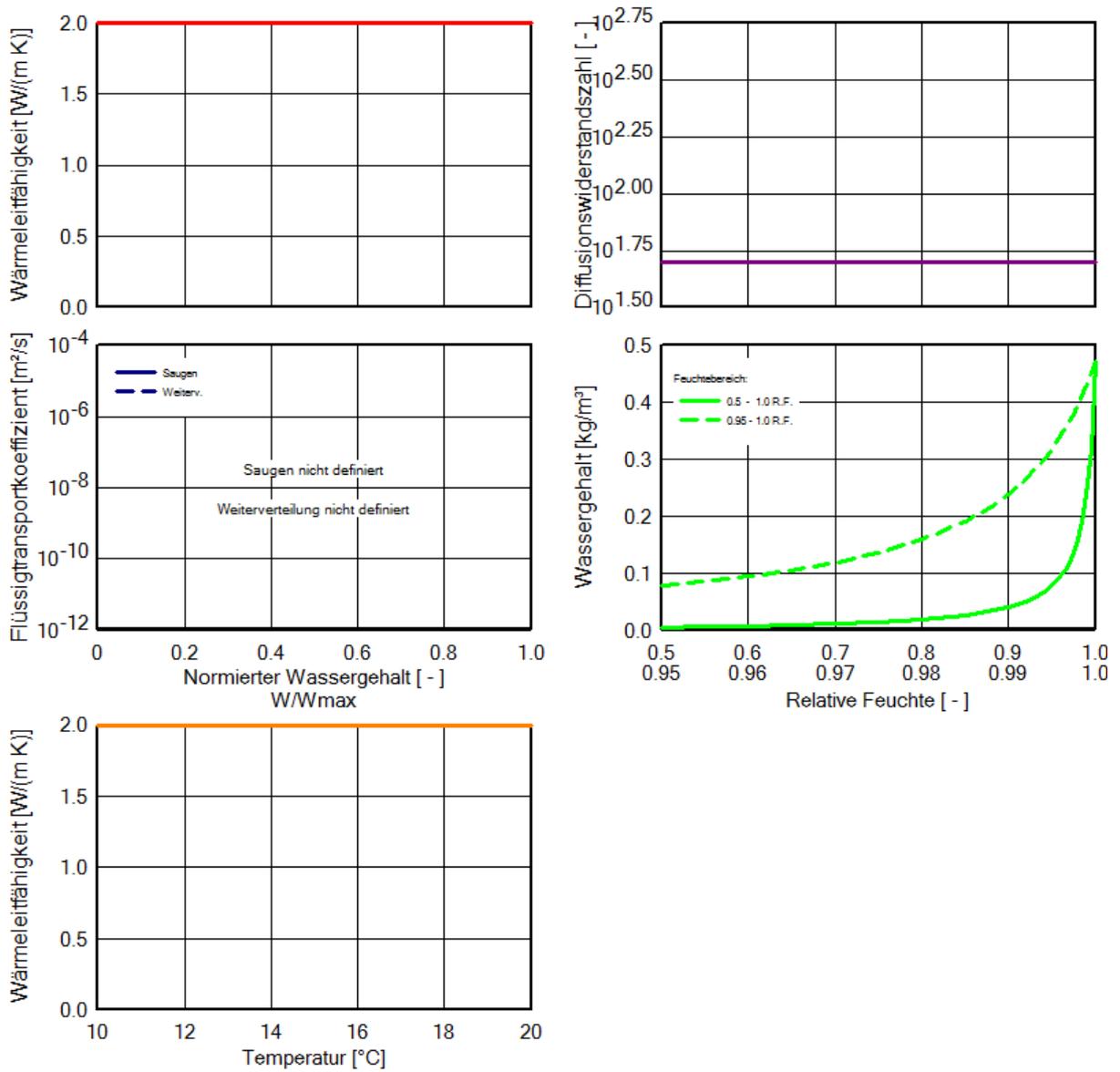


Abbildung 37: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Erdreich Christian“ [32]

- Beton C 35/40

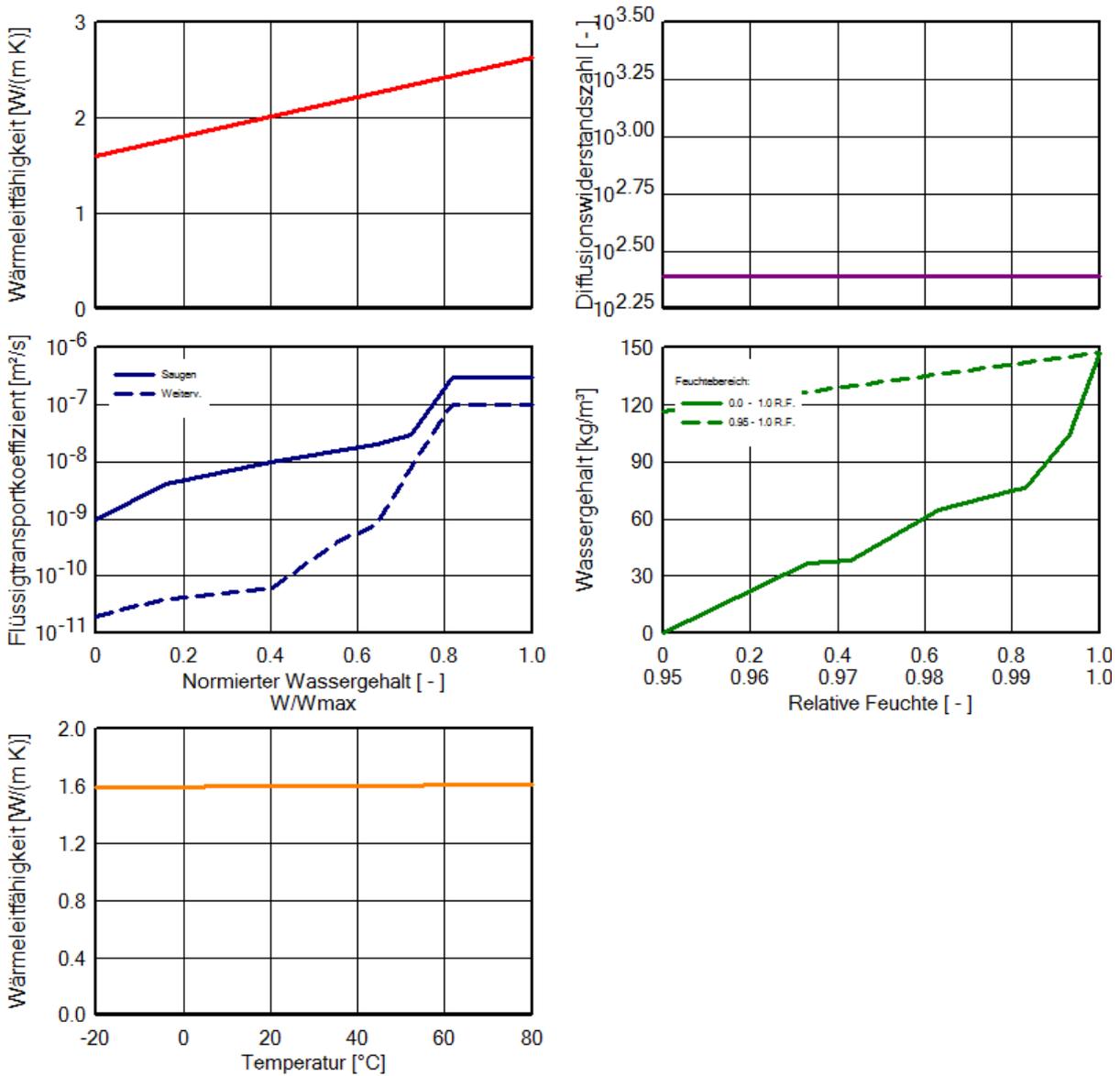


Abbildung 38: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Beton C 35/40“ [32]

- Bitumenbahn

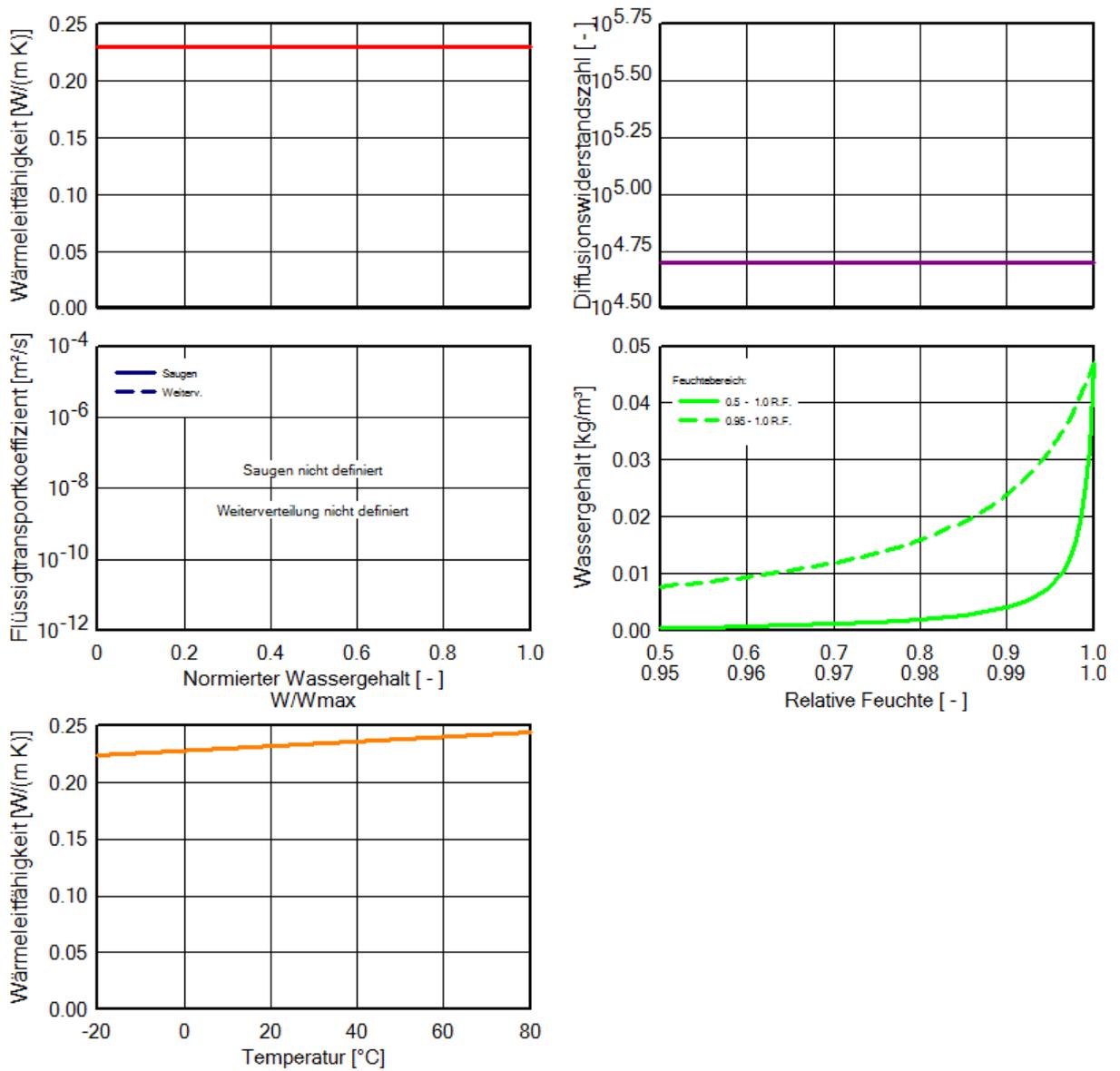


Abbildung 39: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Bitumenbahn“ [32]

- EPS

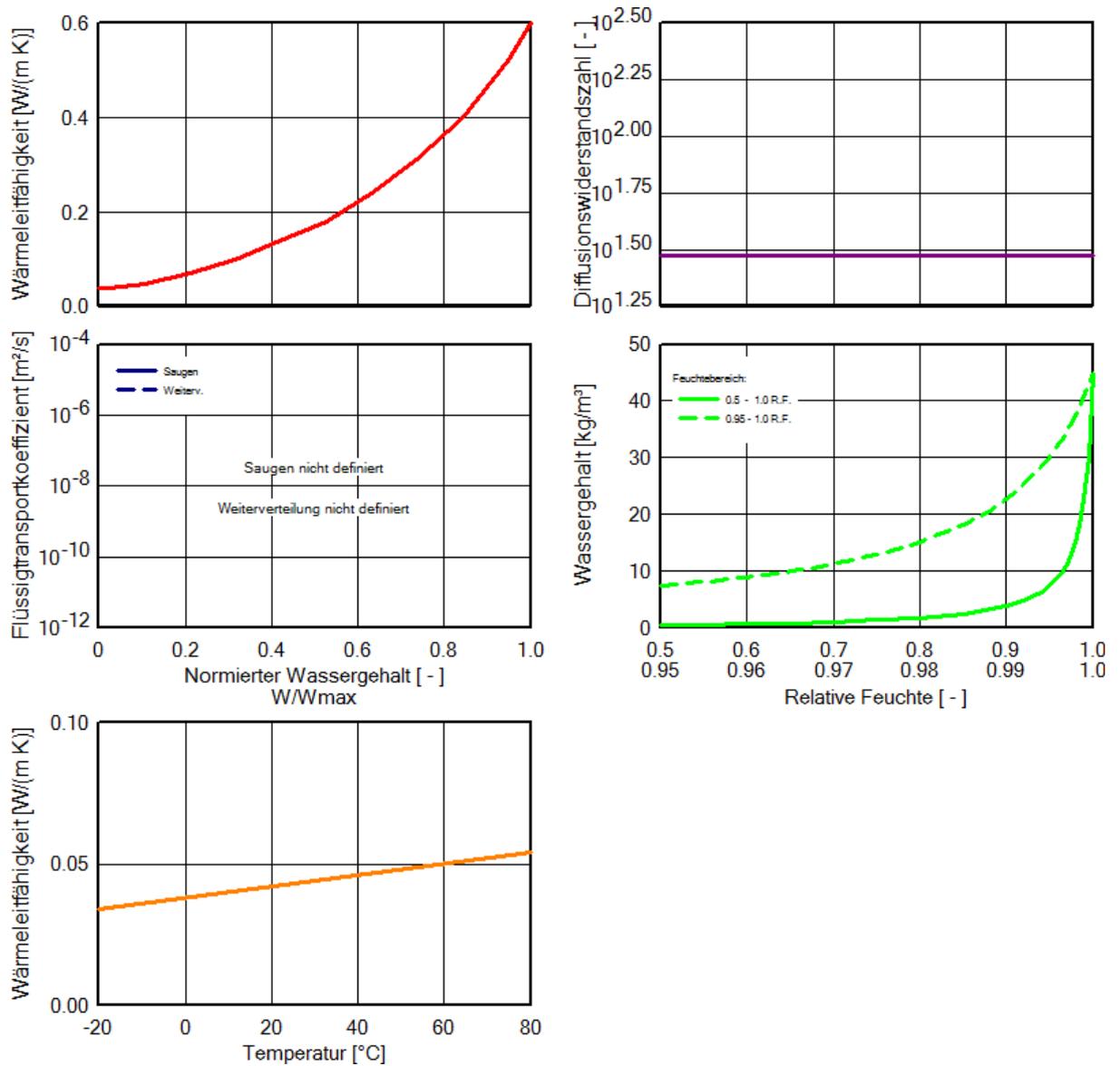


Abbildung 40: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „EPS“ [32]

- Mineralfaser

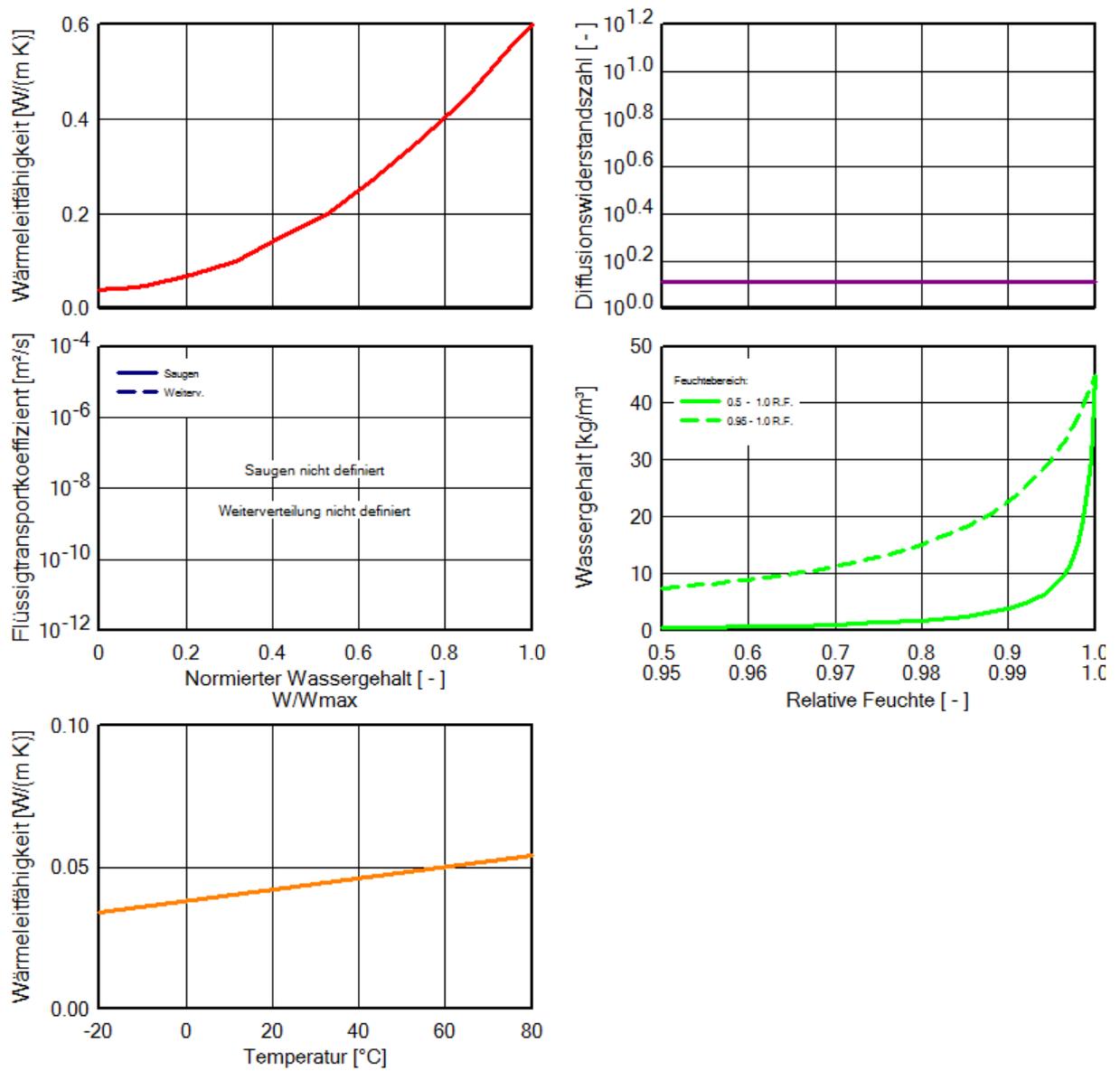


Abbildung 41: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Mineralfaser“ [32]

- Dampfbremse

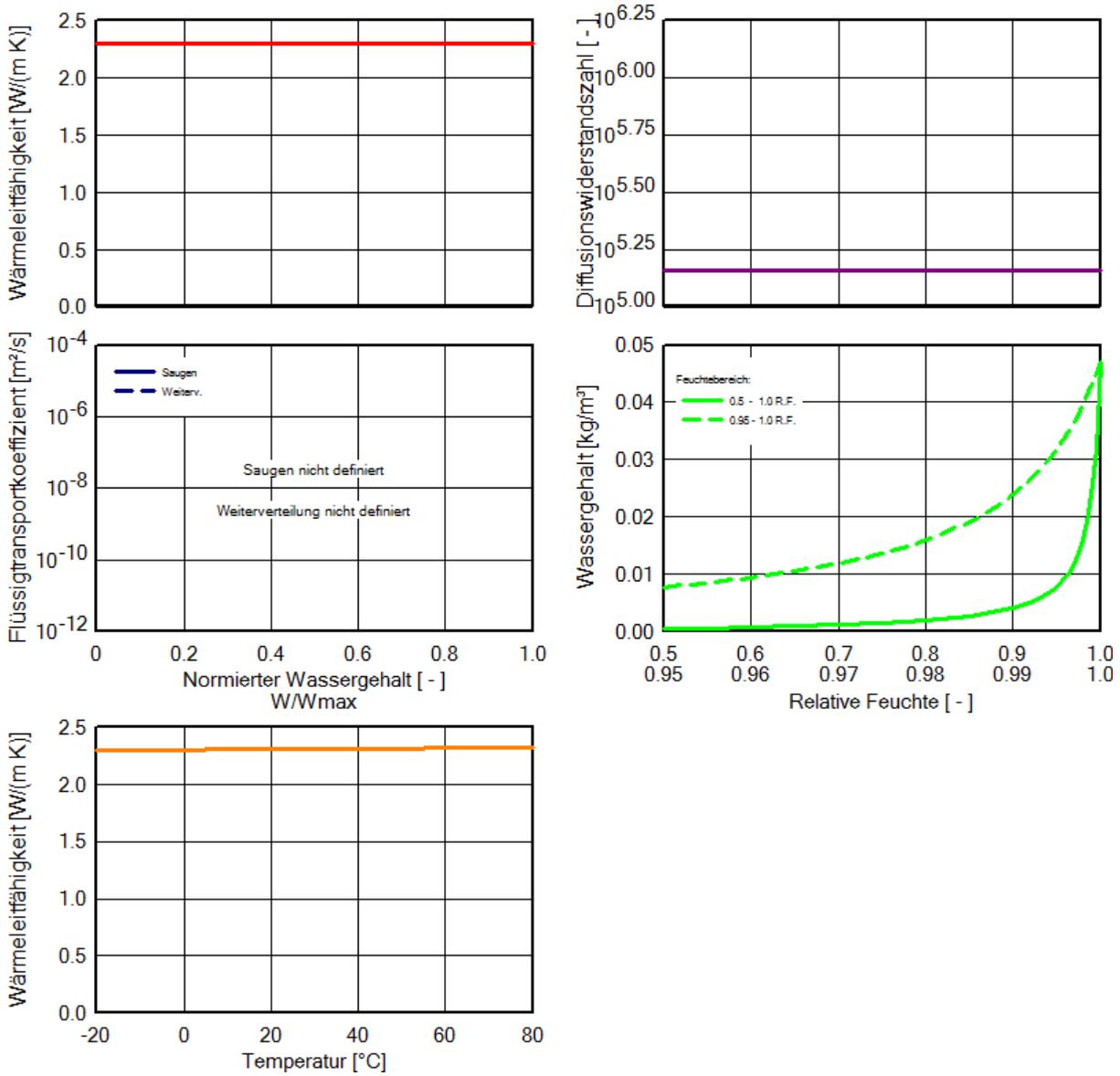


Abbildung 42: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Dampfbremse“ [32]

- Zementfließestrich

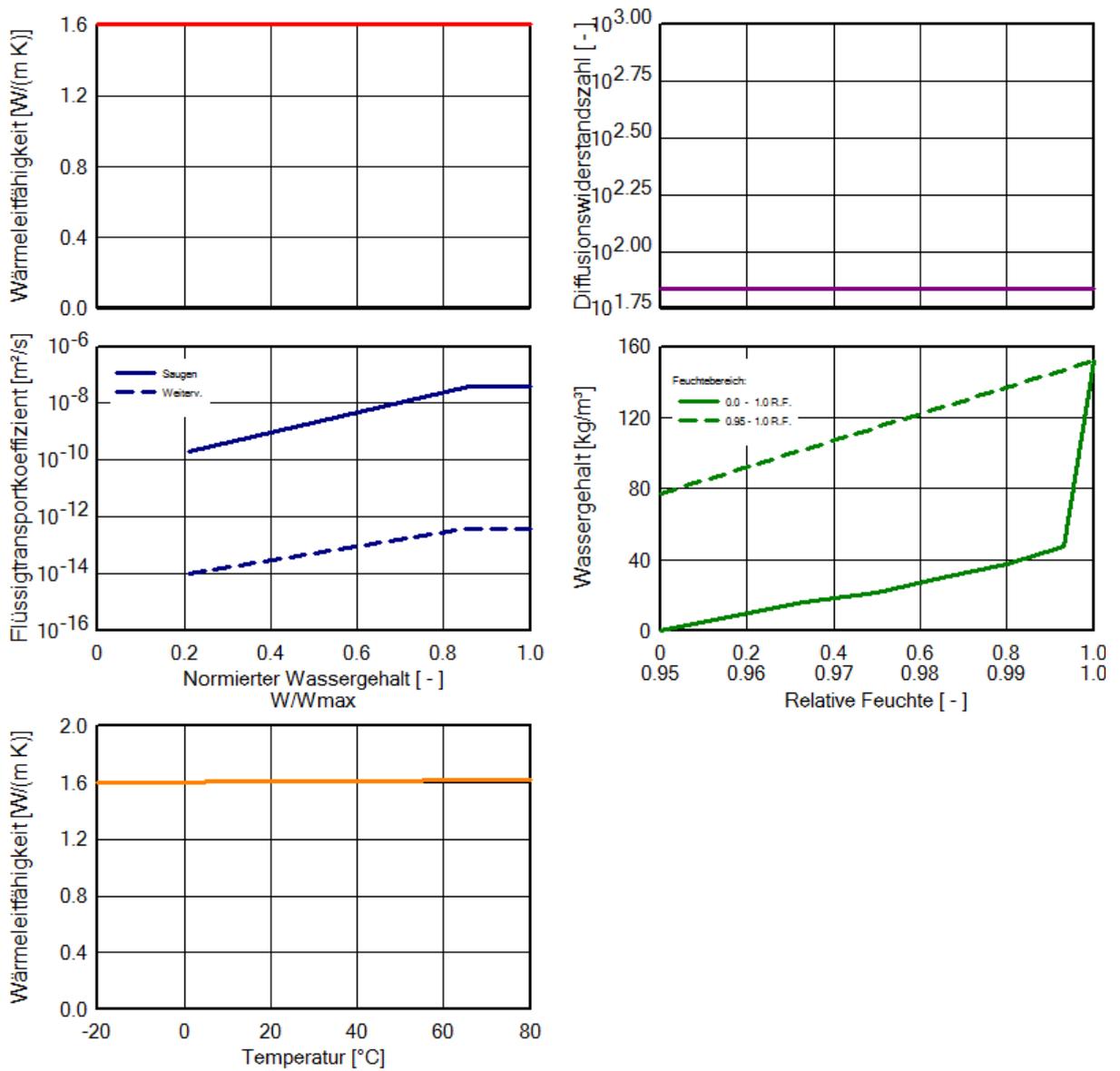


Abbildung 43: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Zementestrich“ [32]

- Laminatboden

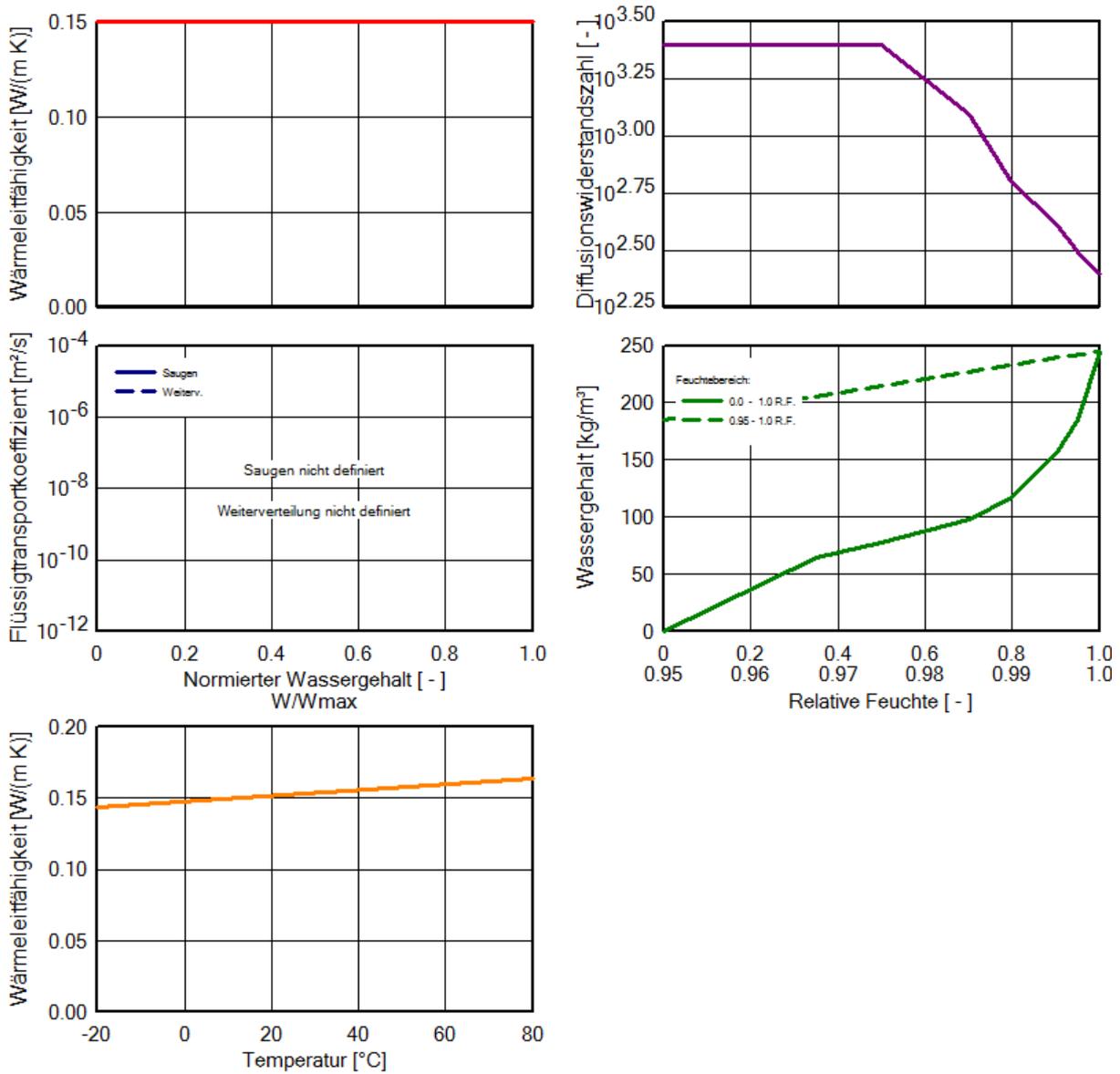


Abbildung 44: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Laminatboden“ [32]

4.8.2 Ergebnis der Berechnung

Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt im Bauteil über den Berechnungszeitraum wird in folgender Abbildung dargestellt:

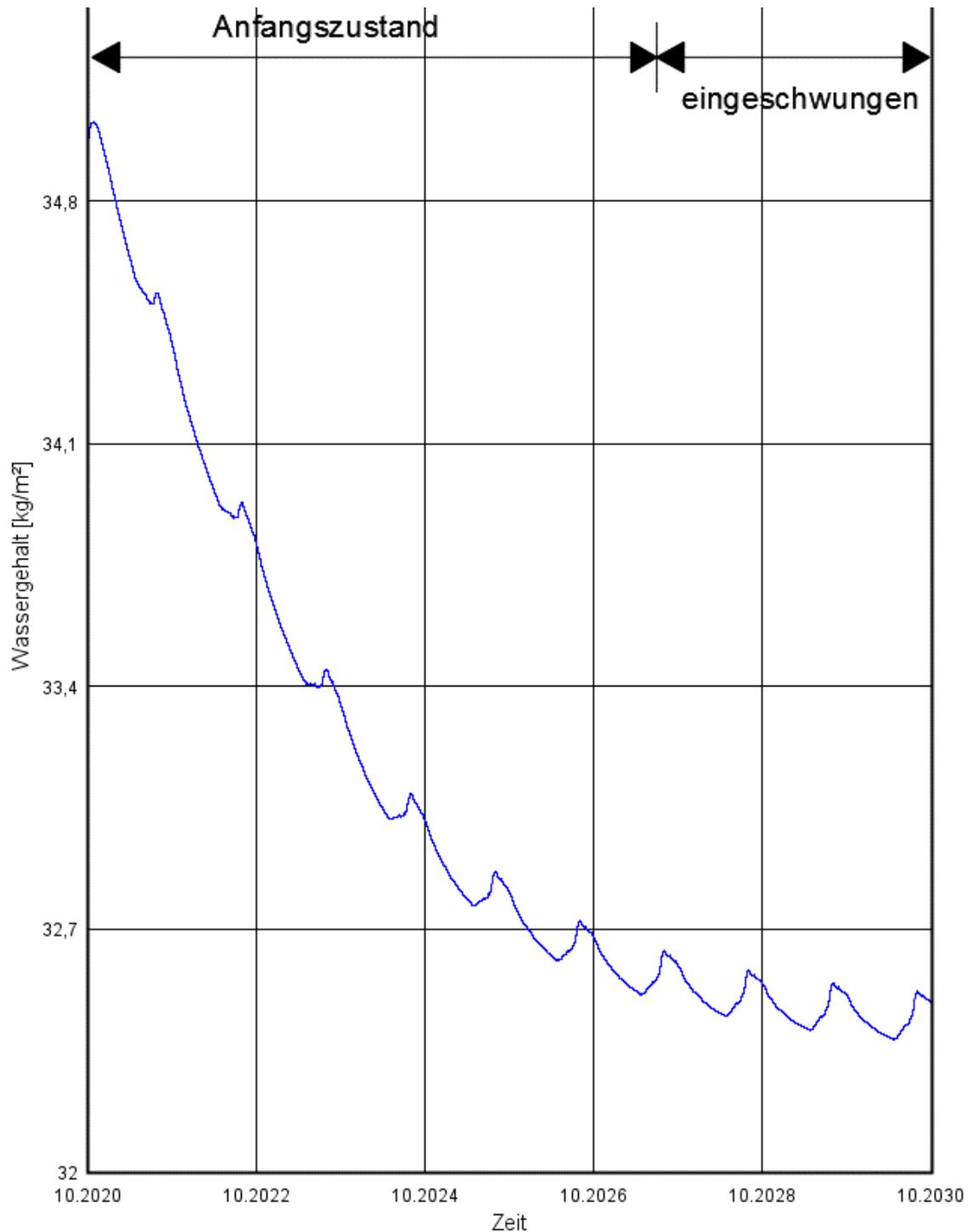


Abbildung 45: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 2

Hier wird ersichtlich, dass die Anfangsfeuchte sinkt und sich dann ein periodischer Verlauf über die Winter- und Sommermonate einpendelt. Die Ergebnisse dieser Abbildung in Zahlen entsprechen den Werten:

Tabelle 35: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 2

Wassergehalt [kg/m²]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	34,81	32,49	32,38	35,03

Die Werte zeigen, dass sich der Gesamtwassergehalt im Bauteil um 2,65 [kg/m²] verringert. Der Gesamtwassergehalt fällt und ist eingeschwungen, somit wird jetzt der Wassergehalt in den einzelnen Schichten und kritischen Positionen untersucht. (siehe Abbildung 16)

Wassergehalt in den einzelnen Schichten

Der Wassergehalt der einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum wird in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 36: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 2

Wassergehalt in den einzelnen Schichten [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
virtuelle Schicht	0,02	0,20	0,02	0,23
Erdreich "Christian" DIN	0,02	0,11	0,02	0,11
Beton C35/40	116,29	116,13	116,12	116,29
Bitumenbahn	0,00	0,01	0,00	0,02
EPS	1,79	4,48	1,79	4,67
Mineralfaser (Wärmeleit: 0,04 W/mK)	1,79	1,24	0,47	1,79
Dampfbremse	0,00	0,00	0,00	0,01
Zement Fließestrich, untere Schicht	78,36	32,28	32,22	78,36
Zement Fließestrich, mittlere Schicht	77,21	31,99	31,74	77,21
Zement Fließestrich, obere Schicht	81,79	30,52	29,31	81,79
Laminatboden	5,00	102,06	5,00	139,88

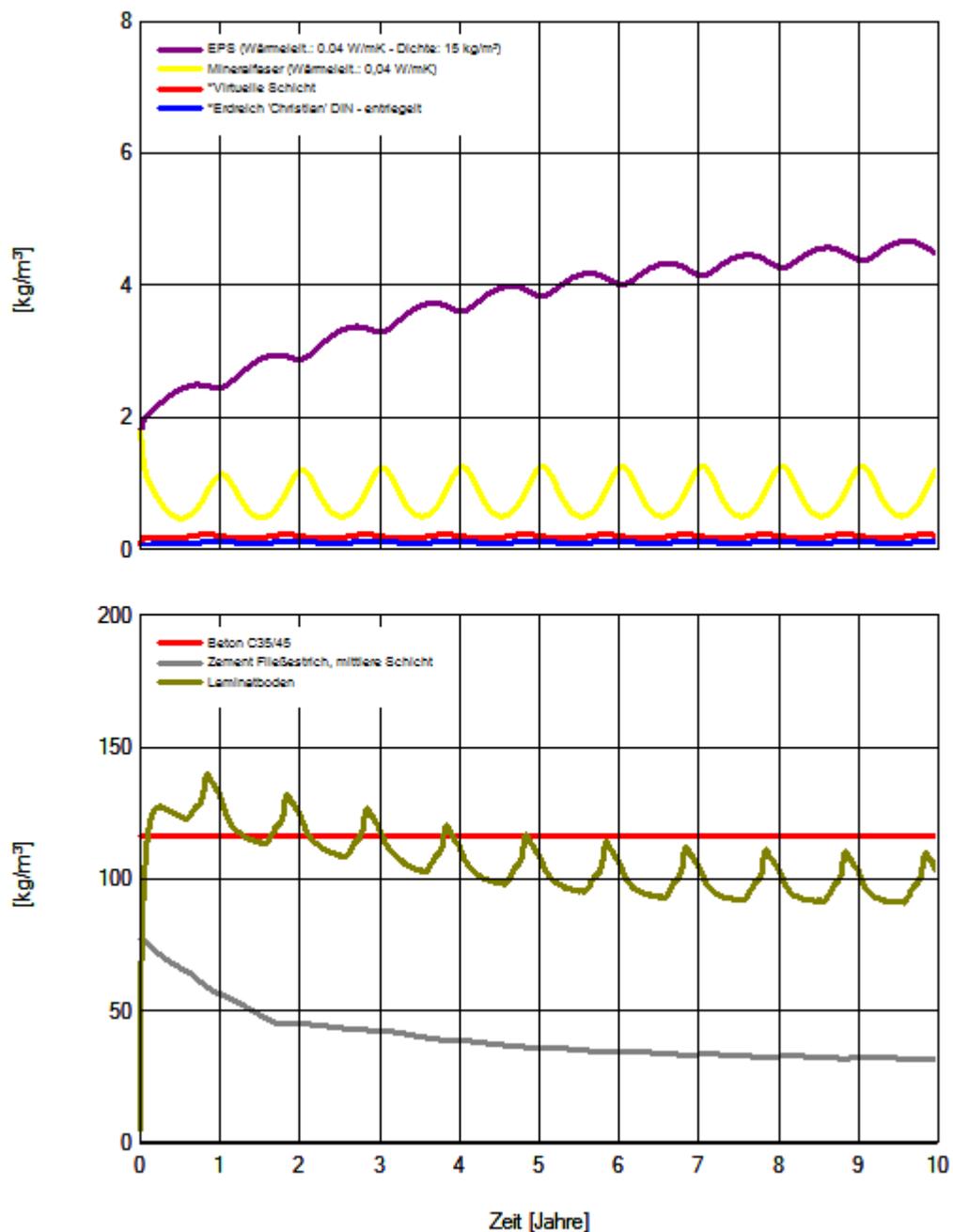


Abbildung 46: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 2

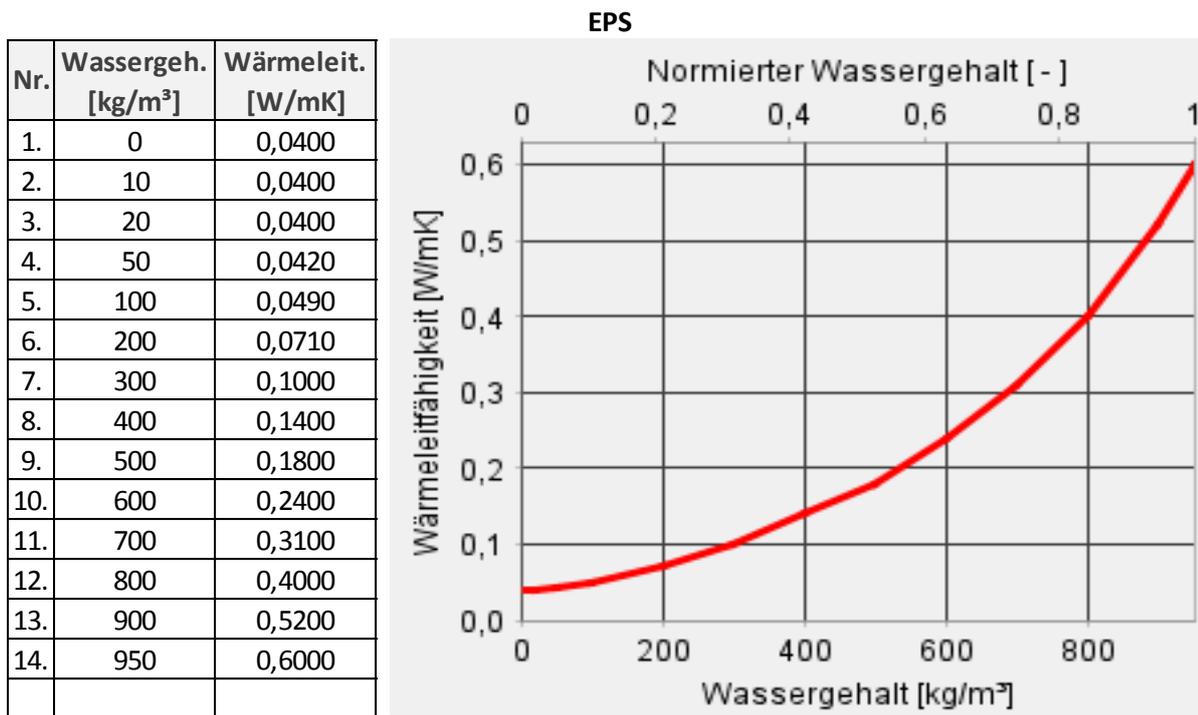
Aus der Tabelle 36 und der Abbildung 46 ist ersichtlich, dass der Feuchtegehalt der Schicht EPS über den Berechnungszeitraum ansteigt. Der Feuchtegehalt des Laminatbodens steigt in der Anfangsphase aufgrund der Anfangsfeuchte des Estrichs, sinkt aber im eingependelten Zustand über den Berechnungszeitraum.

4.8.3 Bewertung der Ergebnisse

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei feuchteunempfindlichen Dämmstoffen

Die Feuchteaufnahme von feuchteunempfindlichen Dämmstoffen (z.B. Hartschaum oder Mineralfaser) durch Diffusion kann zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führen. Diese Abhängigkeit ist bei den Materialkennwerten hinterlegt (siehe Abbildung 40, rote Linie) und wird wie folgt ausgewertet:

Tabelle 37: Wärmeleitfähigkeit der Schicht (EPS), feuchteabhängig



Die Tabelle 37 zeigt die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit [W/m K] in Abhängigkeit von dem Wassergehalt [kg/m³] der Schicht EPS. Bei der Betrachtung des Wassergehaltes in der Schicht über den Berechnungszeitraum (siehe Tabelle 36) ist ersichtlich, dass der maximale Wassergehalt einen Wert von 4,67 [kg/m³] aufweist; dieser Wert ist zu viel gering für eine entscheidende Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Somit ist eine Verringerung des Wärmeschutzes um mehr als 10% ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.5).

Ablaufendes Tauwasser

Die kritische Position für ablaufendes Tauwasser ist der Bereich zwischen EPS-Dämmung/Bitumenbahn. Da hier der Wasserdampf, der durch Diffusion durch das Bauteil strömt nach der Dämmung auf eine kalte diffusionsdichte Oberfläche trifft und kondensieren könnte. Eine Tauwasserbildung auf der kalten Seite der Dämmung könnte die Folge sein. Da die freie Sättigung der EPS-Dämmung nicht bekannt ist (siehe Abbildung 40), muss eine 1 cm dicke Schicht der Dämmung ausgewertet und bei der Beurteilung auf Normen zurückgegriffen werden (siehe Abbildung 17). [4]

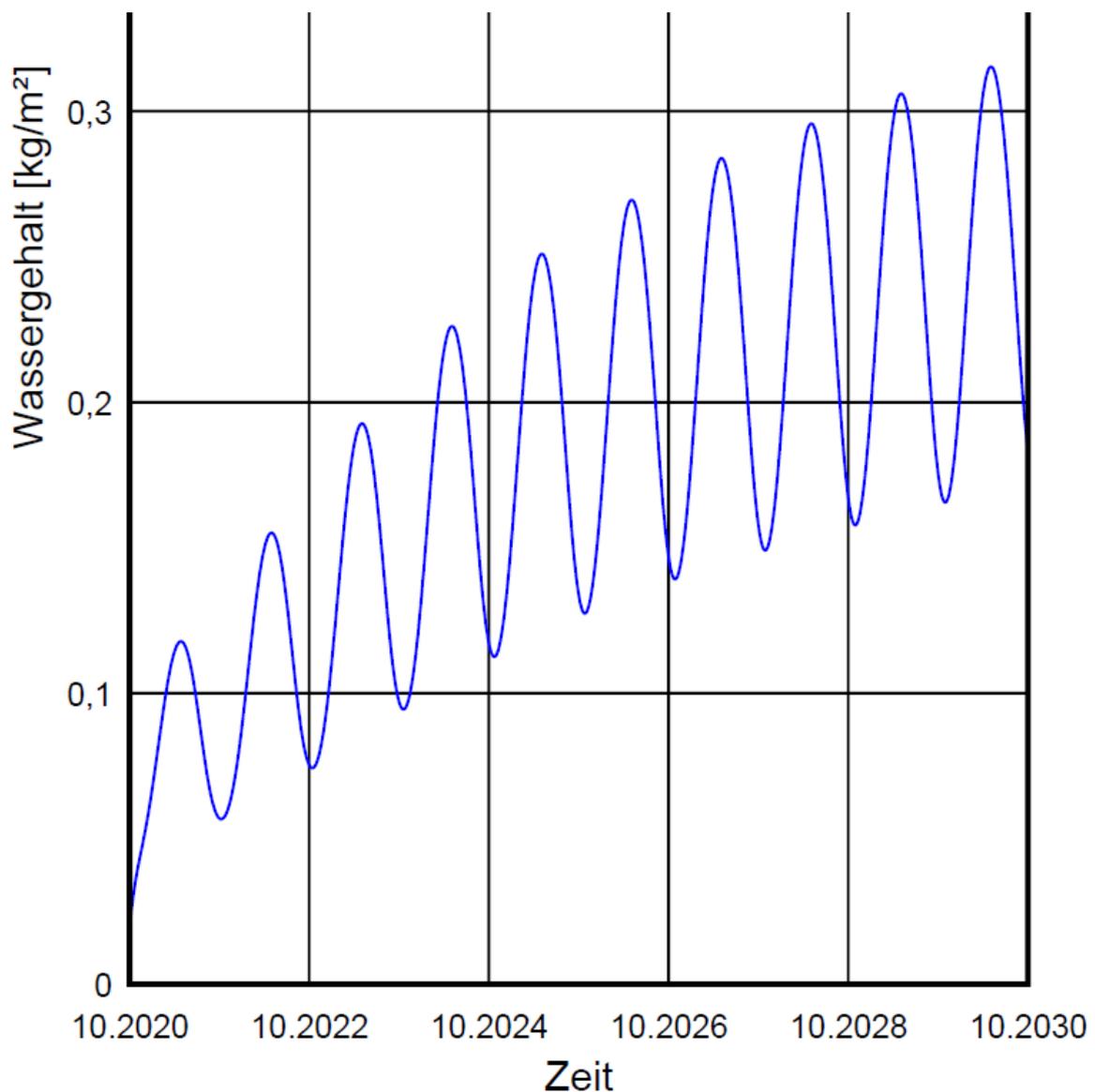


Abbildung 47: Wassergehalt [kg/m²] der 1 cm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 2

Aus der Abbildung 47 ist ersichtlich, dass der Wassergehalt einer 1 cm Schicht an der Grenzebene EPS-Dämmung/Bitumenbahn einen Wert von 0,315 [kg/m²] annimmt.

Außerdem zeigt sich, dass der Wassergehalt weiter ansteigt, das bedeutet, dass es sich nicht um einen eingeschwungenen Zustand handelt. Da der Grenzwert für die Beurteilung aber schon überschritten wurde, muss der Berechnungszeitraum nicht verlängert werden. Für die Bewertung des Bauteils muss auf die dafür vorgesehenen Normen zurückgegriffen werden (siehe Tabelle 19), um auf der sicheren Seite zu liegen, wird der geringste Grenzwert für die maximal zulässige Tauwassermenge gemäß ÖNORM EN ISO 13788 mit 200 g/m^2 gewählt. Das Bauteil erfüllt diesen Nachweis mit einer entstehenden Tauwassermenge von 315 g/m^2 also nicht.

Schimmelpilzwachstum

Die Bewertung des Schimmelpilzrisikos wird gemäß den im Kapitel 4.6.3 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

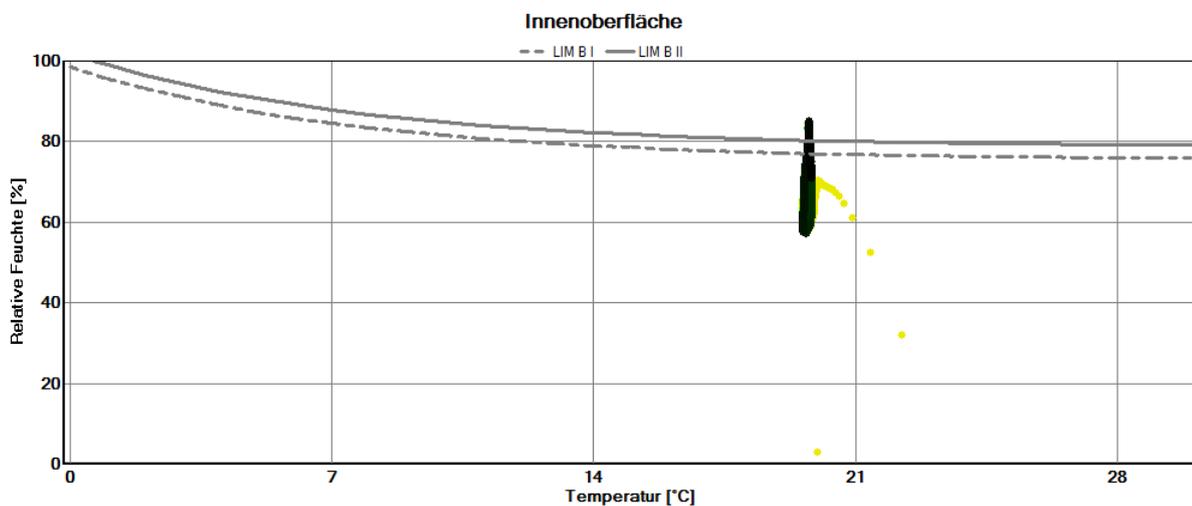


Abbildung 48: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 2

Da die Innenoberfläche aus Laminat besteht, die meistens eine Oberfläche aus Dekorpapier (Vergleichbar mit Tapete) besitzt, ist die LIM B I-Grenze für die Beurteilung relevant. Die Abbildung 48 zeigt, dass die LIM B I-Grenze am Berechnungsende (schwarzer Farbverlauf) überschritten wird. Bei Überschreitung hängt das Risiko von Ausmaß und Dauer der Überschreitung ab. Folglich ist das Risiko des Schimmelbefalls als sehr niedrig einzuschätzen, da die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung gering sind.

Das Beispiel wird zusätzlich mit WUFI-BIO berechnet, um den Schimmelbefall garantiert ausschließen zu können:

Eingabe:

- Anfängliche rel. Feuchte der Spore: 0,5 [-] (empfohlen)
- Substratklasse I

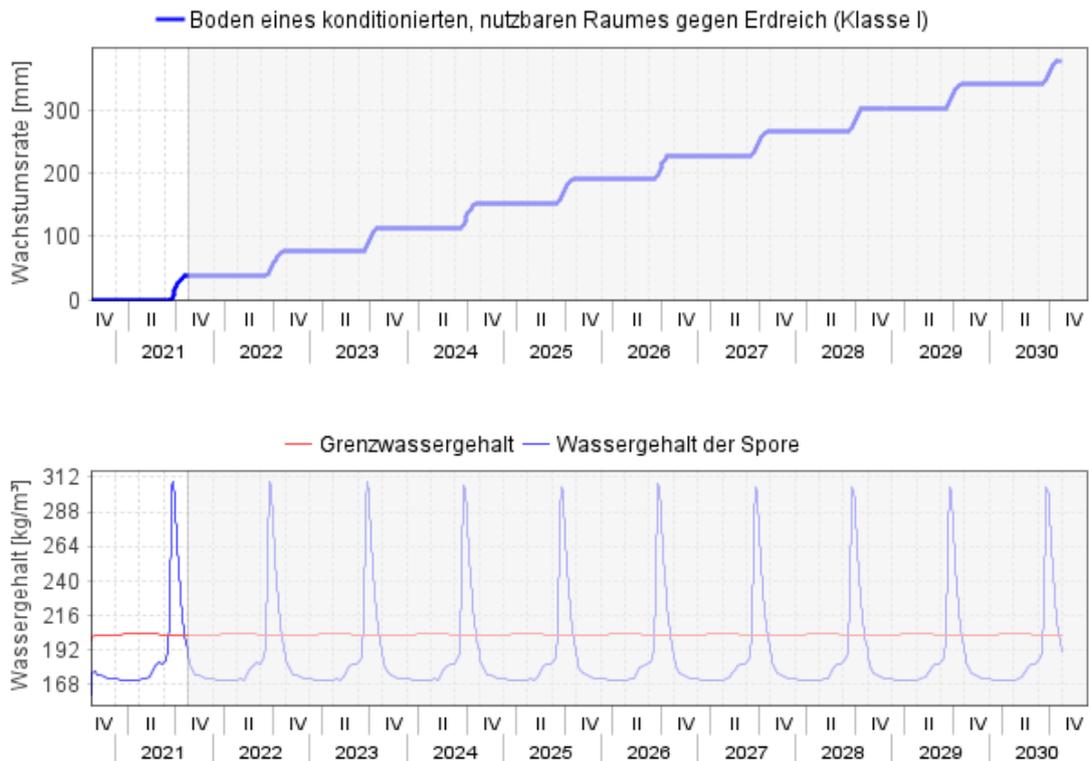


Abbildung 49: Wassergehalt der Spore [kg/m³] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 2

Aus der Abbildung 49 ist ersichtlich, dass der Grenzwassergehalt am Ende des zweiten Quartals bis Anfang des vierten Quartals Jahres überschritten wird. Durch die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung kommt es zu einer Wachstumsrate pro Jahr von:

- In jedem Jahr: 38[mm/Jahr] und einen Mould-Index von 0,09

Ein Schimmelbefall kann somit ausgeschlossen werden. Aufgrund der Tatsache, dass kein Schimmelbefall an der Oberfläche auftritt, kann man auch Kondensat an der Oberfläche ausschließen, da dies der noch schlechtere Fall wäre.

4.8.4 Abschließende Bewertung

Die folgenden Kriterien an die Berechnung wurden erfüllt:

Tabelle 38: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 2

	Kriterium	Bewertung
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering	✓
	Wenige oder keine Konvergenzfehler	✓
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt eingeschwungen?	✓
	Tauwasser in der Dämmebene?	x
	Erhöhung des mittleren Wärmestroms aufgrund von Feuchtezunahme	✓
	Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach ÖNORM B 3802-2)	---
	Schimmelbefall/Kondensat an Oberfläche	✓

Der Grenzwert für die maximal zulässige Tauwassermenge gemäß ÖNORM EN ISO 13788 mit 200 g/m^2 wird überschritten; das Bauteil erfüllt den Nachweis also nicht. Da die entstehende Tauwassermenge mit 315 g/m^2 den Grenzwert nach zehn Jahren um 58% überschreitet und der Wassergehalt in den Folgejahren sogar noch weiter ansteigt. Die Kondensatmenge kann zu Schäden in den kritischen Bereichen führen z.B. bei den Anschlüssen zwischen den Wänden und der Bodenplatte, vor allem wenn es sich bei den Wänden um Massivholz - oder Holzriegelkonstruktion handelt.

4.8.5 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003

Dieser Bauteilaufbau ist nach ÖNORM B 8110-2:2003 gemäß ÖNORM EN ISO 13788 zu berechnen.

Randbedingungen:

Außen

Klima:	Graz; Universität
Wärmeübergangskoeffizient:	0,04 [m ² K/W]
Temperatur Erdreich	lt. ÖNORM B 8110-2, S.12
rel. Luftfeuchtigkeit	100%

Innen

Innenklima:	EN 13788
	Feuchtekategorie 3 & 4; Temperatur 20°C
Wärmeübergangswiderstand	0,25 [m ² K/W]

Materialkennwerte:

Die Materialkennwerte für die einzelnen Schichten wurden aus der ÖNORM B 8110-7 entnommen:

Tabelle 39: Materialkennwerte der verschiedenen Schichten, Beispiel 2

Material (Innen nach Außen)	d [cm]	μ	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	Diff. Widerstand [m]	R [m ² K/W]
Parkett (ÖNORM B 8110-7)	2,00	20	0,120	475	0,40	0,167
Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	7,00	15	1,330	2000	1,05	0,053
Dampfbremse, sd =145m (techn. Datenblatt)	0,02	725000	0,400	940	145,00	0,001
Steinwolle MW-T (ÖNORM B 8110-7)	3,00	1	0,039	130	0,03	0,769
EPS-W25 (ÖNORM B 8110-7)	10,00	60	0,036	23	6,00	2,778
Bitumenbahn 2 Lagen (ÖNORM EN ISO 10456)	0,80	50000	0,230	1100	400,00	0,035
Stahlbeton 2% (ÖNORM B 8110-7)	25,00	80	2,500	2400	20,00	0,100
Sauberkeitsschicht (ÖNORM B 8110-7)*	10,00	70	1,650	2200	7,00	0,061

Die Sauberkeitsschicht wird bei der Berechnung vernachlässigt. Die Werte für die Dampfbremse stammen aus einem technischen Datenblatt. [36]

Ergebnis der Berechnung:

Die Ergebnisse der Berechnung gemäß ÖNORM EN ISO 13788 sind folgende:

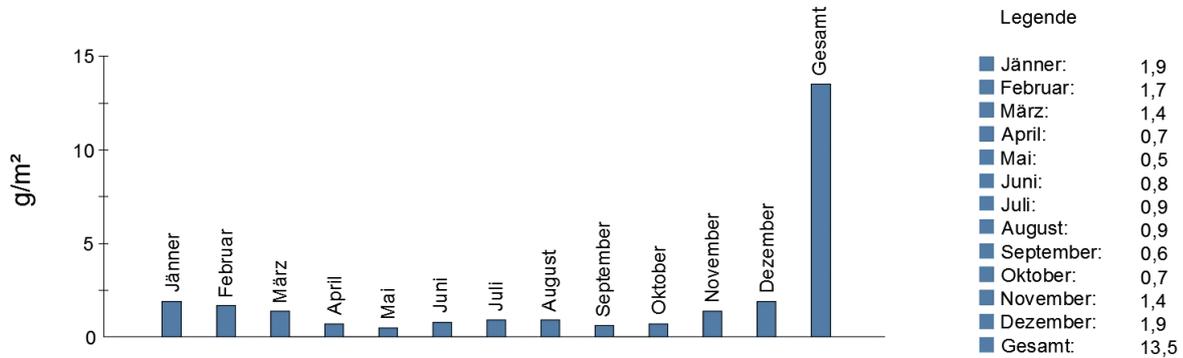


Abbildung 50: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 (Feuchtklasse 4), Beispiel 2

Es kommt zur Tauwasserbildung an der Grenzfläche Bitumenbahn/EPS-Dämmung. Aus der Abbildung 50 ist ersichtlich, dass das entstehende Kondensat nicht vollständig über das Jahr austrocknen kann. Das Bauteil erfüllt somit nicht die Anforderungen gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 (siehe Kapitel 4.4) und der Nachweis gilt als nicht erfüllt.

Wenn man das Bauteil für die Feuchtklasse 3 berechnet, ist erkennbar, dass eine geringere Kondensatmenge entsteht (siehe Abbildung 51) Die Kondensatmenge kann über das Jahr nicht vollständig verdunsten. Das Bauteil erfüllt somit auch für die Feuchtklasse 3 nicht die Anforderungen gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 (siehe Kapitel 4.4) und der Nachweis gilt als nicht erfüllt.

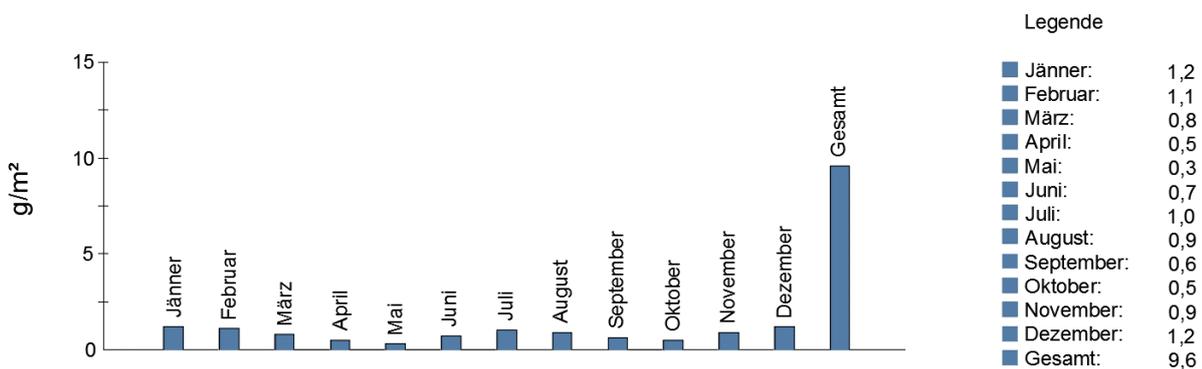


Abbildung 51: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 (Feuchtklasse 3), Beispiel 2

4.8.6 Vergleich der Ergebnisse

Wenn man die Ergebnisse der stationären und instationären Berechnung miteinander vergleicht, ist ersichtlich, dass das Bauteil in beiden Fällen den Nachweis nicht erfüllt. Da die freie Sättigung der EPS-Dämmung unbekannt ist, musste für die Bewertung der maximalen Tauwassermenge auf NORMEN zurückgegriffen werden (siehe Kapitel 4.6.2). Hier wurde der Grenzwert 200 g/m² gemäß der ÖNORM EN ISO 13788 gewählt, der ungefähr nach vier Jahren zum ersten Mal überschritten wurde und nach zehn Jahren den Wert 315 g/m² annimmt (siehe Abbildung 47).

Bei der stationären Berechnung (für die Feuchteklasse 4) kommt es zu einer Kondensatmenge von 13,5 g/m² an der Grenzschicht zwischen Bitumenbahn und EPS-Dämmung, welche über das Jahr nicht austrocknen kann; die Kondensatmenge beträgt also 13,5 g/m² pro Jahr. Bei der stationären Berechnung (für die Feuchteklasse 3) kommt es zu einer Kondensatmenge von 9,6 g/m² an der Grenzschicht zwischen Bitumenbahn und EPS-Dämmung, welche über das Jahr nicht austrocknen kann; die Kondensatmenge beträgt also 9,6 g/m² pro Jahr.

Dieses Bauteil erfüllt nicht den Nachweis gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003, obwohl es lt. ÖNORM B 8110-2:2020 als nachweisfrei eingestuft wurde.

Tabelle 40: Zusammenfassung der Ergebnisse, Beispiel 2

Zusammenfassung der Ergebnisse: Beispiel 2							
Nr.	Berechnung nach:	Kondensat [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	Austrocknung [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	geeignet	Anmerkung
1.	ÖNORM B 8110-2:2003	135*	39	---	---	Nein	für die Feuchteklasse 3
2.	ÖNORM B 8110-2:2003	96*		---		Nein	für die Feuchteklasse 4
3.	ÖNORM B 8110-2:2020	315*	---	---	---	Nein	für die Feuchteklasse 3

* Kondensatmenge nach 10 Jahren

4.9 Beispiel 3: Holzriegelaußenwand, ohne Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene

Hier handelt es sich um keinen nachweisfreien Aufbau lt. ÖNORM B 8110-2:2020. Dieses Beispiel soll die Unterschiede der Berechnung eines Leichtbauteils aufzeigen und die daraus resultierenden divergenten Ergebnisse.

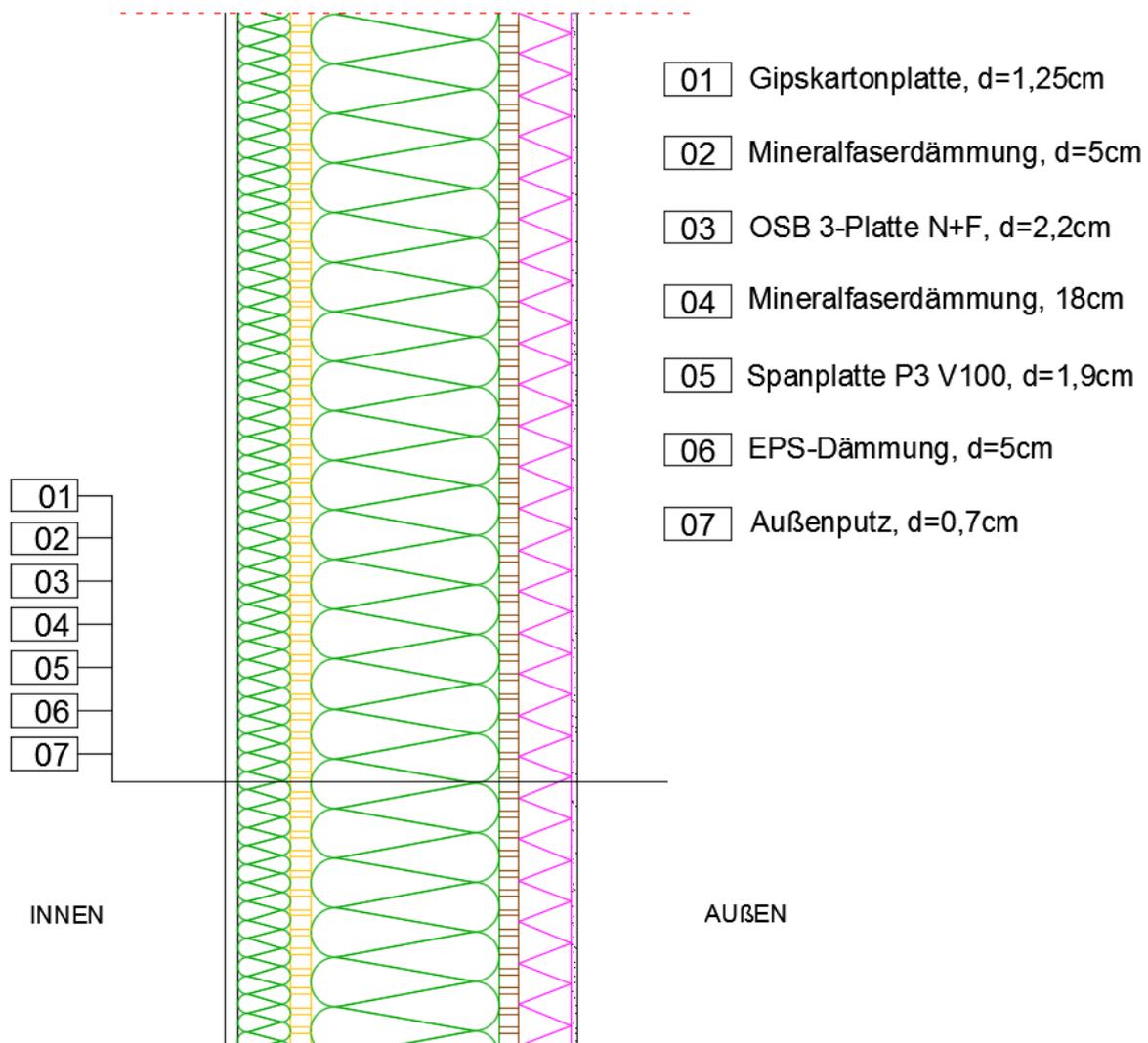


Abbildung 52: Holzriegelaußenwand, ohne Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene

Dieser Aufbau ist suboptimal in Bezug auf die Wasserdampfdiffusion (siehe Kapitel 4.9.1) und wurde gewählt, um zu zeigen wie die verschiedenen Nachweisverfahren diese kritische Konstruktion bewerten. Die EPS-Dämmung wird mittels Dispersionskleber auf der Spanplatte befestigt.

4.9.1 Allgemeines zu Holzriegelbauten

Bei Holzriegelkonstruktionen kann ein falscher Aufbau zu großen Schäden durch Kondensationsfeuchte führen, da es bei erhöhter Holzfeuchtigkeit zu einem Befall von holzerstörenden Pilzen kommen kann. Deswegen wurde in den NORMEN eine Begrenzung der Holzfeuchtigkeit festgelegt:

Tabelle 41: Begrenzung der Holzfeuchtigkeit gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 und ÖNORM B 3802-2:2015 [3] [37]

ÖNORM B 8110-2:2003 (stationär)	
Für Holz und Holzwerkstoffe ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtigkeitsgehalts um mehr als 3% unzulässig.	
ÖNORM B 3802-2:2015 Holzschutz im Bauwesen	
Maximale Holzfeuchtigkeit für Vollholz und Massivholzprodukte	max. 20%
Maximale Holzfeuchtigkeit für Holzwerkstoffe	max. 18%
Hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion sind die Kriterien gemäß ÖNORM B 8110-2 zu erfüllen oder ein Nachweis gemäß ÖNORM EN 15026 zu führen. Bei dem Nachweis gemäß ÖNORM EN 15026 darf die Holzfeuchtigkeit bei Vollholz und Massivholzprodukten im ersten Jahr kurzzeitig 22% (bei Holzwerkstoffen 18%) erreichen, wenn diese innerhalb von drei Monaten wieder austrocknen kann. Wenn die äußere Beplankung nicht diffusionsoffen ist (lt. ÖNORM B 8110-2:2020 der Fall wenn: $s_d > 0,5 \text{ m}$) muss auch der konvektive Feuchteintrag und das Rücktrocknungspotential berücksichtigt werden.	

Grundsätzlich sollte man bei der Planung von Holzriegelbauten folgende Faustregel beachten: **Innen so diffusionsticht wie nötig** (abhängig von der Feuchtebelastung im Raum), **außen so diffusionsoffen wie möglich**. Somit wird gewährleistet, dass der Wasserdampf von Innen schwer ins Bauteil gelangt und an der äußeren Beplankung leicht entweichen kann. Die ÖNORM B 8110-2:2020 legt sich bei diesem Thema auf folgende Werte fest:

Tabelle 42: s_d -Werte für nachweisfreie Außenbauteile in Leichtbauweise für die Luftfeuchteklasse 3 [1]

Zeile	s_{di} -Wert innen	s_{de} -Wert außen
1	$\geq 2,0 \text{ m}$ oder feuchtevariable Dampfbremse	$< 0,3 \text{ m}$
2	$\geq 4 \cdot s_{de}$ und $\geq 2,0 \text{ m}$	$0,3 \text{ m} \leq s_{de} \leq 4,0 \text{ m}$

Auch wenn innen eine sehr diffusionsdichte Schicht vorhanden ist, sollte die äußere Beplankung so diffusionsoffen wie möglich sein, da somit auch der Wasserdampf durch mögliche Leckagen leicht entweichen kann und zu keinen Schäden führt.

4.9.2 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2020

Da es sich bei diesem Beispiel um einen Holzriegelwand handelt, kann der Nachweis gemäß ÖNORM EN 15026 oder ÖNORM EN ISO 13788 (+ Ergänzungen) geführt werden (siehe Abbildung 1). Hier wird das Bauteil gemäß ÖNORM EN 15026 berechnet.

Randbedingungen

Außen

Klima:	Graz; Universität
Temperaturverschiebung:	0.0 °C
Orientierung/Neigung:	Nord/90°
Wärmeübergangskoeffizient:	0,04 [m ² K/W]

Innen

Innenklima:	EN 13788 Feuchtekategorie 3; Temperatur 20 °C
Wärmeübergangswiderstand	0,25 [m ² K/W]

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen

Tabelle 43: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 3

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand -beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,04 ja
sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Anhaftender Anteil des Regens	Gemäß Bauteilneigung	[-]	----
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen

Tabelle 44: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 3

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,25
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[m]	----

Höhe/Schlagregenkoeffizienten

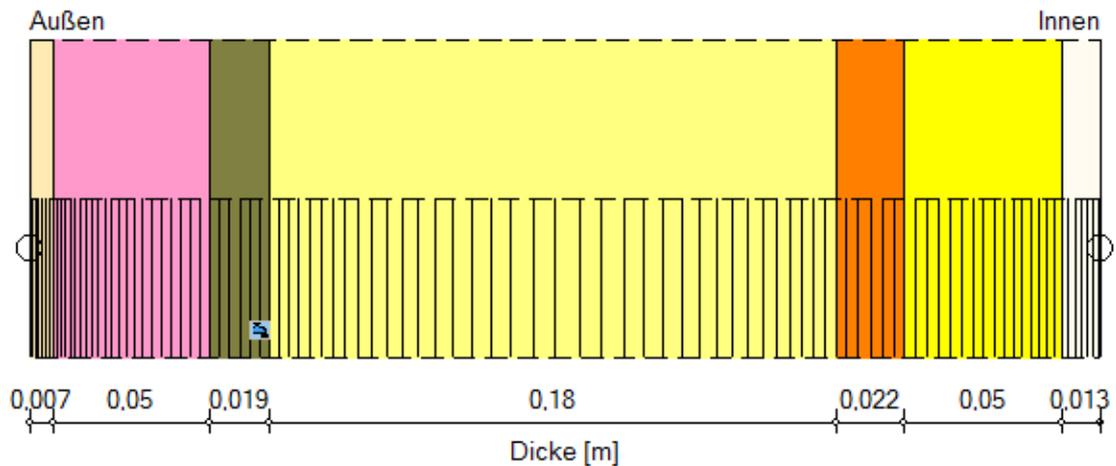
Kleines Gebäude, Höhe bis 10m

Rechenverlauf

Beginn/Ende der Rechnung

5. Jahre; Beginn 1. Oktober

Bauteilaufbau



○ - Monitorpositionen

🔥/❄️ - Position von Wärme-/Feuchte-Quellen/Senken

Materialien:

	- Mineralischer Außenputz (w-Wert: 0,1 kg/m ² h ^{0,5})	0,007 m
	- EPS (Wärmeleit: 0,04 W/mK - Dichte: 15 kg/m ³)	0,05 m
	- Spanplatte V100	0,019 m
	- ISOVER GW Integra ZKF - 032	0,18 m
	- AGEPAN OSB/3 PUR, 12 mm	0,022 m
	- Mineralfaser (Wärmeleit: 0,04 W/mK)	0,05 m
	- Gipskartonplatte	0,013 m

Gesamtdicke: 0,341 m

Wärmedurchlasswiderstand: 8,49 (m² K)/W

U-Wert 0,114 W/(m² K)

Abbildung 53: Aufbau des Bauteils in WUFI, Beispiel 3

Anfangswassergehalt der Schichten (Typische Einbaufeuchte):

Mineralischer Außenputz	210	[kg/m ³]
EPS	1,787	[kg/m ³]
Spanplatte V 100	110	[kg/m ³]
Isover GW Integra ZKF 032	0,82	[kg/m ³]
Agepan OSB/3 PUR, 12mm	85,6	[kg/m ³]
Mineralfaser	1,787	[kg/m ³]
Gipskartonplatte	6,3	[kg/m ³]

Feuchtequellen

i. Infiltrationsquelle: Berücksichtigung der Dampfkonvektion infolge von Leckagen gemäß ÖNORM 3802-2 (siehe Tabelle 19). Dabei wurden folgende Parameter angenommen:

- Luftdichtheitsklasse B
- Höhe des zusammenhängen Raumluftvolumens: 3 m
- zu erwartende Tauwasserebene/Position der Feuchtequelle: Spanplatte V 100

[38]

ii. Schlagregen: Die Schlagregenquelle kann hinter dem Wärmedämmverbundsystem angesetzt werden, um kritische Positionen zu berücksichtigen (z.B. unter Fensterlaibung) und entspricht einen Wert von 1% des Schlagregens. Wird hier aber nicht simuliert, da es in keiner ÖNORM vorgeschrieben wird.

[39]

Materialkennwerte:

Tabelle 45: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 3

Kennwert	Einheit	Miner. Putz	EPS	Spanplatte	Isover-GW	Agepan-OSB/3	Mineralfaser	Gipsplatte
Rohdichte	[kg/m ³]	1900	15	620	32,5	616	60	850
Porosität	[m ³ /m ³]	0,24	0,95	0,78	0,95	0,52	0,95	0,65
Wärmekapazität trocken	[J/kg K]	850	1500	1400	840	2100	850	850
Wärmeleitfähigkeit trocken, 10°C	[W/m K]	0,8	0,04	0,12	0,032	0,13	0,04	0,20
Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl	[-]	25	30	44	1	44	1,3	8,3
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Temp.	[W/m K ²]	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	[W/m K]	----	----	0,13	----	0,13	----	----
Bezugsfeuchtigkeit	[kg/m ³]	45	----	----	----	----	----	----
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	210	----	----	----	----	----	----
Wasseraufnahmekoeffizient	kg/(m ² s ^{0,5})	0,00167	----	----	----	----	----	----
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Feuchte	[%/M.-%]	8	----	1,5	----	1,5	----	8

- Mineralischer Außenputz

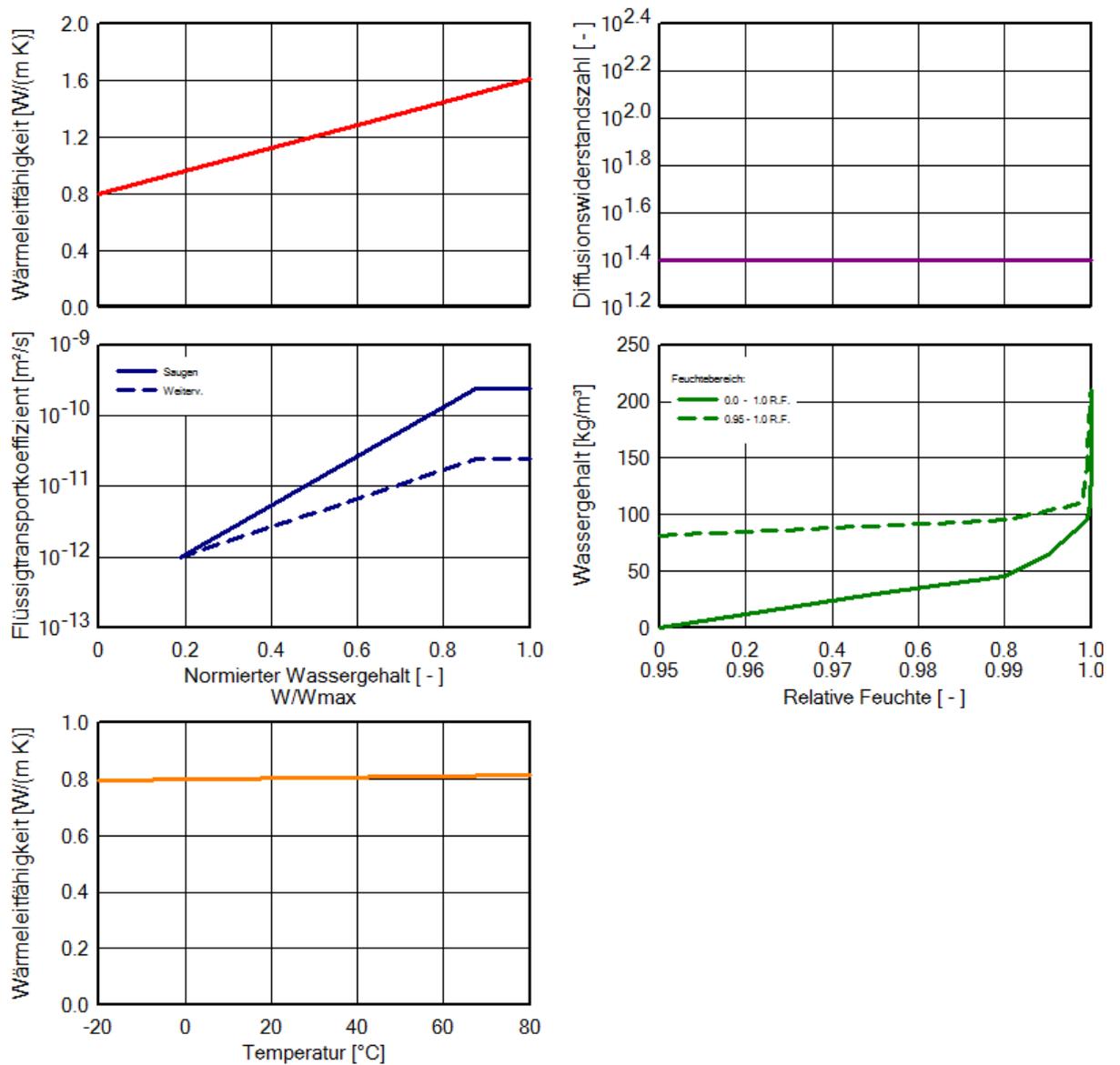


Abbildung 54: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „mineralischer Außenputz“ [32]

- EPS-Dämmung

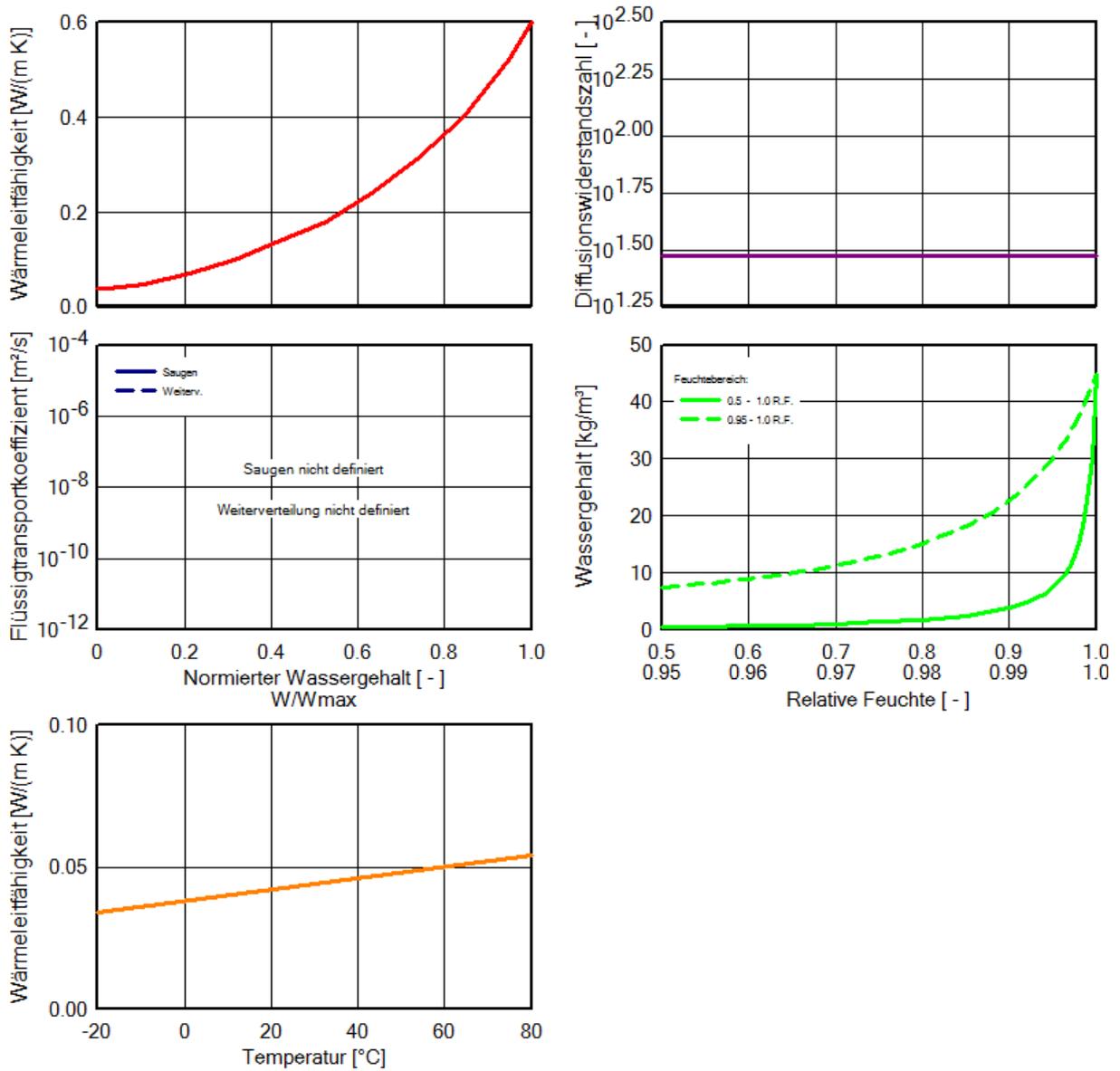


Abbildung 55: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „EPS-Dämmung“ [32]

- Spanplatte V 100

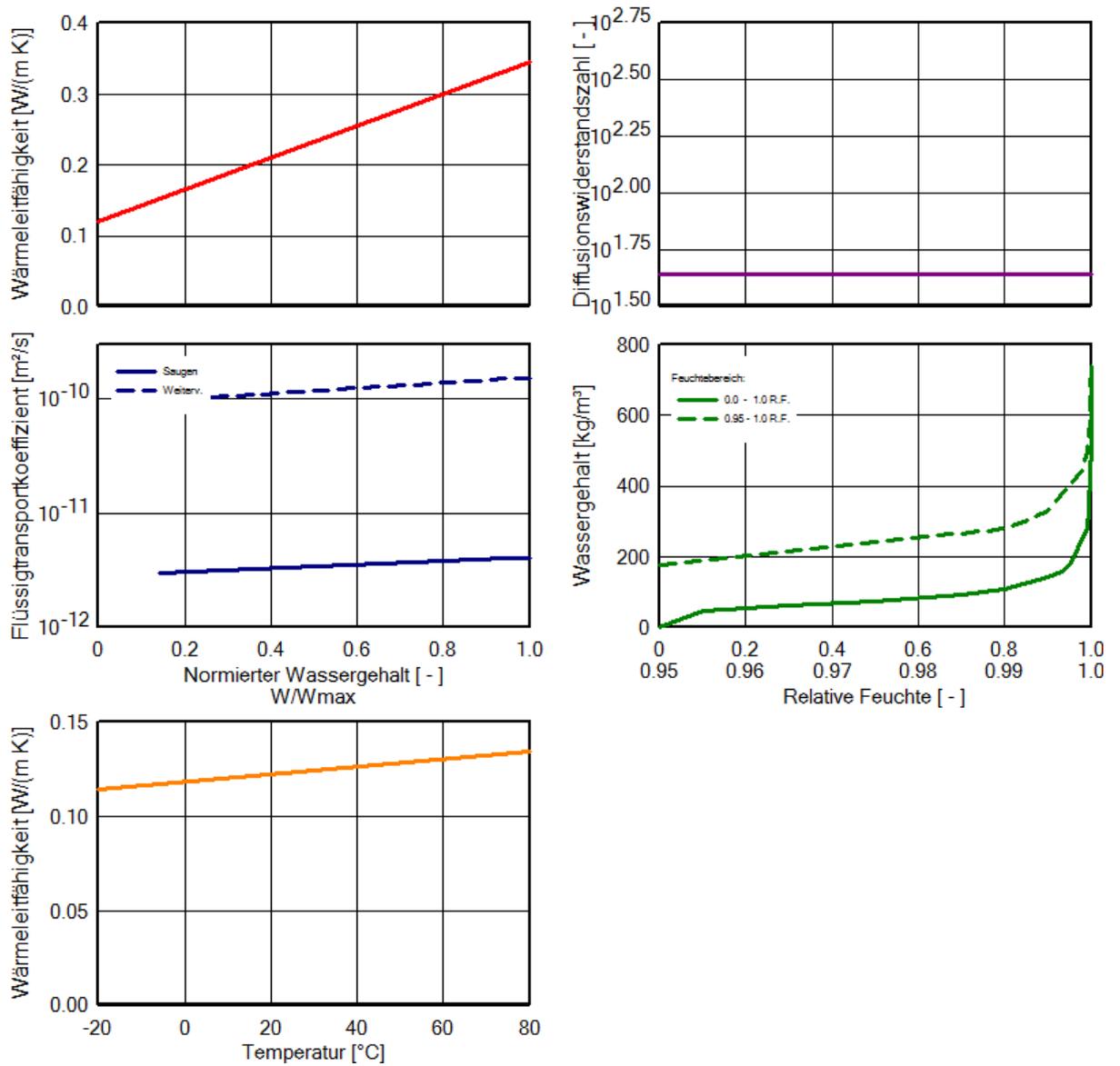


Abbildung 56: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Spanplatte V 100“ [32]

- Isover GW Integra ZWF 032

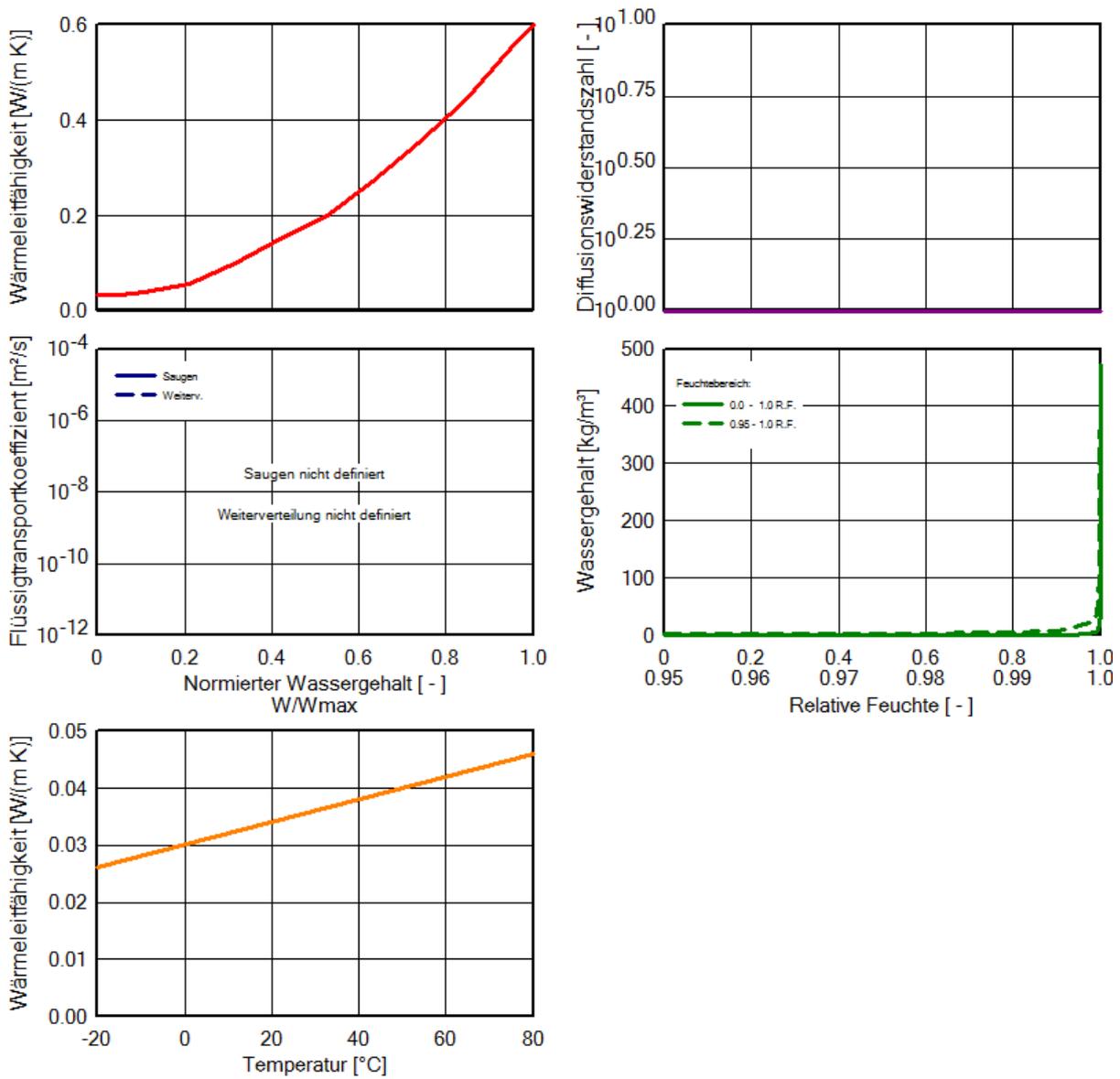


Abbildung 57: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Isover GW Integra ZWF 032“ [32]

- Agepan OSB/3 PUR

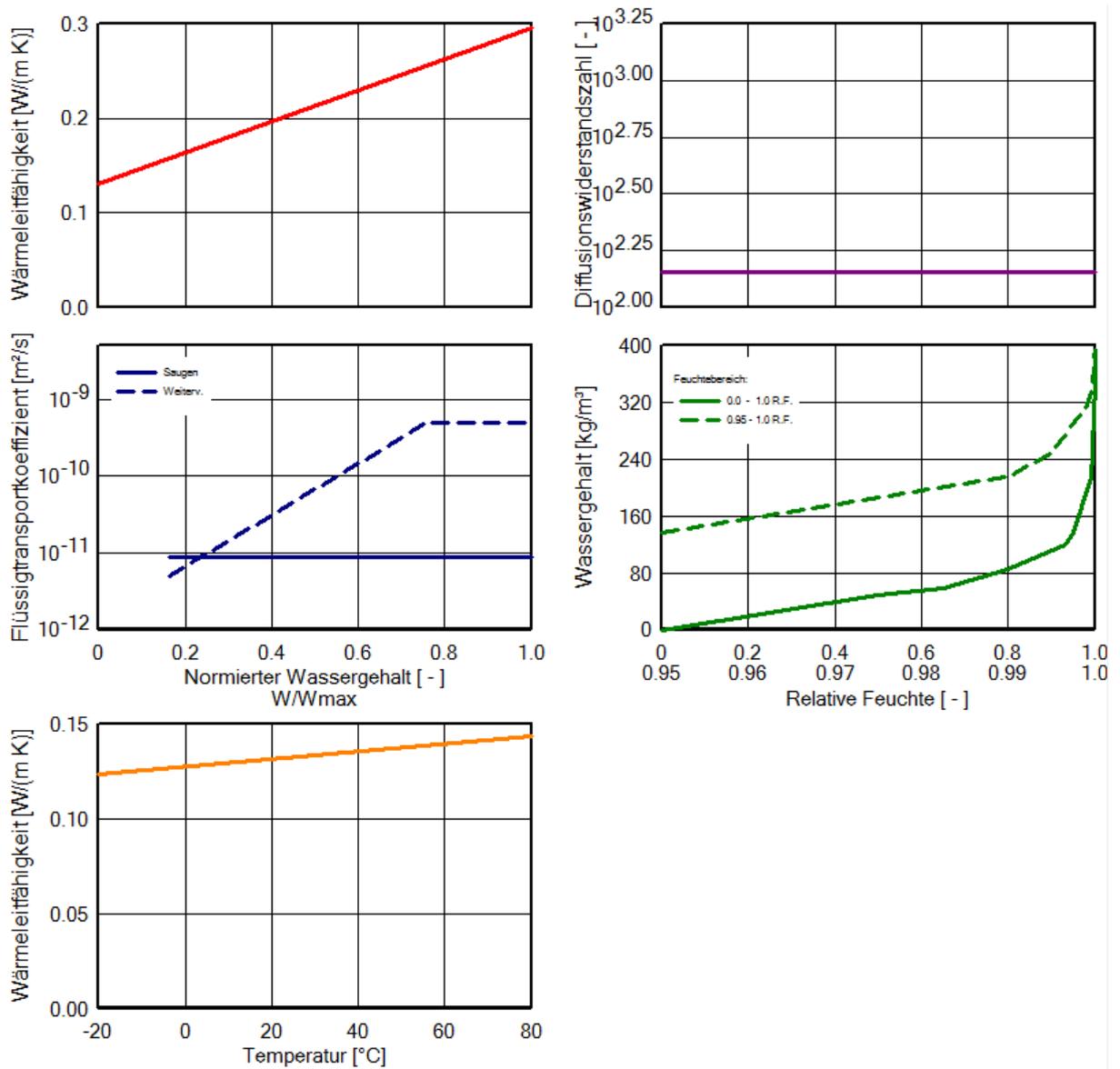


Abbildung 58: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Agepan OSB/3 PUR“ [32]

- Mineralfaser

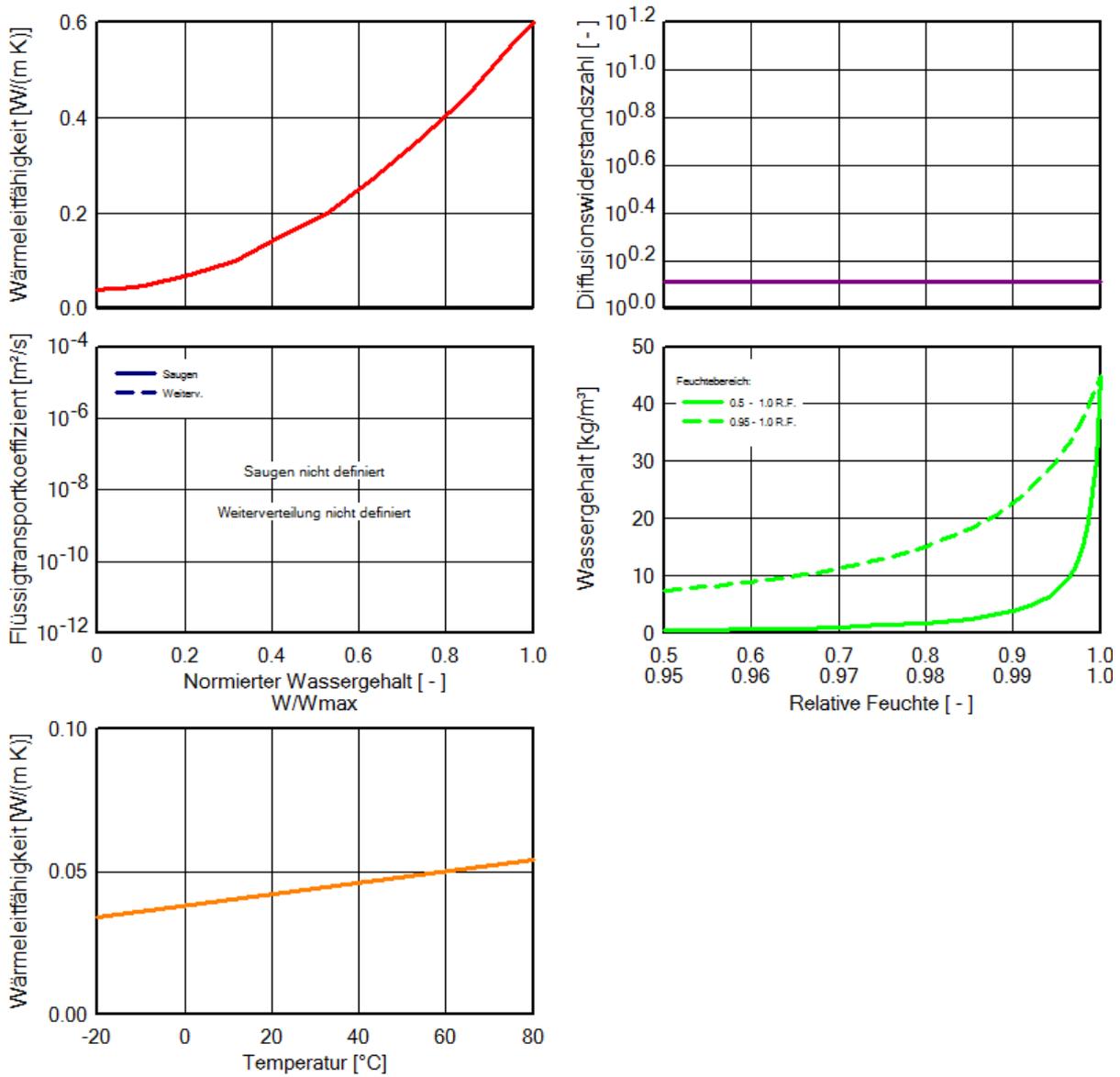


Abbildung 59: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Mineralfaser“ [32]

- Gipskartonplatte

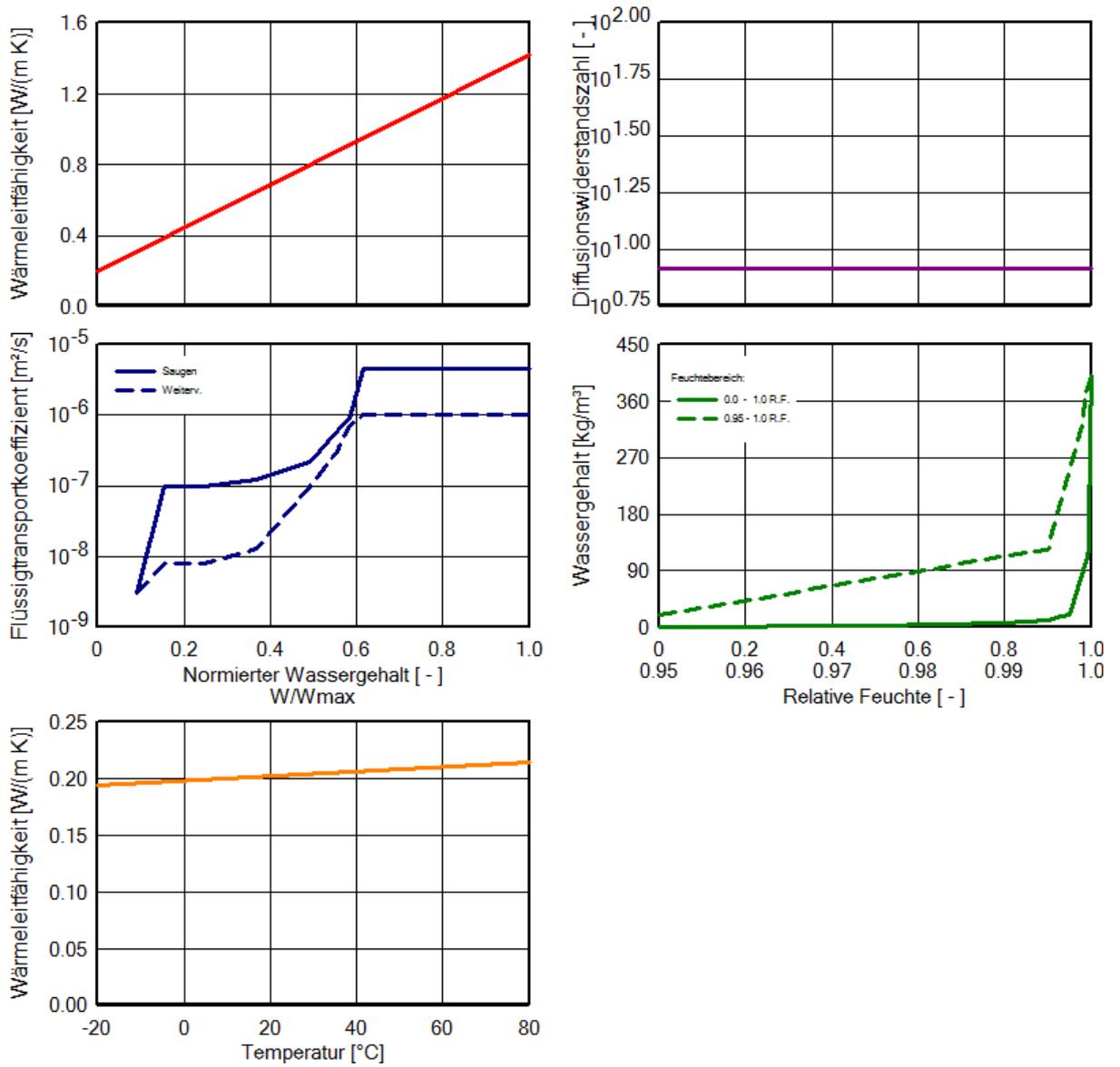


Abbildung 60: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Gipskartonplatte“ [32]

4.9.3 Ergebnis der Berechnung

Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt im Bauteil über den Berechnungszeitraum wird in folgender Abbildung dargestellt:

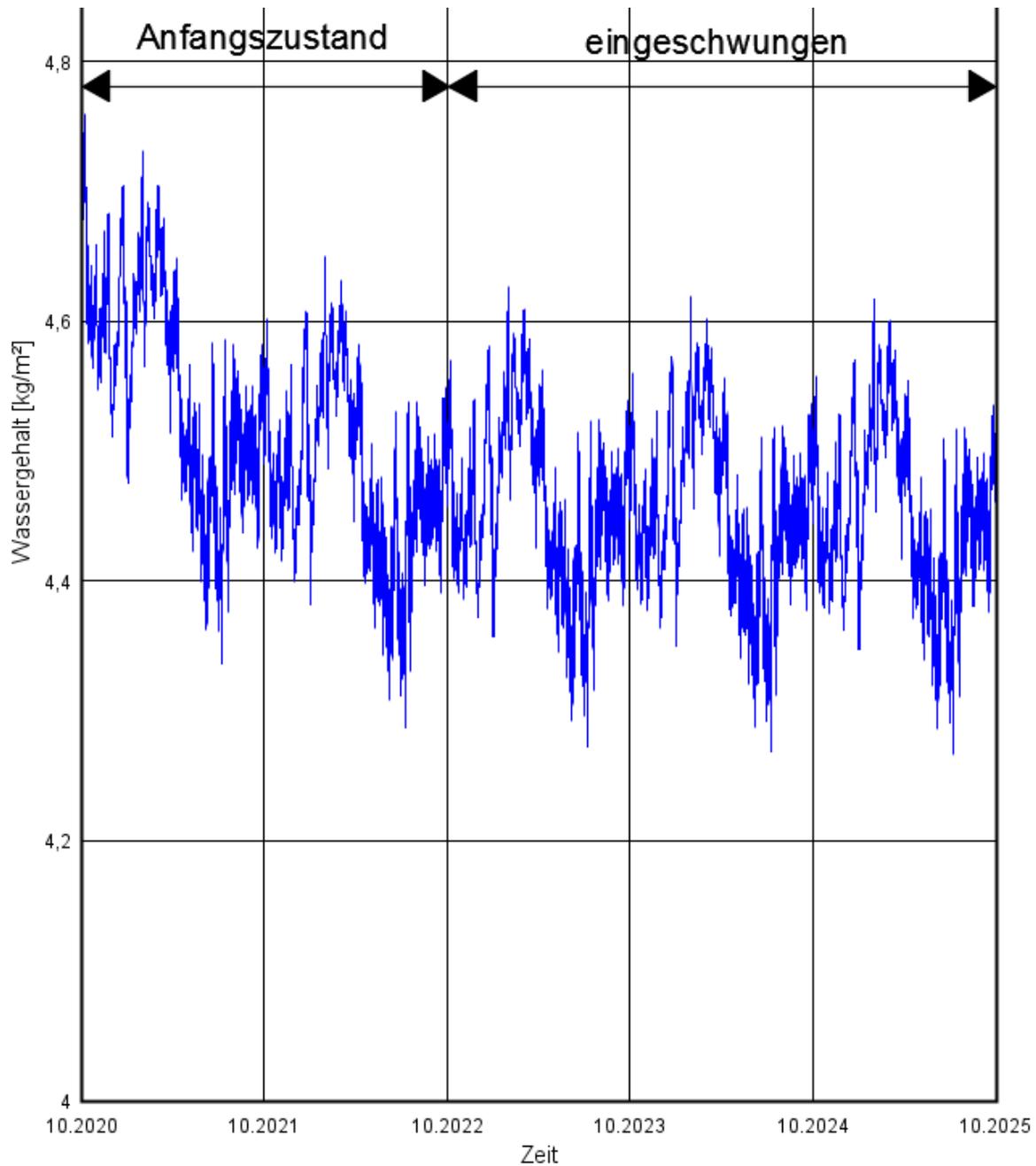


Abbildung 61: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 3

Hier wird ersichtlich, dass die Anfangsfeuchte sinkt und sich dann ein periodischer Verlauf über die Winter- und Sommermonate einpendelt. Die Ergebnisse dieser Abbildung in Zahlen entsprechen den Werten:

Tabelle 46: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 3

Wassergehalt [kg/m²]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	4,69	4,48	4,27	4,76

Die Werte zeigen, dass sich der Gesamtwassergehalt im Bauteil um 0,42 [kg/m²] verringert. Der Gesamtwassergehalt fällt und ist eingeschwungen, somit wird folgend der Wassergehalt in den einzelnen Schichten und kritischen Positionen untersucht (siehe Abbildung 16).

Wassergehalt in den einzelnen Schichten

Der Wassergehalt der einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum wird in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 47: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 3

Wassergehalt in den einzelnen Schichten [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Mineralischer Außenputz	45,00	49,13	28,45	66,73
EPS	1,79	1,85	1,10	2,70
Spanplatte V 100	110,00	112,23	105,91	148,66
ISOVER GW Interga ZKF- 0,32	0,82	0,77	0,65	0,86
AGEPAN OSB/3 PUR, 12mm	85,60	74,42	52,47	85,60
Mineralfaser	1,79	1,35	0,67	1,94
Gipskartonplatte	6,30	5,67	4,38	7,56

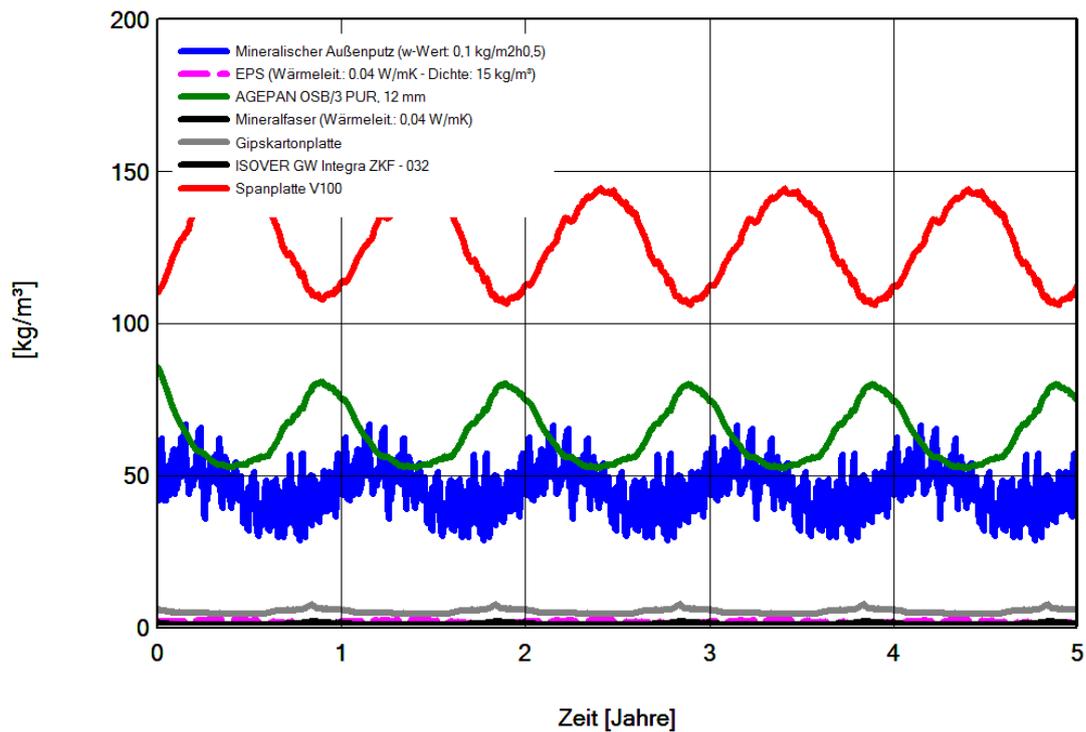


Abbildung 62: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 3

Abbildung 62 und Tabelle 47 zeigen, dass der Wassergehalt der Schicht „Spanplatte V100“ über die Anfangsfeuchte hinaus ansteigt und am Ende der Berechnung mit einem Wert von $112,23 \text{ [kg/m}^3]$ über dem Anfangswert von $110 \text{ [kg/m}^3]$ liegt; dies deutet auf eine zu hohe Holzfeuchtigkeit hin und muss dahingehend überprüft werden. Die Schicht „Agepan OSB/3 PUR“ sollte auch vorsichtshalber überprüft werden. Die Kurve sinkt zwar unterhalb der Anfangsfeuchte und der Wert am Ende der Berechnung ist auch geringer als der Anfangswert, trotzdem kann es sein, dass die zugelassene Holzfeuchtigkeit überschritten wird. Ansonsten deutet nichts auf Probleme in anderen Schichten hin, diese werden aber trotzdem untersucht (z.B. Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei feuchteunempfindlichen Dämmstoffen).

4.9.4 Bewertung der Ergebnisse

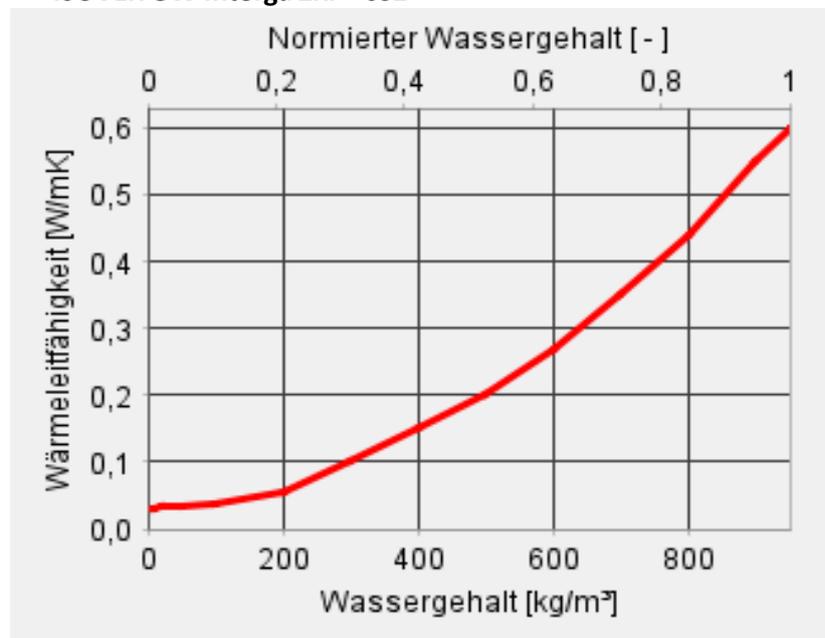
Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei feuchteunempfindlichen Dämmstoffen

Die Feuchteaufnahme von feuchteunempfindlichen Dämmstoffen (z.B. Hartschaum oder Mineralfaser) durch Diffusion kann zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führen. Diese Abhängigkeit ist bei den Materialkennwerten hinterlegt (siehe Abbildung 57, rote Linie) und wird wie folgt ausgewertet:

Tabelle 48: Wärmeleitfähigkeit der Schicht (ISOVER GW Interga ZKF-0,32), feuchteabhängig, Beispiel 3

ISOVER GW Interga ZKF - 032

Nr.	Wassergeh. [kg/m ³]	Wärmeleit. [W/mK]
1.	0	0,0320
3.	10	0,0320
4.	20	0,0330
5.	50	0,0340
6.	100	0,0390
7.	200	0,0560
8.	300	0,1000
9.	400	0,1500
10.	500	0,2000
11.	600	0,2700
12.	700	0,3500
13.	800	0,4400
14.	900	0,5500
15.	950	0,6000



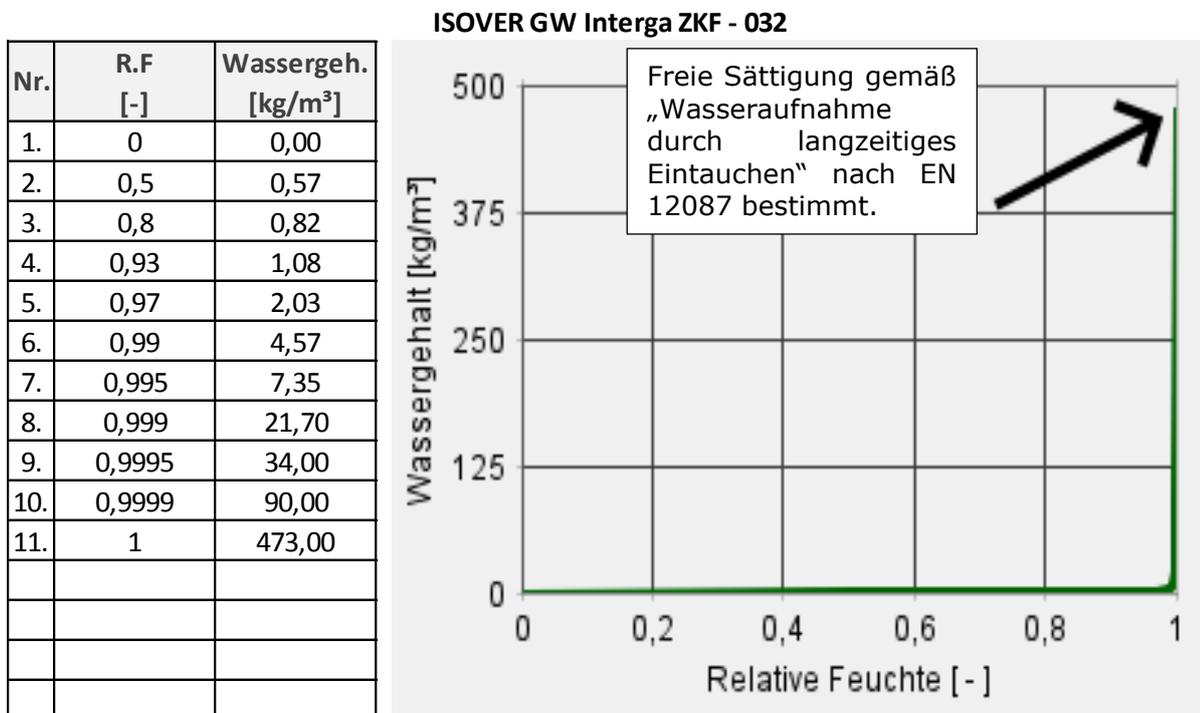
Die Tabelle 48 zeigt die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit [W/m K] in Abhängigkeit von dem Wassergehalt [kg/m³] der Schicht Isover GW Integra ZKF. Bei der Betrachtung des Wassergehaltes in der Schicht über den Berechnungszeitraum (siehe Tabelle 47) ist ersichtlich, dass der maximale Wassergehalt einen Wert von 0,86 [kg/m³] aufweist; dieser Wert ist zu viel gering für eine entscheidende Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Somit ist eine Verringerung des Wärmeschutzes um mehr als 10% ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.5).

Ablaufendes Tauwasser

Die kritische Position für ablaufendes Tauwasser ist der Bereich zwischen Dämmung/Spanplatte V 100. Da hier der Wasserdampf, der durch das Bauteil strömt nach der Dämmung auf eine kalte Oberfläche trifft und kondensieren könnte. Eine Tauwasserbildung auf der kalten Seite der Dämmung könnte die Folge sein. In diesem Bereich wird der Wassergehalt einer 1 mm dicken Schicht der Dämmung untersucht, da die freie Sättigung der Dämmung bekannt ist. Wenn die freie Sättigung der Dämmung nicht bekannt ist, dann muss eine 1 cm dicke Schicht untersucht werden (siehe Abbildung 17). [4]

Die gemessene freie Sättigung ist bei den Materialkennwerten der Dämmung angeführt und entspricht:

Tabelle 49: gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „ISOVER GW Integra ZKF -032“ [32]



Die Tabelle 49 stellt die gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „ISOVER GW Interga ZKF-032“ dar. Sie setzt sich messtechnisch aus Sorptionsisothermen (bis $\approx 0,9$ r.F.) und Saugspannungsmessungen (bis $\approx 0,95$ r.F.) zusammen. [33] Ungebundenes flüssiges „Tauwasser“ kann erst auftreten, wenn die freie Sättigung erreicht wird. [4]

Der Wassergehalt in der 1 mm dicken Schicht der Dämmung entspricht:

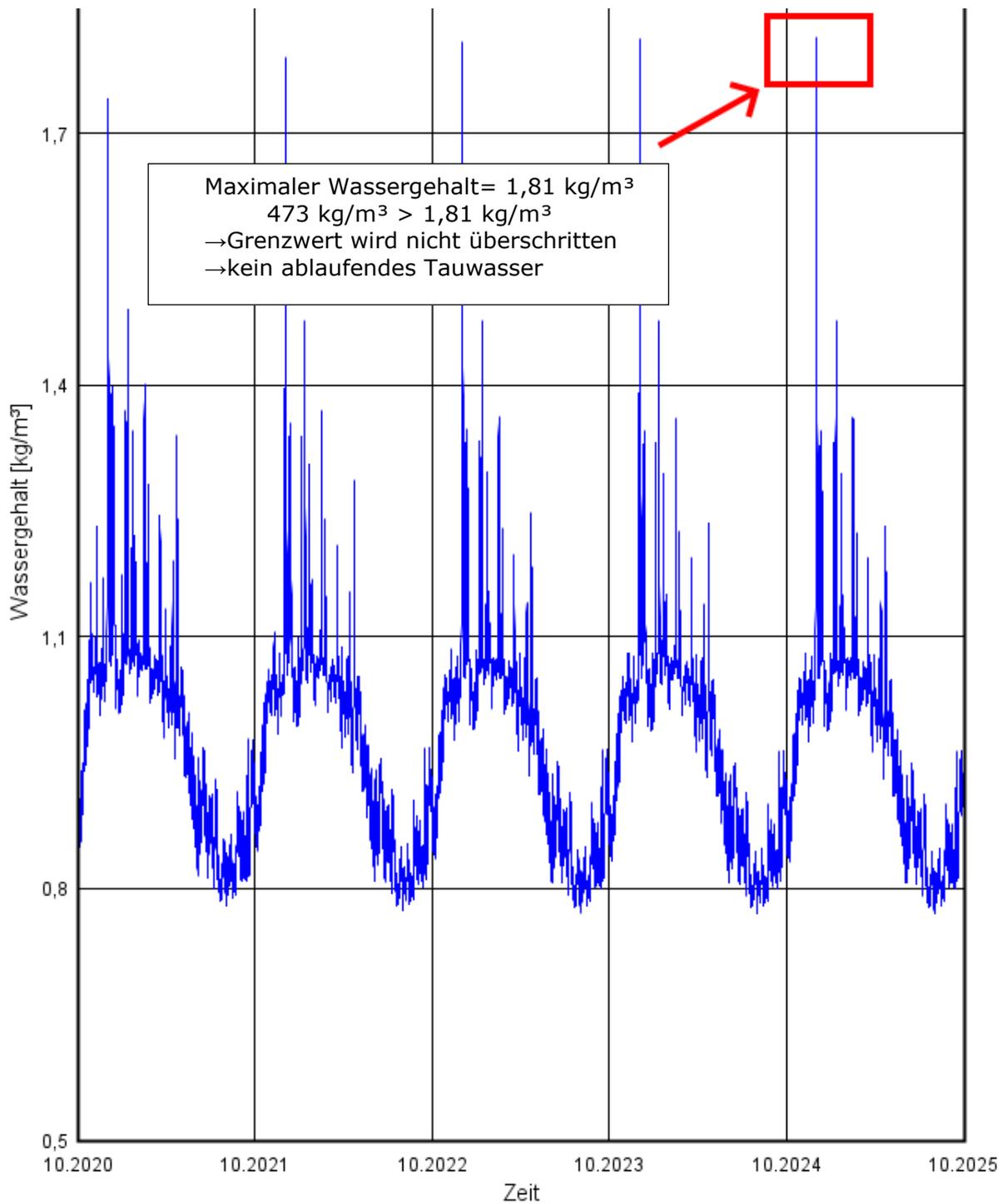


Abbildung 63: Wassergehalt der 1 mm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 3

Aus der Abbildung 63 ist ersichtlich, dass der Grenzwert der freien Sättigung nicht überschritten wird. Ablaufendes Kondensat kann ausgeschlossen werden.

Risiko der Holzfäule

Die kritische Schicht in Bezug auf die Holzfäule ist in diesem Beispiel die äußere Bepunktung der Holzriegelwand, die Spanplatte V100. Wenn man den Feuchtegehalt der Schicht betrachtet, stellt man fest, dass die Obergrenze von 18% (siehe Kapitel 4.9.1) über einen langen Zeitraum bei weitem überschritten wird (siehe Abbildung 64). Der Anfangsfeuchtegehalt der Schicht beginnt bei 17,47% (also relativ hoch) und steigt über den Berechnungszeitraum weiter an. Somit ist von einem Befall von holzerstörenden Pilzen auszugehen.

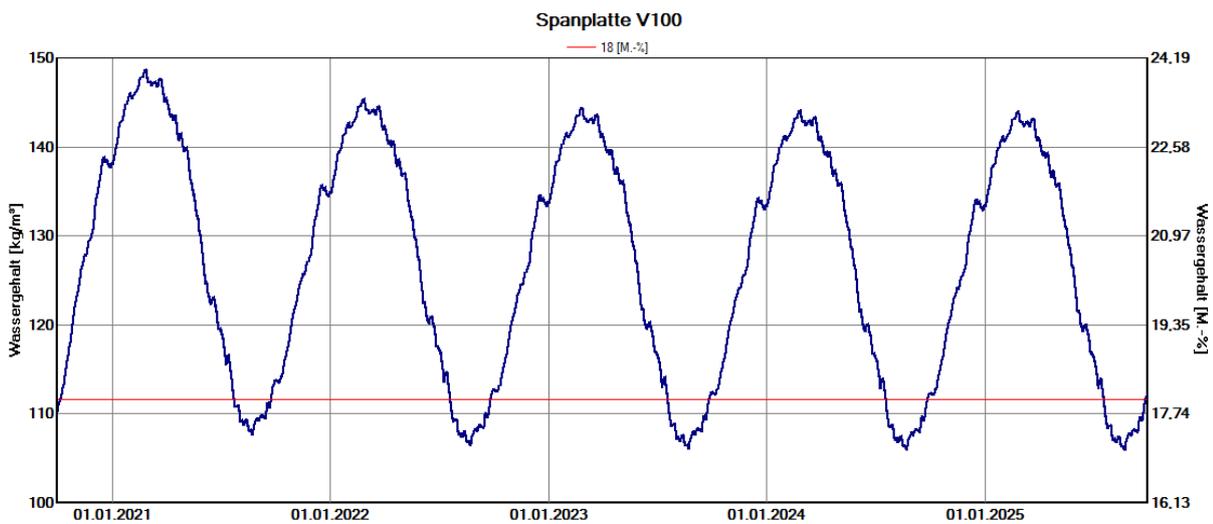


Abbildung 64: Holzfeuchtigkeit der Schicht „Spanplatte V100“

Zusätzlich wird auch noch die Schicht Agepan OSB/3 PUR auf die Holzfeuchtigkeit untersucht:

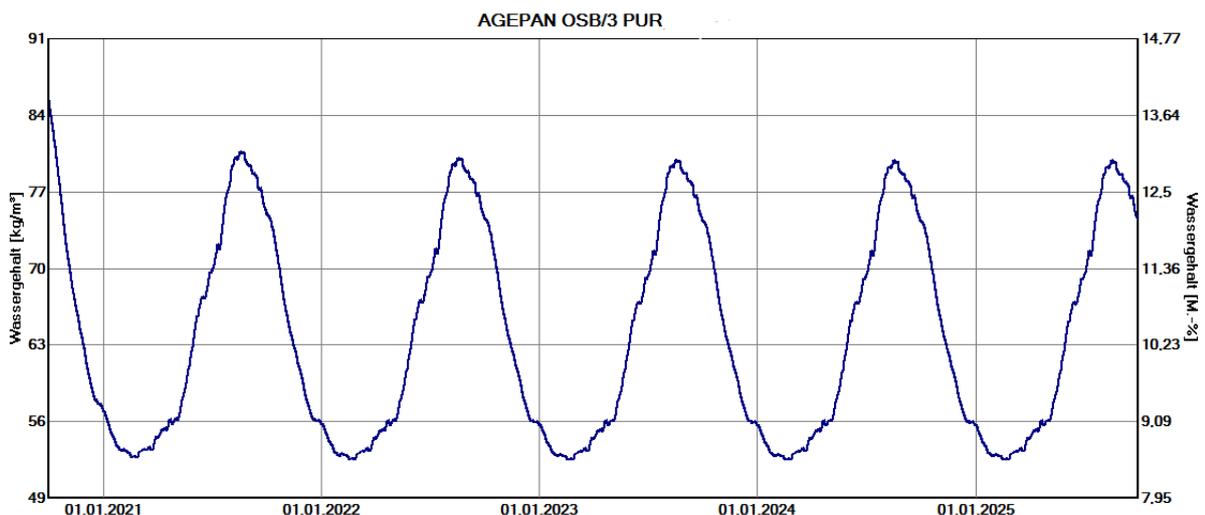


Abbildung 65: Holzfeuchtigkeit der Schicht „AGEPAN OSB/3 PUR“

Der Anfangsfeuchtegehalt der Schicht beginnt bei 13,64% und sinkt während dem Berechnungszeitraum (siehe Abbildung 65); es ist somit von keinem Befall von holzerstörenden Pilzen auszugehen.

Schimmelpilzwachstum

Die Bewertung des Schimmelpilzrisikos wird gemäß den im Kapitel 4.6.3 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

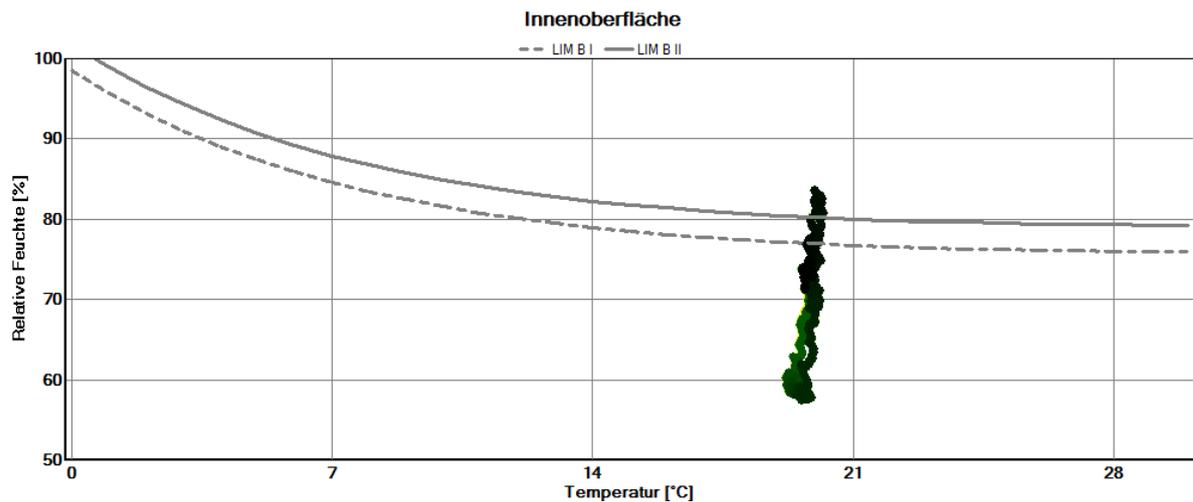


Abbildung 66: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 3

Die Innenoberfläche besteht aus einer Gipskartonplatte, um einen schlechteren Fall darzustellen, wird davon ausgegangen, dass die Wände tapeziert werden. Somit ist die LIM B I-Grenzlinie für die Beurteilung relevant. Die Abbildung 66 zeigt, dass die LIM B I-Grenzlinie am Berechnungsende (schwarzer Farbverlauf) überschritten wird. Bei Überschreitung hängt das Risiko von Ausmaß und Dauer der Überschreitung ab. Folglich ist das Risiko des Schimmelbefalls als sehr niedrig einzuschätzen, da die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung gering sind.

Das Beispiel wird zusätzlich mit WUFI-BIO berechnet, um den Schimmelbefall garantiert ausschließen zu können:

Eingabe:

- Anfängliche rel. Feuchte der Spore: 0,5 [-] (empfohlen)
- Substratklasse I

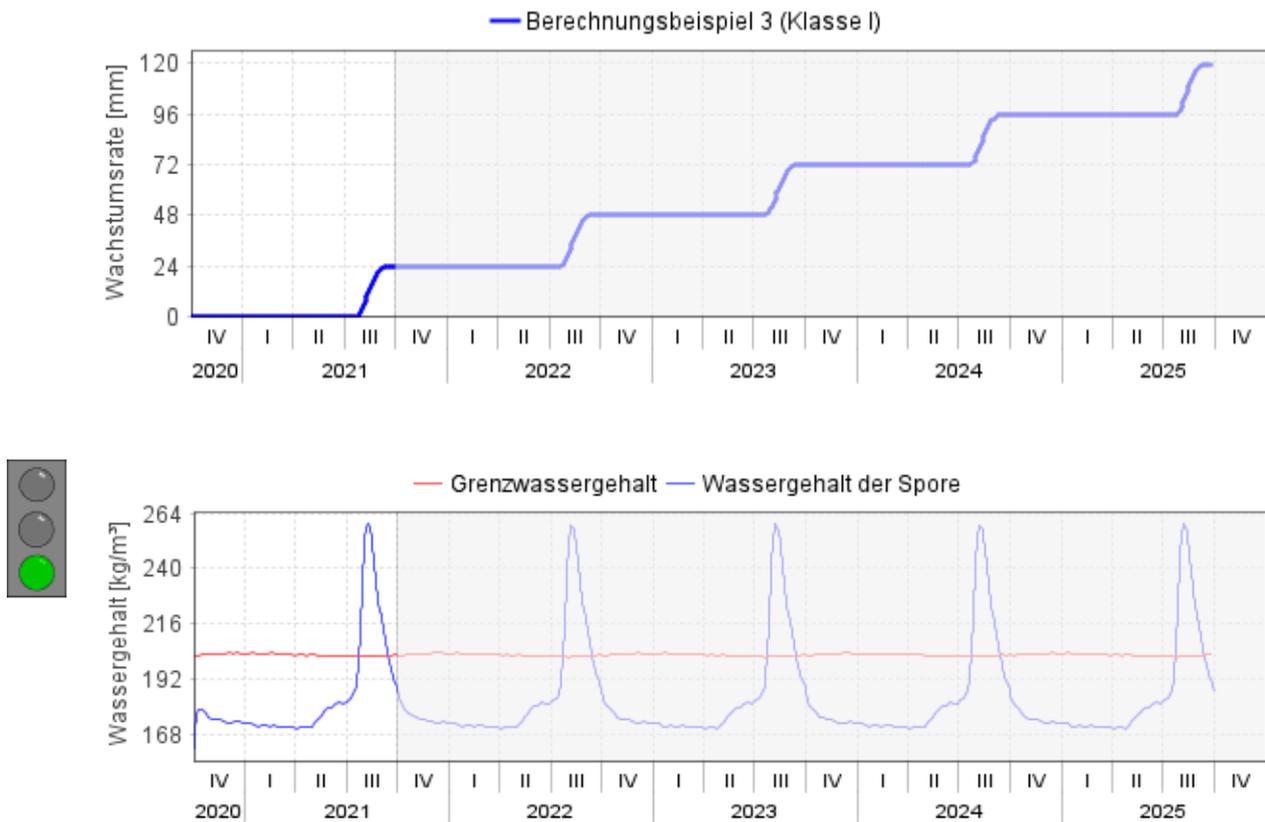


Abbildung 67: Wassergehalt der Spore [kg/m³] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 3

Aus der Abbildung 67 ist ersichtlich, dass der Grenzwassergehalt im dritten Quartal jedes überschritten wird. Durch die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung kommt es zu einer Wachstumsrate pro Jahr von:

- In jedem Jahr: 24[mm/Jahr] und einen Mould-Index von 0,05

Ein Schimmelbefall kann somit ausgeschlossen werden. Aufgrund der Tatsache, dass kein Schimmelbefall an der Oberfläche auftritt, kann man auch Kondensat an der Oberfläche ausschließen, da dies der noch schlechtere Fall wäre.

4.9.5 Abschließende Bewertung

Die folgenden Kriterien an die Berechnung wurden erfüllt:

Tabelle 50: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 3

	Kriterium	Bewertung
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering	✓
	Wenige oder keine Konvergenzfehler	✓
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt eingeschwungen?	✓
	Tauwasser in der Dämmebene?	✓
	Erhöhung des mittleren Wärmestroms aufgrund von Feuchtezunahme	✓
	Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach ÖNORM B 3802-2)	x
	Schimmelbefall/Kondensat an Oberfläche	✓

Da der Feuchtigkeitsgehalt in der Spanplatte die Obergrenze von 18% über einen längeren Zeitraum übersteigt, muss man von einem Befall von holzerstörenden Pilzen ausgehen. Die Anforderungen an das Bauteil gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 werden somit nicht erfüllt und der Nachweis wird negativ beurteilt (siehe Kapitel 4.5).

4.9.6 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003

Randbedingungen:

Außen

Klima: Graz; Universität
 Wärmeübergangskoeffizient: 0,04 [m² K/W]

Innen

Innenklima: EN 13788
 Feuchteklasse 3 & 4; Temperatur 20 °C
 Wärmeübergangswiderstand 0,25 [m² K/W]

Materialkennwerte:

Die Materialkennwerte für die einzelnen Schichten wurden aus der ÖNORM B 8110-7 entnommen:

Tabelle 51: Materialkennwerte lt. ÖNORM B 8110-7, Beispiel 3

Material (Innen nach Außen)	d [cm]	μ	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	Diff. Widerstand [m]	R [m ² K/W]
Gipskartonplatte (ÖNORM B 8110-7)	1,25	4	0,270	800	0,05	0,046
Glaswolle MW(GW)-W (15 kg/m ³) (ÖNORM B 8110-7)	5,00	1	0,040	40	0,05	1,250
Agepan OSB-3 (techn. Datenblatt)	2,20	150	0,130	600	3,30	0,169
Steinwolle MW(GW)-W (15kg/m ³) (ÖNORM B 8110-7)	18,00	1	0,040	40	0,18	4,500
Spanplatte P3 V100 (ÖNORM B 8110-7)	1,90	50	0,130	650	0,95	0,146
EPS-F (ÖNORM B 8110-7)	5,00	60	0,040	15,8	3,00	1,250
+Klebspachtel+Textilglasgitter (ÖNORM B 3346)	0,50	35	0,910	1700	0,18	0,005
+Silikatputz (ÖNORM B 3346)	0,20	35	0,910	1700	0,07	0,002

Die Werte der OSB-Platte stammen aus einem technischen Datenblatt. [40]

Ergebnis der Berechnung

Die Ergebnisse der Berechnung gemäß ÖNORM EN ISO 13788 sind folgende:

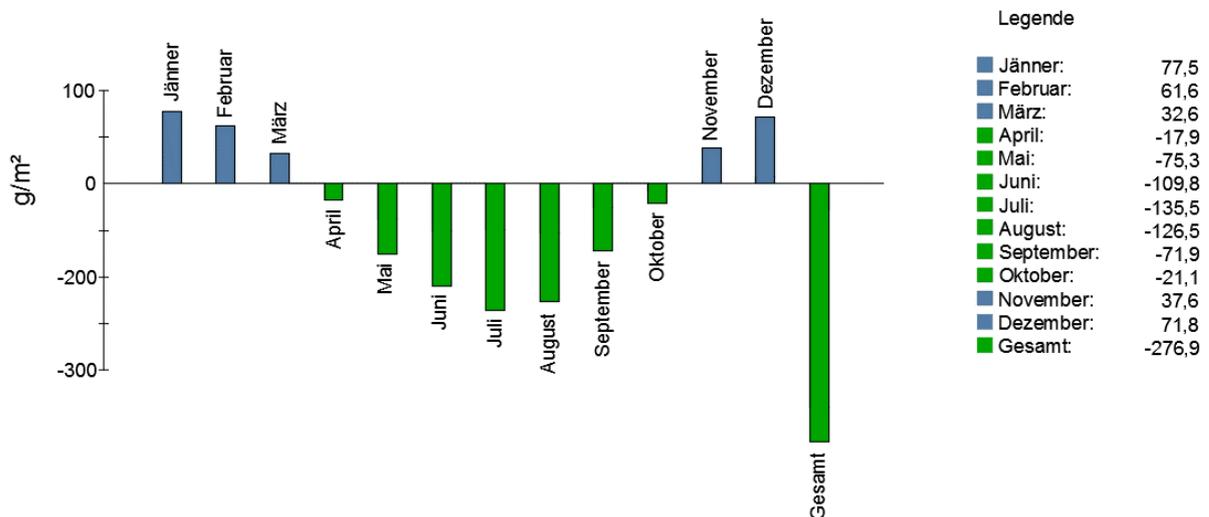


Abbildung 68: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchteklasse 4, Beispiel 3

Die Abbildung 68 zeigt, dass über die Wintermonate eine Kondensatmenge von 281 g/m² entsteht, welche kleiner ist als die zulässige Menge von 500 [g/m²] und in den Sommermonaten wieder verdunsten kann. Es kommt zur Tauwasserbildung an der Grenzfläche Steinwolle MW/Spanplatte V 100. Da dieses Bauteil aus Holz besteht, muss auch überprüft werden, ob es zu einer Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes kommt, welche zu einer Schädigung des Holzes führt. Die ÖNORM B 8110-2:2003 fordert, dass die massebezogene Feuchtigkeit des Baustoffes unter 3% liegen muss (siehe Kapitel 4.4).

Die Berechnung der zulässigen Kondensatmenge zur Vermeidung einer massebezogenen Feuchtigkeit über 3% ergibt:

Tabelle 52: zulässige Kondensatmenge für Spanplatte V 100 für die Feuchteklasse 4, Beispiel 3

Nachweis ÖNORM B 8110-2 Punkt 8.3: Holz- und Holzwerkstoffe						It.ÖNORM B 8110-2: 2003	
Holzdicke	Rohdichte	Flächendichte		Gewichtsprozent	zul. Kondensat		vorh. Kondensat
[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[g/m ²]	[%]	[g/m ²]		[g/m ²]
0,019	650	12,35	12350	3	370,5	281	
Nachweis für Holz:						NW erfüllt	

Aus Tabelle 52 ist ersichtlich, dass die zulässige Kondensatmenge von 370,5 g/m² unterschritten wird, ein Pilzbefall ist daher auszuschließen. Somit erfüllt dieses Bauteil die Kriterien gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 (siehe Kapitel 4.4) und der Nachweis gilt als erfüllt.

Des Weiteren wird gemäß ÖNORM B 3802-2 für solche Bauteilaufbauten eine Trocknungsreserve von 250 g/m² (siehe Tabelle 19) gefordert; diese wird mit -276,9 g/m² eingehalten. Das Bauteil erfüllt somit die Nachweise in Bezug auf Kondensation im Inneren und wird positiv beurteilt.

Wenn man das Bauteil für die Feuchteklasse 3 berechnet, ist erkennbar, dass eine geringere Kondensatmenge entsteht (siehe Abbildung 69). Die über die Wintermonate entstehende Kondensatmenge von 143,3 [g/m²] ist kleiner als der zulässige Wert von 500 [g/m²] und kann über die Sommermonate vollständig verdunsten.

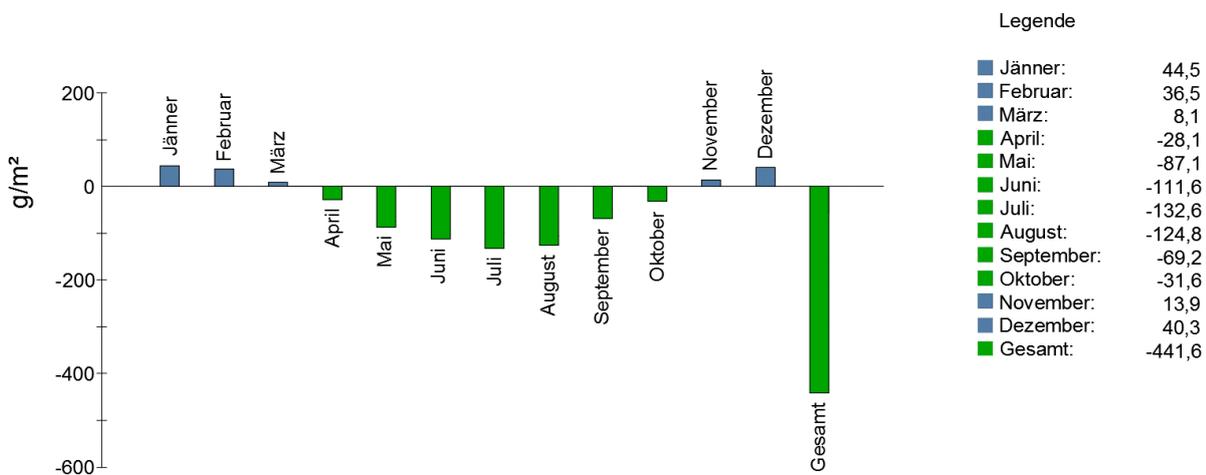


Abbildung 69: : Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchteklasse 3, Beispiel 3

Es kommt zur Tauwasserbildung an der Grenzfläche Steinwolle MW/Spanplatte V 100. Da dieses Bauteil aus Holz besteht, muss auch überprüft werden, ob es zu einer Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes kommt, welche zu einer Schädigung des Holzes führt. Die ÖNORM B 8110-2:2003 fordert, dass die massebezogene Feuchtigkeit des Baustoffes unter 3% liegen muss (siehe Kapitel 4.4).

Die Berechnung der zulässigen Kondensatmenge zur Vermeidung einer massebezogenen Feuchtigkeit über 3% ergibt:

Tabelle 53: zulässige Kondensatmenge für Spanplatte V 100 für die Feuchteklasse 3

Nachweis ÖNORM B 8110-2 Punkt 8.3: Holz- und Holzwerkstoffe						lt.ÖNORM B 8110-2: 2003	
Holzdicke	Rohdichte	Flächendichte		Gewichtsprozent	zul. Kondensat		vorh. Kondensat
[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[g/m ²]	[%]	[g/m ²]		[g/m ²]
0,019	650	12,35	12350	3	370,5	143,3	
Nachweis für Holz:						NW erfüllt	

Durch die geringere Feuchteklasse ist es schlüssig, dass dieses Bauteil auch für die Feuchteklasse 3 gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 und ÖNORM B 3802-2 positiv zu bewerten ist.

4.9.7 Vergleich der Ergebnisse

Wenn man die Ergebnisse der stationären und instationären Berechnung miteinander vergleicht, ist ersichtlich, dass das Bauteil unterschiedlich bewertet wird. Nach der instationären Berechnung wird die zulässige Holzfeuchtigkeit an der kritischen Schicht von 18% deutlich über einen längeren Zeitraum überschritten. Es muss daher von einem Pilzbefall bzw. einer Holzzersetzung ausgegangen werden und das Bauteil wird negativ bewertet, während die Anforderungen gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 mit einer massebezogenen Feuchtigkeit unter 3% an die kritische Schicht und gemäß ÖNORM B 3802-2 mit einer einzuhaltenden Trocknungsreserve von 250 [g/m²] an das Bauteil erfüllt werden. Das Bauteil wird somit nach ÖNORM B 8110-2:2020 negativ und nach ÖNORM B 8110-2:2003 positiv beurteilt. Dieses Beispiel zeigt, dass das Glaser-Verfahren in Bezug auf die Kondensat-Entstehung, durch die Nichtbeachtung der Feuchtespeicherfähigkeit der Dämmung zwar konservativ ist, die daraus abgeleiteten Beurteilungskriterien jedoch zu keiner konservativen Beurteilung hinsichtlich des Holzschutzes führen.

Bei der instationären Berechnung werden mehr Feuchtigkeitsquellen berücksichtigt, wie z.B. die Anfangsfeuchtigkeit der Baustoffe und die Infiltrationsquelle (durch Leckagen), während die stationäre Berechnung nur die Diffusion berücksichtigt und der Feuchteintrag über Leckagen und eine erhöhte Anfangsfeuchte der Baustoffe lediglich mit Sicherheitsfaktoren abgedeckt werden. Dies führt dann zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Beurteilung des Bauteils.

Tabelle 54: Zusammenfassung der Ergebnisse, Beispiel 3

Zusammenfassung der Ergebnisse: Beispiel 3							
Nr.	Berechnung nach:	Kondensat [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	Austrocknung [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	geeignet	Anmerkung
1.	ÖNORM B 8110-2:2003	143,3	137,7	557,9	27,1	Ja	für die Feuchtekategorie 3
2.	ÖNORM B 8110-2:2003	281		585		Ja	für die Feuchtekategorie 4
3.	ÖNORM B 8110-2:2020	---	---	---	---	Nein	für die Feuchtekategorie 3

4.10 Beispiel 4: Holzriegelwand mit Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene

Hier handelt es sich um einen nachweisfreien Aufbau lt. ÖNORM B 8110-2:2020 (siehe ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 8.2.11). Das bedeutet, für dieses Bauteil gilt schadenverursachendes Kondensat als vermieden und es müsste kein Nachweis erbracht werden. [1]

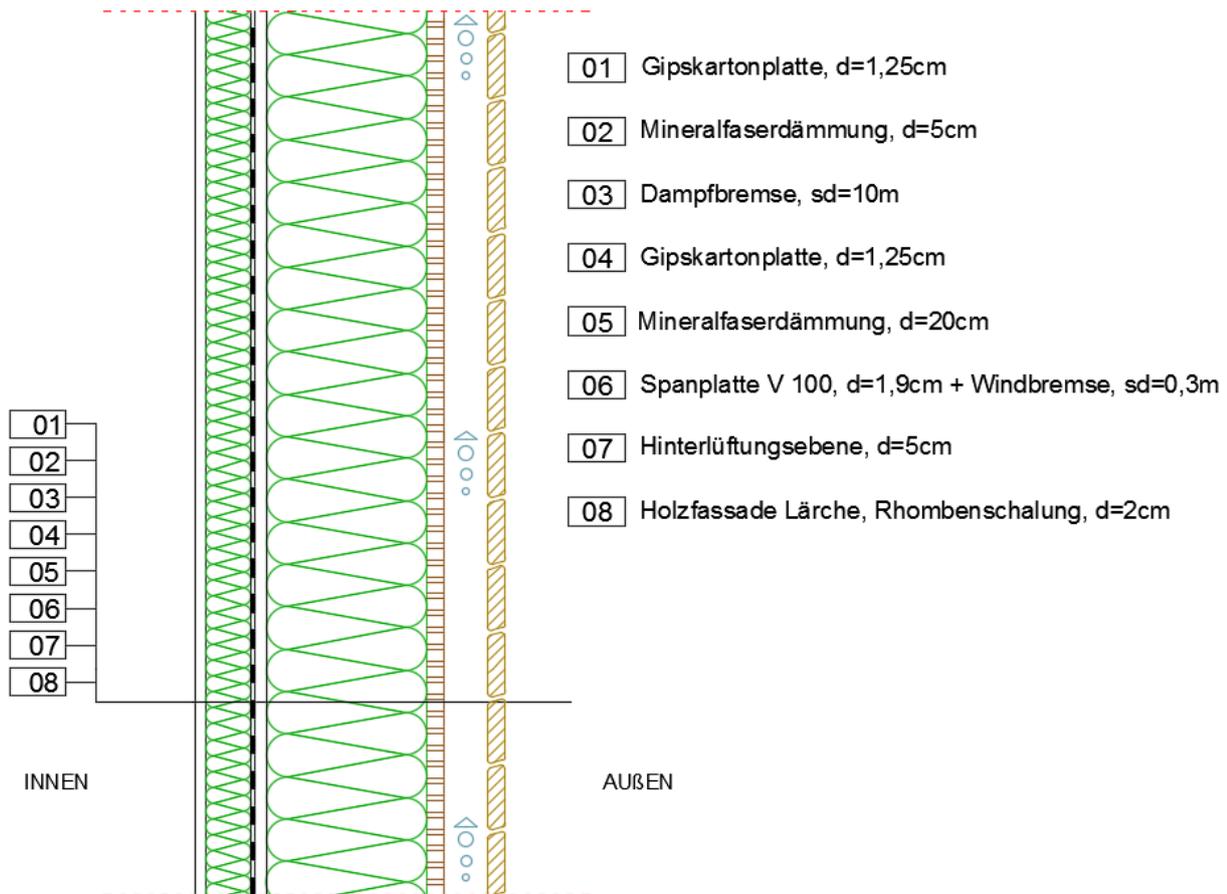


Abbildung 70: Holzriegelaußenwand, mit Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene

4.10.1 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2020

Da es sich bei diesem Beispiel um einen Holzriegelwand handelt, kann der Nachweis gemäß ÖNORM EN 15026 oder ÖNORM EN ISO 13788 (+ Ergänzungen) geführt werden (siehe Abbildung 1). Hier wird das Bauteil gemäß ÖNORM EN 15026 berechnet.

Randbedingungen

Außen

Klima:	Graz; Universität
Temperaturverschiebung:	0.0 °C
Orientierung/Neigung:	Nord/90°
Wärmeübergangskoeffizient:	0,04 [m ² K/W]

Innen

Innenklima:	EN 13788 Feuchtekategorie 3; Temperatur 20 °C
Wärmeübergangswiderstand	0,25 [m ² K/W]

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen

Tabelle 55: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 4

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand - beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,04 ja
sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[-]	----
Anhaftender Anteil des Regens	Gemäß Bauteilneigung	[-]	----
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen

Tabelle 56: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 4

Bezeichnung	Beschreibung	Einheit	Wert
Wärmeübergangswiderstand	ÖNORM B 8110-2	[m ² K/W]	0,25
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Keine Absorption/Emission	[m]	----

Höhe/Schlagregenkoeffizienten

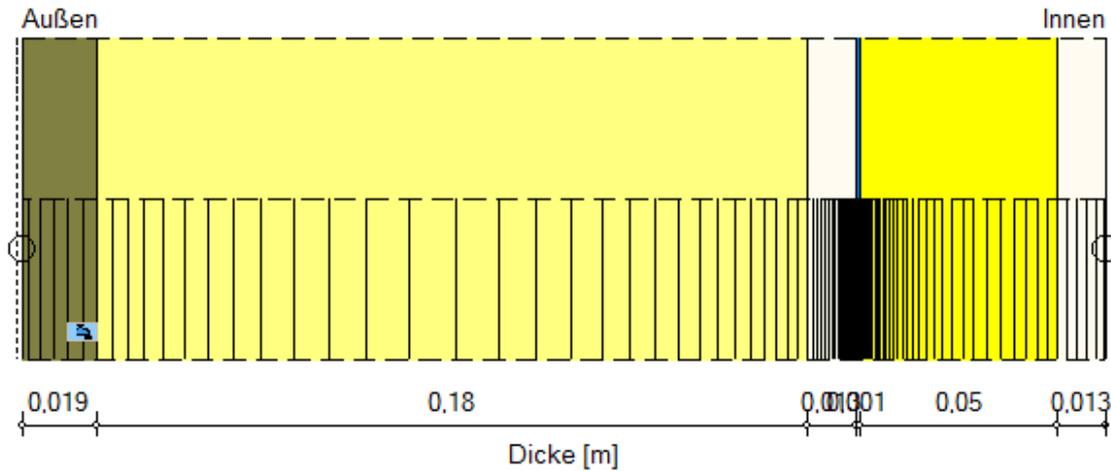
Kleines Gebäude, Höhe bis 10 m

Rechenverlauf

Beginn/Ende der Rechnung

5. Jahre; Beginn 1. Oktober

Bauteilaufbau



○ - Monitorpositionen

■/■ - Position von Wärme-/Feuchte-Quellen/Senken

Materialien:

	- Spanplatte V100	0,019 m
	- ISOVER GW Integra ZKF - 032	0,18 m
	- Gipskartonplatte	0,013 m
	- Dampfbremse (sd=10m)	0,001 m
	- Mineralfaser (Wärmeleit: 0,04 W/mK)	0,05 m
	- Gipskartonplatte	0,013 m

sd-Wert außen [m]: 0,2

Gesamtdicke: 0,275 m

Wärmedurchlasswiderstand: 7,12 (m² K)/W

U-Wert 0,135 W/(m² K)

Abbildung 71: Aufbau des Bauteils in WUFI, Beispiel 4

Anfangswassergehalt der Schichten (Typische Einbaufeuchte):

Spanplatte V 100	110	[kg/m ³]
Isover GW Integra ZKF 032	0,82	[kg/m ³]
Gipskartonplatte	6,3	[kg/m ³]
Dampfbremse (sd=10m)	0,00	[kg/m ³]
Mineralfaser	1,787	[kg/m ³]
Gipskartonplatte	6,3	[kg/m ³]

Feuchtequellen

i. Infiltrationsquelle: Berücksichtigung der Dampfkonvektion infolge von Leckagen gemäß ÖNORM 3802-2 (siehe Tabelle 19). Dabei wurden folgende Parameter angenommen:

- Luftdichtheitsklasse B
- Höhe des zusammenhängen Raumluftvolumens: 3 m
- zu erwartende Tauwasserebene/Position der Feuchtequelle: Spanplatte V 100

[38]

ii. Schlagregen: Die Schlagregenquelle kann hinter dem Wärmedämmverbundsystem angesetzt werden, um kritische Positionen zu berücksichtigen (z.B. unter Fensterlaibung) und entspricht einen Wert von 1% des Schlagregens. Wird hier aber nicht simuliert, da es in keiner ÖNORM vorgeschrieben wird.

[39]

Materialkennwerte:

Tabelle 57: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 4

Kennwert	Einheit	Spanplatte	Isover-GW	Gipsplatte	Dampfbremse	Mineralfaser	Gipsplatte
Rohdichte	[kg/m ³]	620	32,5	850	130	60	850
Porosität	[m ³ /m ³]	0,78	0,95	0,65	0,001	0,95	0,65
Wärmekapazität trocken	[J/kg K]	1400	840	850	2300	850	850
Wärmeleitfähigkeit trocken, 10°C	[W/m K]	0,12	0,032	0,20	2,3	0,04	0,20
Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl	[-]	44	1	8,3	10000	1,3	8,3
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Temp.	[W/m K ²]	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	[W/m K]	0,13	----	----	----	----	----
Bezugsfeuchtigkeit	[kg/m ³]	----	----	----	----	----	----
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	----	----	----	----	----	----
Wasseraufnahmekoeffizient	kg/(m ² s ^{0,5})	----	----	----	----	----	----
Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Feuchte	[%/M.-%]	1,5	----	8	----	----	8

Die Windbremse wird in Form von Beschichtung der Außenoberfläche mit einem sd-Wert von 0,3 m berücksichtigt.

- Spanplatte V 100

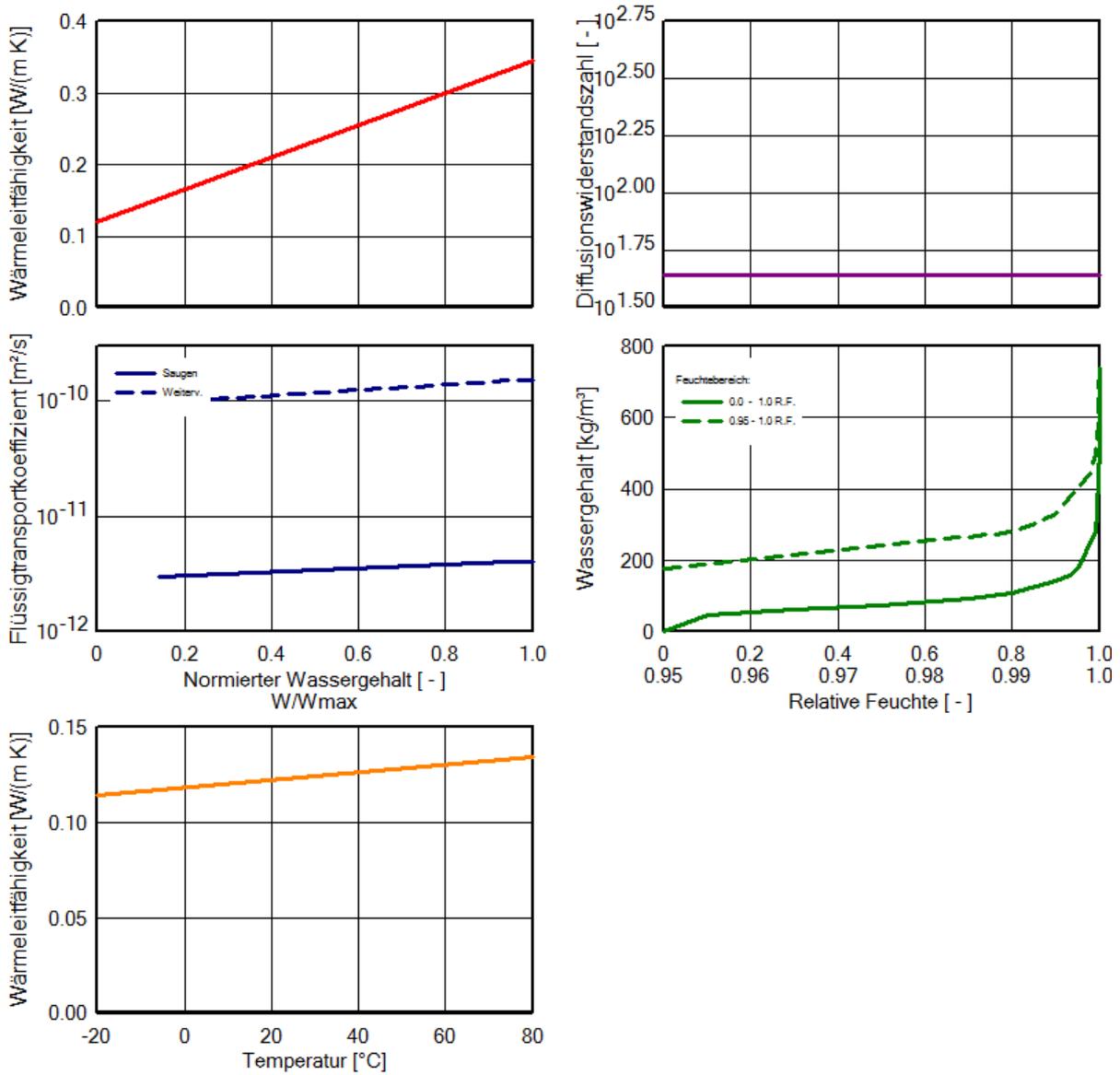


Abbildung 72: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Spanplatte V 100“, Beispiel 4 [32]

- Isover GW Integra ZKF 032

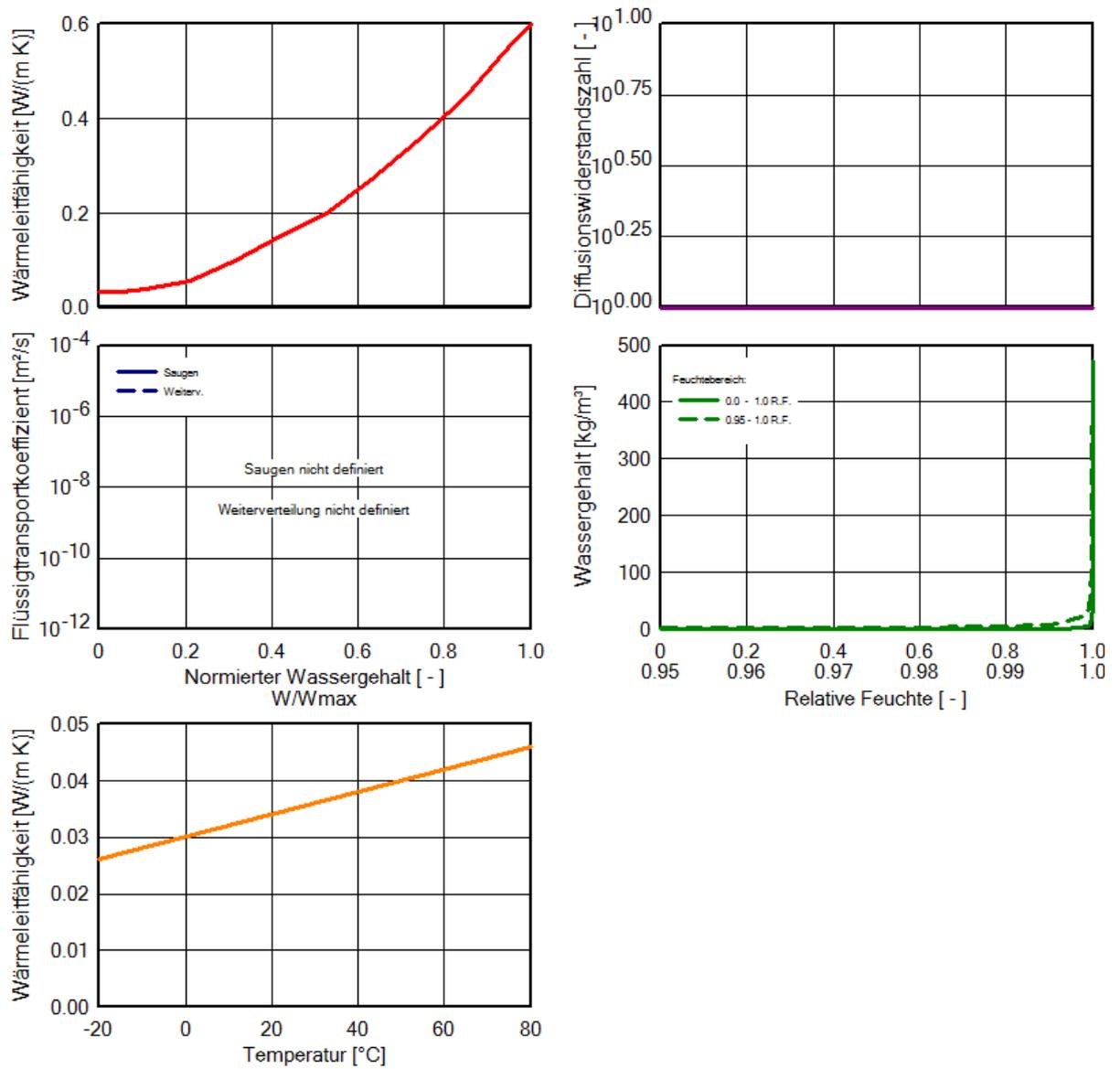


Abbildung 73: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Isover GW Integra ZKF 032“, Beispiel 4 [32]

- Gipskartonplatte

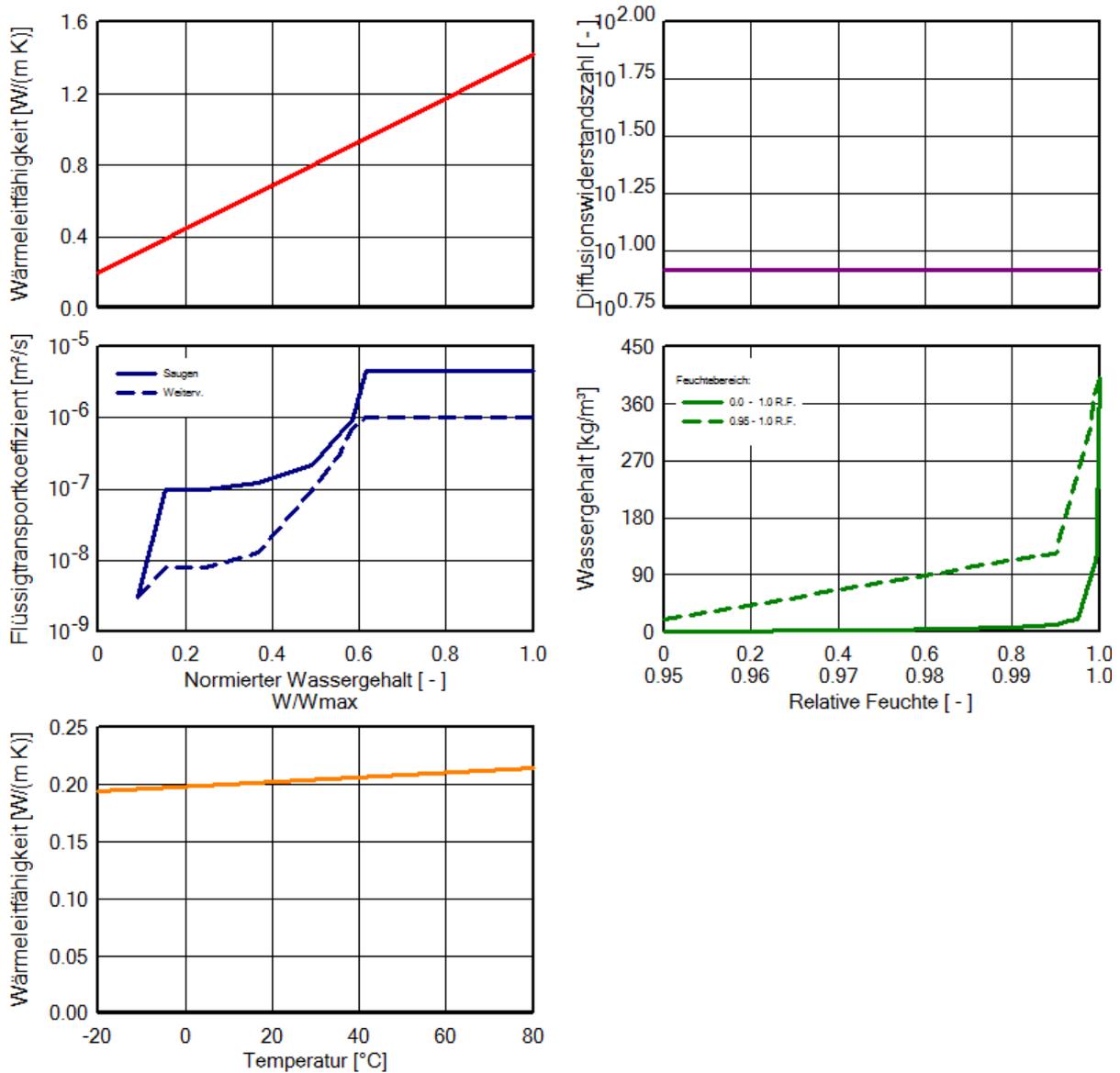


Abbildung 74: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Gipskartonplatte“, Beispiel 4 [32]

- Dampfbremse (sd=10 m)

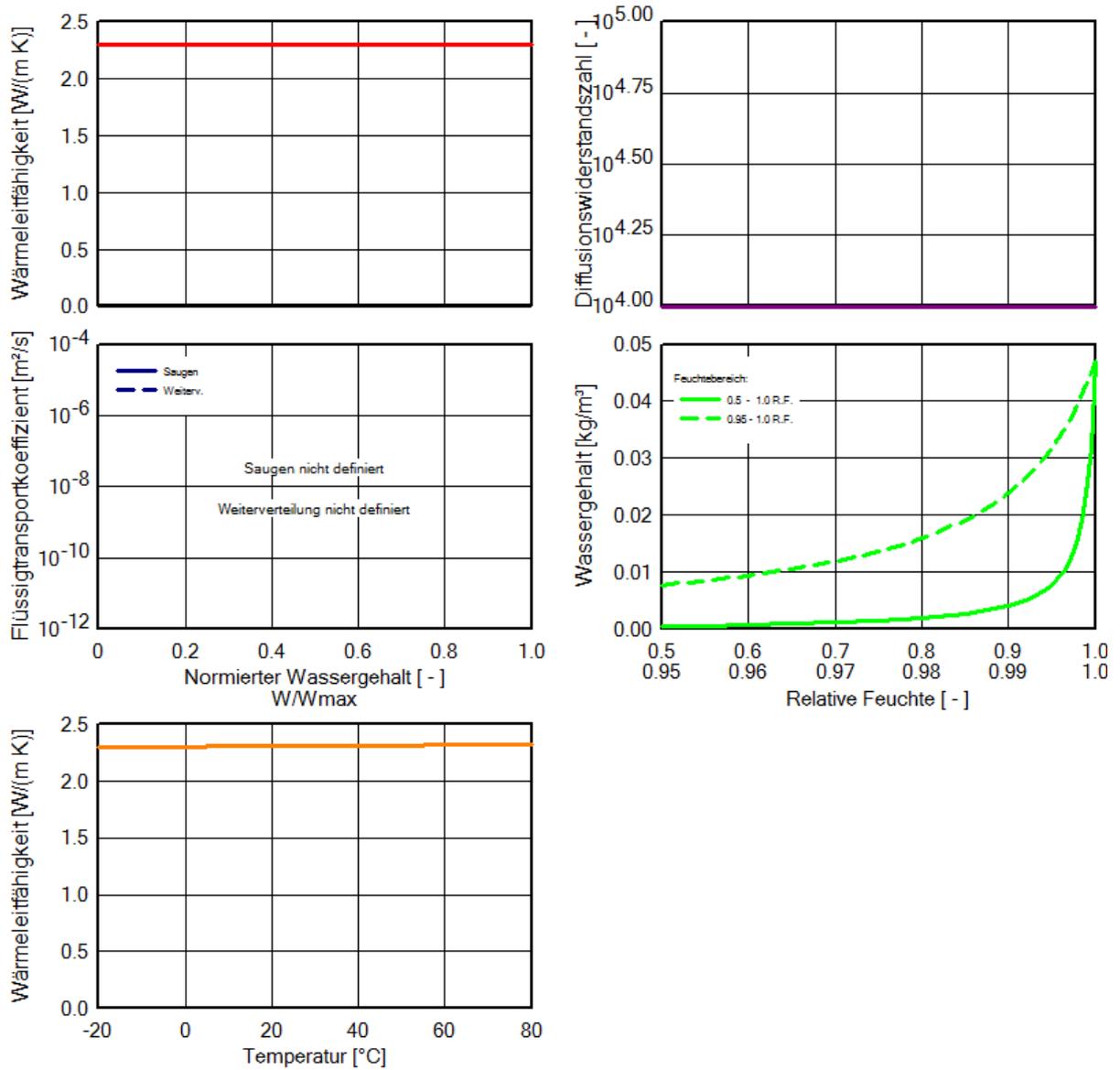


Abbildung 75: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Dampfbremse (sd=10 m)“, Beispiel 4 [32]

- Mineralfaser

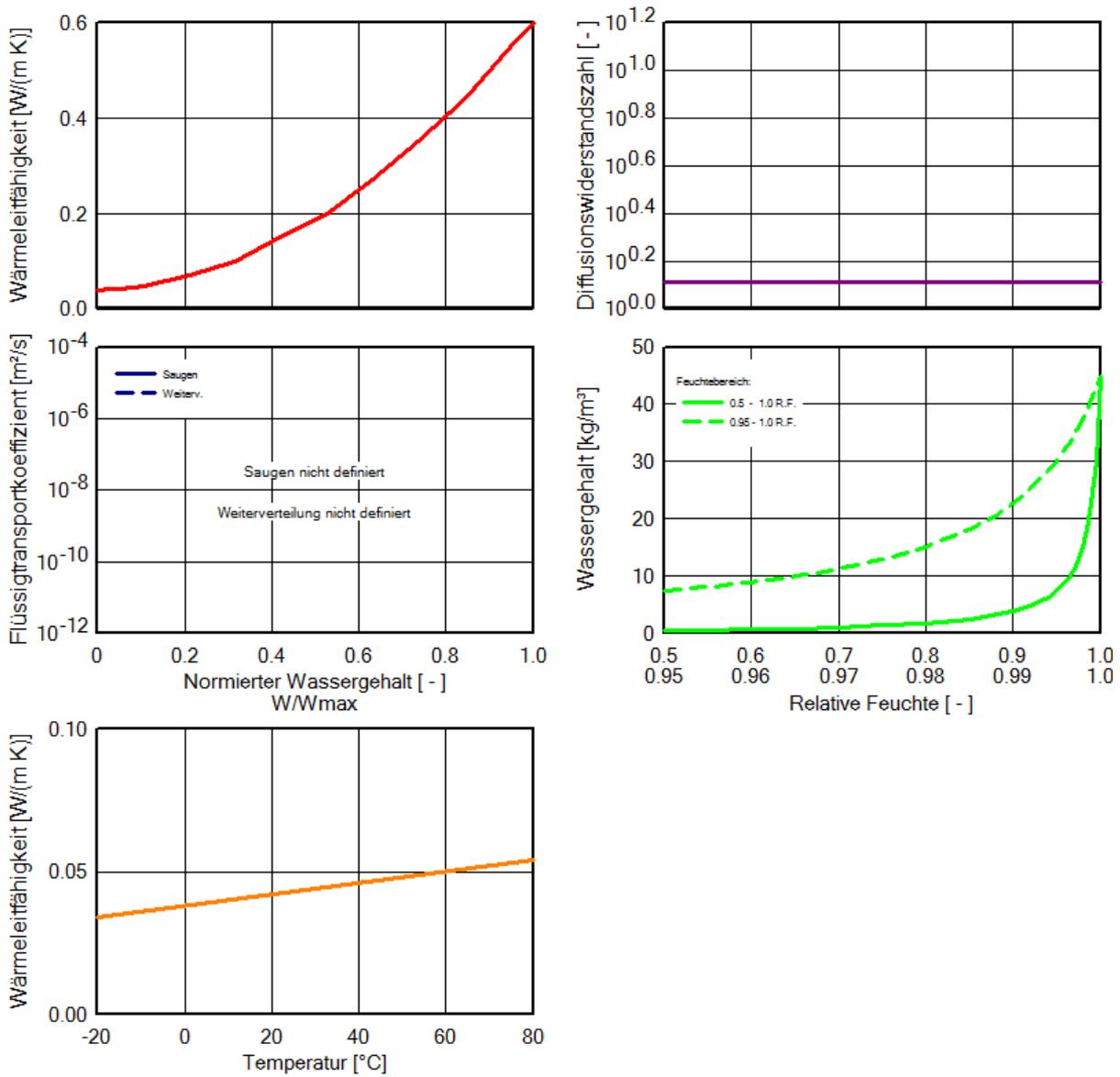


Abbildung 76: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Mineralfaser“, Beispiel 4 [32]

4.10.2 Ergebnis der Berechnung

Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt im Bauteil über den Berechnungszeitraum wird in folgender Abbildung dargestellt:

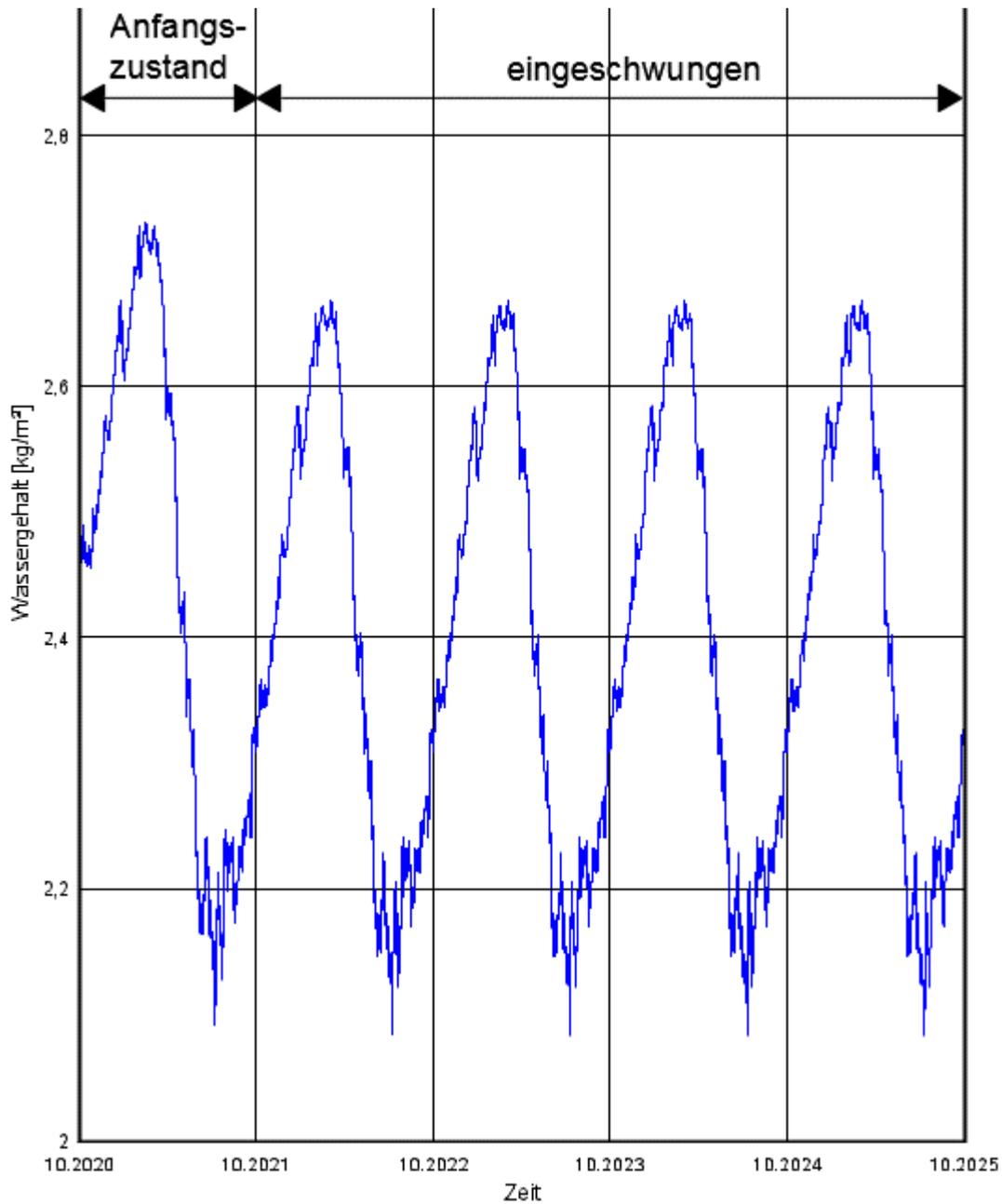


Abbildung 77: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 4

Hier wird ersichtlich, dass die Anfangsfeuchte sinkt und sich dann ein periodischer Verlauf über die Winter- und Sommermonate einpendelt. Die Ergebnisse dieser Abbildung in Zahlen entsprechen den Werten:

Tabelle 58: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 4

Wassergehalt [kg/m²]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,48	2,32	2,08	2,73

Die Werte zeigen, dass sich der Gesamtwassergehalt im Bauteil um 0,4 [kg/m²] verringert. Der Gesamtwassergehalt fällt und ist eingeschwungen, somit wird jetzt der Wassergehalt in den einzelnen Schichten und kritischen Positionen untersucht. (siehe Abbildung 16)

Wassergehalt in den einzelnen Schichten

Der Wassergehalt der einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum wird in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 59: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 4

Wassergehalt in den einzelnen Schichten [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Spanplatte V 100	110,00	105,59	90,81	131,22
ISOVER GW Interga ZKF- 032	0,82	0,69	0,52	0,82
Gipskartonplatte	6,30	3,90	1,70	7,58
Dampfbremse (sd=10m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineralfaser	1,79	1,37	0,64	2,24
Gipskartonplatte	6,30	5,69	4,40	7,95

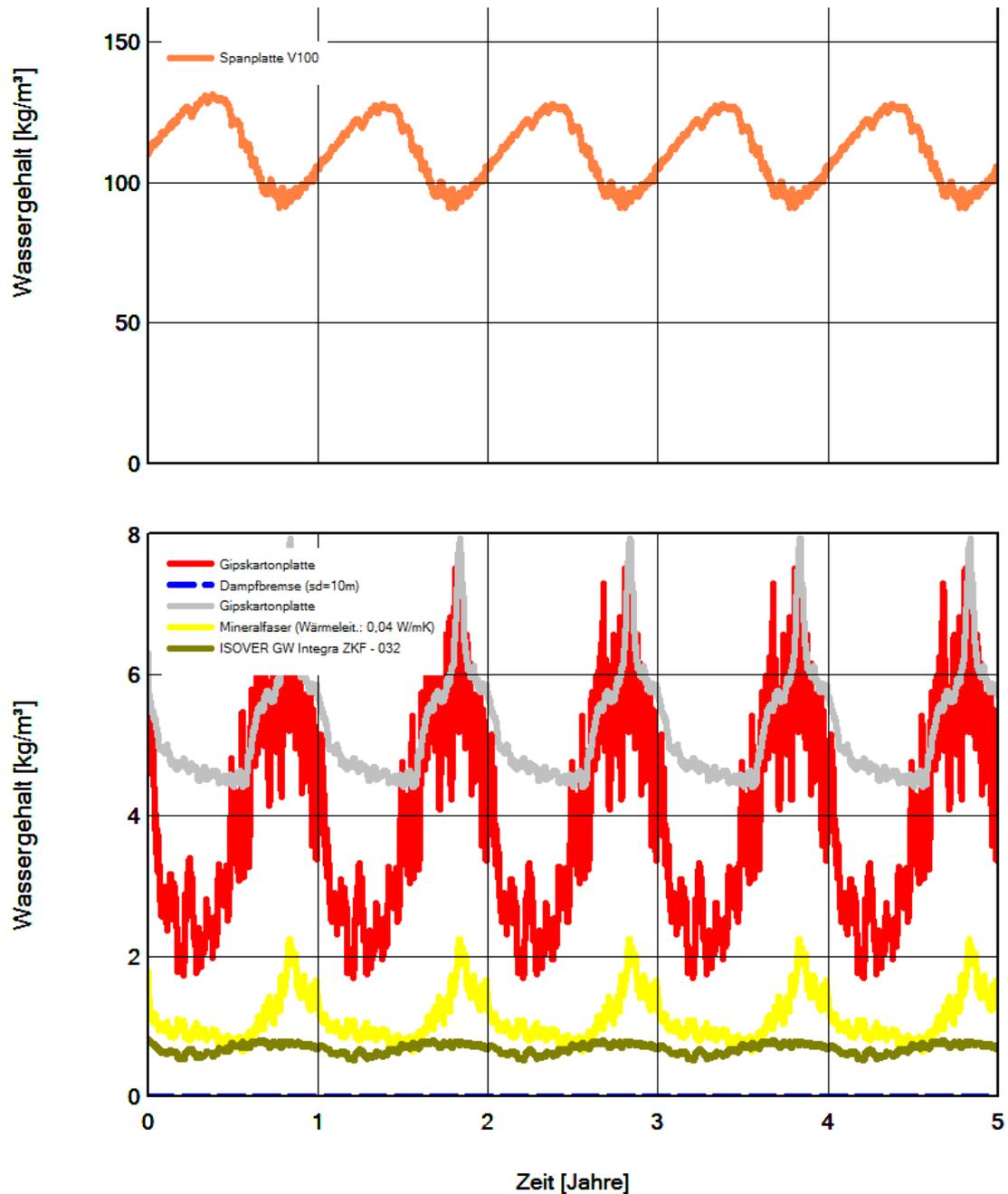


Abbildung 78: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 4

Aus der Abbildung 78 und Tabelle 59 ist ersichtlich, dass der Wassergehalt der Schicht „Spanplatte V 100“ im ersten Wintermonat über den Anfangswassergehalt von 110 kg/m^3 auf $131,22 \text{ kg/m}^3$ hinaus ansteigt und sich über den Berechnungszeitraum ungefähr auf diesem Wert einpendelt. Daher muss überprüft werden, ob die zulässige Holzfeuchte dieser Schicht überschritten wird. Ansonsten deutet nichts auf Probleme in anderen Schichten hin, diese werden aber trotzdem untersucht (z.B. Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei feuchteunempfindlichen Dämmstoffen).

4.10.3 Bewertung der Ergebnisse

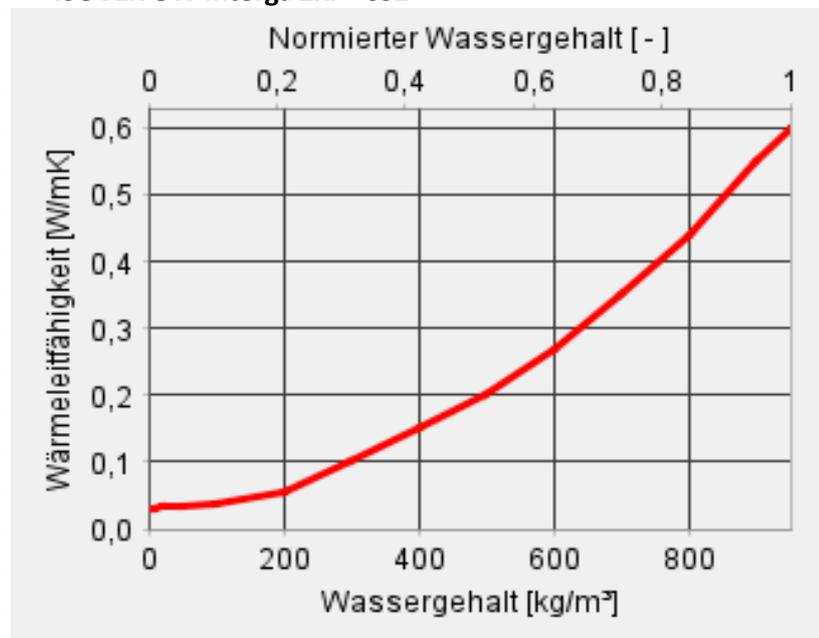
Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei feuchteunempfindlichen Dämmstoffen

Die Feuchteaufnahme von feuchteunempfindlichen Dämmstoffen (z.B. Hartschaum oder Mineralfaser) durch Diffusion kann zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führen. Diese Abhängigkeit ist bei den Materialkennwerten hinterlegt (siehe Abbildung 57, rote Linie) und wird wie folgt ausgewertet:

Tabelle 60: Wärmeleitfähigkeit der Schicht (ISOVER GW Interga ZKF-0,32), feuchteabhängig, Beispiel 4

ISOVER GW Interga ZKF - 032

Nr.	Wassergeh. [kg/m ³]	Wärmeleit. [W/mK]
1.	0	0,0320
3.	10	0,0320
4.	20	0,0330
5.	50	0,0340
6.	100	0,0390
7.	200	0,0560
8.	300	0,1000
9.	400	0,1500
10.	500	0,2000
11.	600	0,2700
12.	700	0,3500
13.	800	0,4400
14.	900	0,5500
15.	950	0,6000



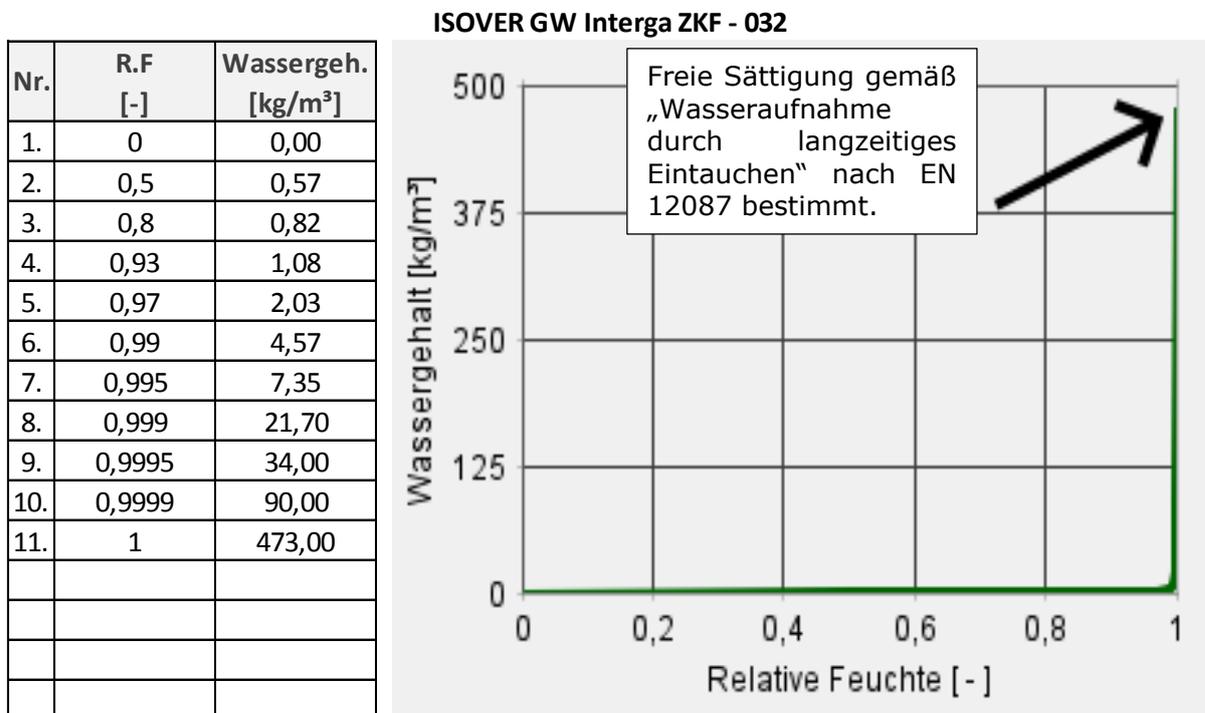
Die Tabelle 60 zeigt die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit [W/m K] in Abhängigkeit von dem Wassergehalt [kg/m³] der Schicht Isover GW Integra ZKF. Bei der Betrachtung des Wassergehaltes in der Schicht über den Berechnungszeitraum (siehe Tabelle 59) ist ersichtlich, dass der maximale Wassergehalt einen Wert von 0,82 [kg/m³] aufweist; dieser Wert ist zu viel gering für eine entscheidende Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Somit ist eine Verringerung des Wärmeschutzes um mehr als 10% ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.5).

Ablaufendes Tauwasser

Die kritische Position für ablaufendes Tauwasser ist der Bereich zwischen Dämmung/Spanplatte V 100. Da hier der Wasserdampf, der durch das Bauteil strömt nach der Dämmung auf eine kalte Oberfläche trifft und kondensieren könnte. Eine Tauwasserbildung auf der kalten Seite der Dämmung könnte die Folge sein. In diesem Bereich wird der Wassergehalt einer 1 mm dicken Schicht der Dämmung untersucht, da die freie Sättigung der Dämmung bekannt ist. Wenn die freie Sättigung der Dämmung nicht bekannt ist, dann muss eine 1 cm dicke Schicht untersucht werden (siehe Abbildung 17) [4].

Die gemessene freie Sättigung ist bei den Materialkennwerten der Dämmung angeführt und entspricht:

Tabelle 61: gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „ISOVER GW Integra ZKF -032“ [32]



Die Tabelle 61 stellt die gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „ISOVER GW Integra ZKF-032“ dar. Sie setzt sich messtechnisch aus Sorptionsisothermen (bis $\approx 0,9$ r.F.) und Saugspannungsmessungen (bis $\approx 0,95$ r.F.) zusammen. [33] Ungebundenes flüssiges „Tauwasser“ kann erst auftreten, wenn die freie Sättigung erreicht wird. [4]

Der Wassergehalt in der 1 mm dicken Schicht der Dämmung entspricht:

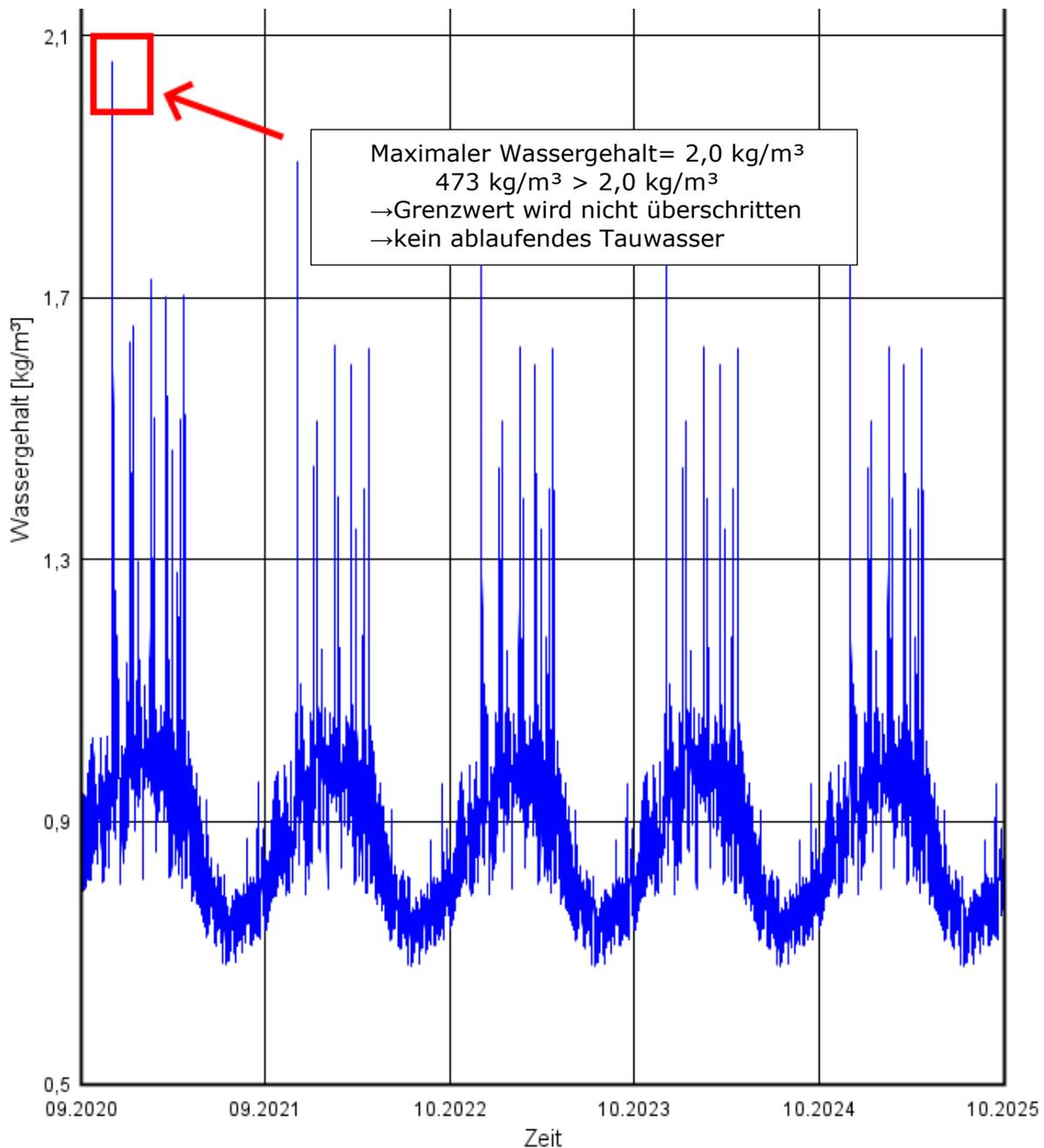


Abbildung 79: Wassergehalt der 1 mm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 4

Aus der Abbildung 79 ist ersichtlich, dass der Grenzwert der freien Sättigung nicht überschritten wird. Ablaufendes Kondensat kann ausgeschlossen werden.

Risiko der Holzfäule

Die kritische Schicht in Bezug auf die Holzfäule ist in diesem Beispiel die äußere Bepunktung der Holzriegelwand, die Spanplatte V100. Wenn man den Feuchtegehalt der Schicht betrachtet, stellt man fest, dass die Obergrenze von 18% (siehe Kapitel 4.9.1) über längere Phasen verteilt überschritten wird (siehe Abbildung 80). Der Anfangsfeuchtegehalt der Schicht beginnt bei 17,47% (also relativ hoch) und steigt in den Wintermonaten über den zulässigen Höchstwert von 18%. Somit kann man einen Befall von holzerstörenden Pilzen nicht ausschließen und das Bauteil erfüllt die Nachweise nicht.

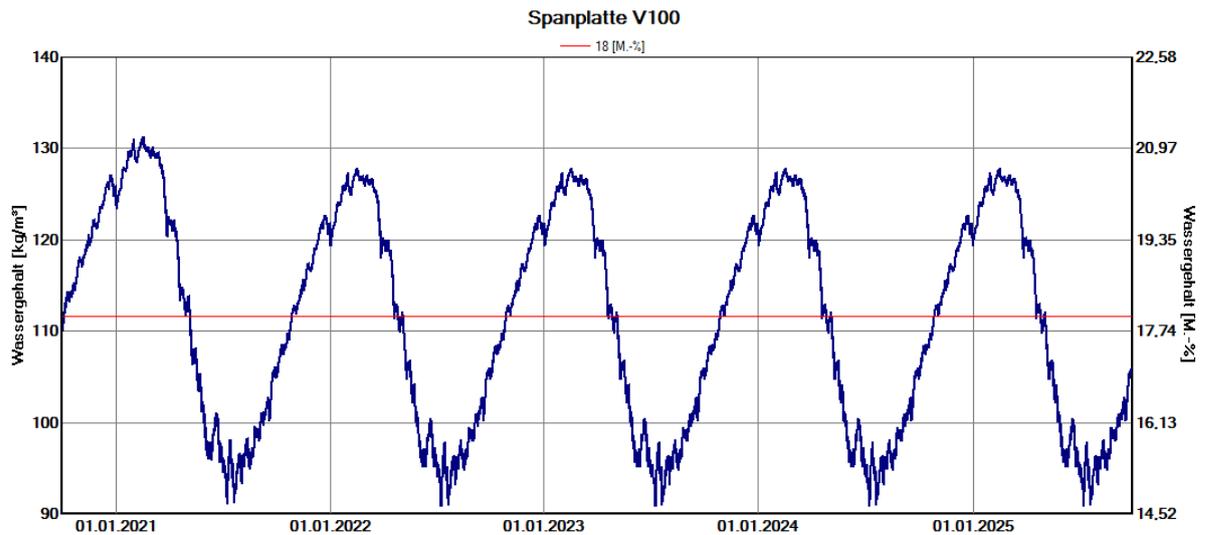


Abbildung 80 Holzfeuchtigkeit der Schicht „Spanplatte V100“, Beispiel 4

Schimmelpilzwachstum

Die Bewertung des Schimmelpilzrisikos wird gemäß den im Kapitel 4.6.3 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

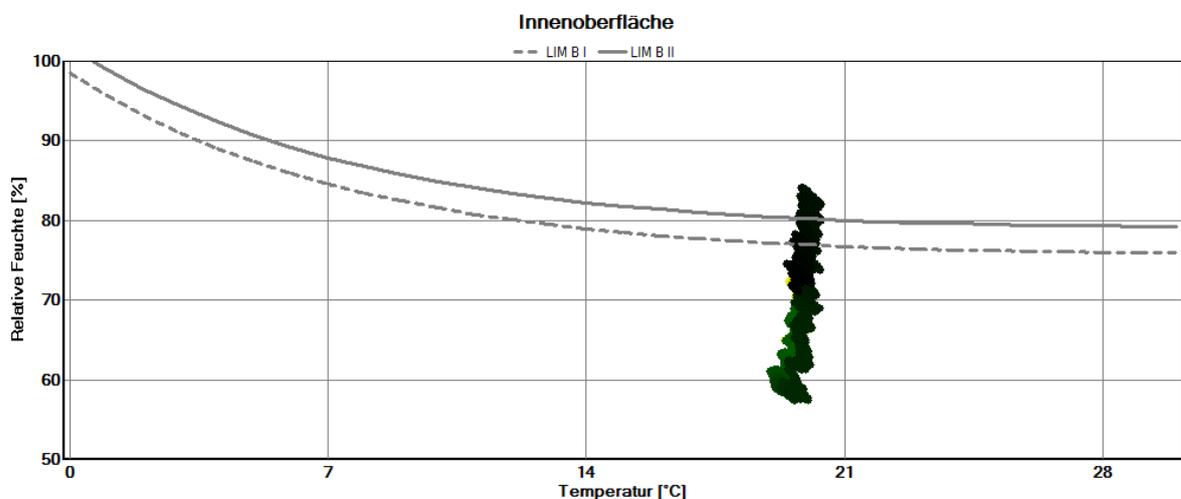


Abbildung 81: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 4

Die Innenoberfläche besteht aus einer Gipskartonplatte, um einen schlechteren Fall darzustellen, wird davon ausgegangen, dass die Wände tapeziert werden. Somit ist die LIM B I-Grenzlinie für die Beurteilung relevant. Die Abbildung 81 zeigt, dass die LIM B I-Grenzlinie am Berechnungsende (schwarzer Farbverlauf) überschritten wird. Bei Überschreitung hängt das Risiko von Ausmaß und Dauer der Überschreitung ab. Folglich ist das Risiko des Schimmelbefalls als sehr niedrig einzuschätzen, da die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung gering sind.

Das Beispiel wird zusätzlich mit WUFI-BIO berechnet, um den Schimmelbefall garantiert ausschließen zu können:

Eingabe:

- Anfängliche rel. Feuchte der Spore: 0,5 [-] (empfohlen)
- Substratklasse I

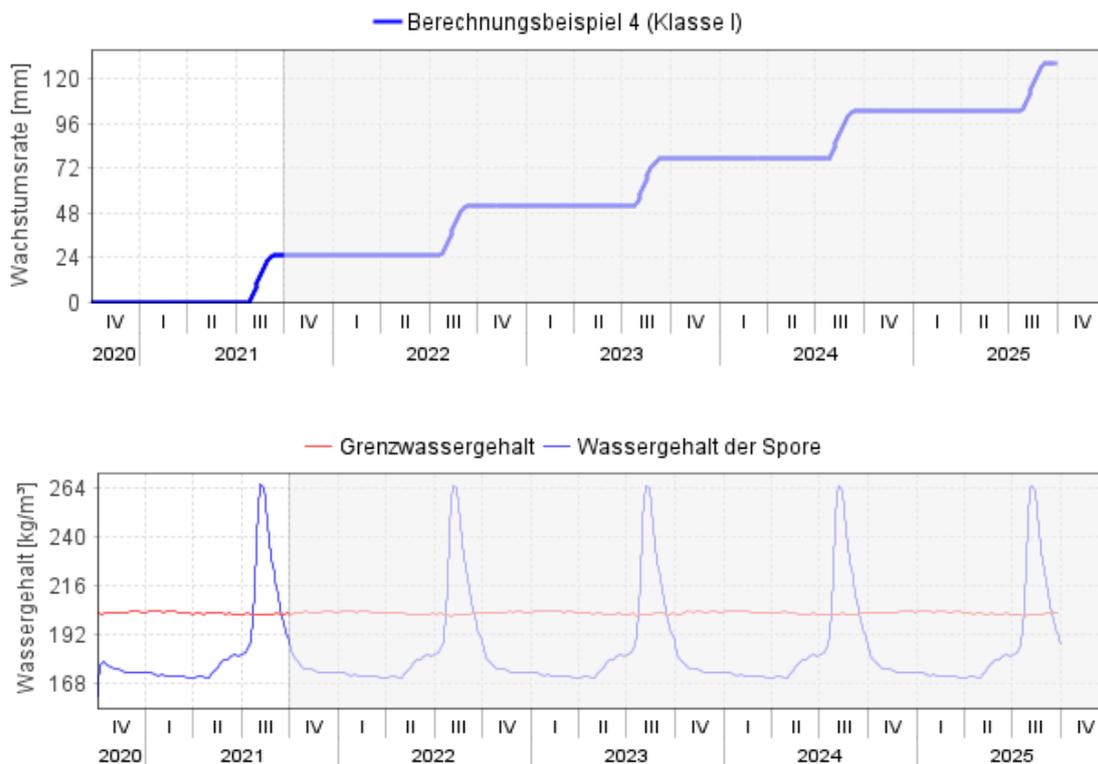


Abbildung 82: Wassergehalt der Spore [kg/m³] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 4

Aus der Abbildung 82 ist ersichtlich, dass der Grenzwassergehalt im dritten Quartal jedes überschritten wird. Durch die Dauer und das Ausmaß der Überschreitung kommt es zu einer Wachstumsrate pro Jahr von:

- In jedem Jahr: 25,8[mm/Jahr] und einen Mould-Index von 0,05

Ein Schimmelbefall kann somit ausgeschlossen werden. Aufgrund der Tatsache, dass kein Schimmelbefall an der Oberfläche auftritt, kann man auch Kondensat an der Oberfläche ausschließen, da dies der noch schlechtere Fall wäre.

4.10.4 Abschließende Bewertung

Die folgenden Kriterien an die Berechnung wurden erfüllt:

Tabelle 62: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 4

	Kriterium	Bewertung
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering	✓
	Wenige oder keine Konvergenzfehler	✓
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt eingeschwungen?	✓
	Tauwasser in der Dämmebene?	✓
	Erhöhung des mittleren Wärmestroms aufgrund von Feuchtezunahme	✓
	Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach ÖNORM B 3802-2)	x
	Schimmelbefall/Kondensat an Oberfläche	✓

Da der Feuchtigkeitsgehalt in der Spanplatte die Obergrenze von 18% über längere Phasen hinweg übersteigt, kann ein Befall von holzerstörenden Pilzen nicht ausgeschlossen werden. Die Anforderungen an das Bauteil gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 werden somit nicht erfüllt und der Nachweis wird negativ beurteilt (siehe Kapitel 4.5), obwohl dieses Bauteil gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 als nachweisfrei eingestuft wurde. Dieses Beispiel zeigt vor allem, dass für die äußere Beplankung immer eine sehr diffusionsoffene Schicht gewählt werden sollte, egal wie hoch der sd-Wert Innen ist, damit auch der Feuchteeintrag aufgrund von Leckagen leicht entweichen kann und zu keiner Kondensation führt.

4.10.5 Berechnung nach ÖNORM B 8110-2:2003

Randbedingungen:

Außen

Klima: Graz; Universität
 Wärmeübergangskoeffizient: 0,04 [m² K/W]

Innen

Innenklima: EN 13788
 Feuchtekategorie 3 & 4; Temperatur 20 °C
 Wärmeübergangswiderstand 0,25 [m² K/W]

Materialkennwerte:

Die Materialkennwerte für die einzelnen Schichten wurden aus der ÖNORM B 8110-7 entnommen:

Tabelle 63: Materialkennwerte lt. ÖNORM B 8110-7, Beispiel 4

Material (Innen nach Außen)	d [cm]	μ	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	Diff. Widerstand [m]	R [m ² K/W]
Gipskartonplatte (ÖNORM B 8110-7)	1,25	4	0,270	800	0,05	0,046
Glaswolle MW(GW)-W (15 kg/m ³) (ÖNORM B 8110-7)	5,00	1	0,040	15	0,05	1,250
Omega SD 10 Dampfbremse (techn. Datenblatt)	sd= 10m					
Gipskartonplatte (ÖNORM B 8110-7)	1,25	4	0,270	800	0,05	0,046
Glaswolle MW(GW)-W (15 kg/m ³) (ÖNORM B 8110-7)	20,00	1	0,040	15	0,20	5,000
Spanplatte P3 V100 (ÖNORM B 8110-7)	1,90	50	0,130	650	0,95	0,146
Unterdeck- und Unterspannbahn für Wände (ÖNORM B 8110-7)	sd= 0,2m					

Ergebnis der Berechnung

Bei diesem Bauteilaufbau entsteht bei der Berechnung gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 kein Kondensat. Aufgrund des hohen sd-Wert innen und dem vergleichsweise niedrigen sd-Wert außen, kommt es zu keinem Kondensat aufgrund von Diffusion an der äußeren Beplankung. Das Bauteil erfüllt somit alle Kriterien gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 und wird positiv beurteilt.

4.10.6 Vergleich der Ergebnisse

Wenn man die Ergebnisse der stationären und instationären Berechnung miteinander vergleicht, ist ersichtlich, dass das Bauteil unterschiedlich bewertet wird. Nach der instationären Berechnung wird die zulässige Holzfeuchtigkeit von 18% an der kritischen Schicht „Spanplatte V 100“ über längere Phasen hinweg überschritten. Ein schadensverursachender Pilzbefall bzw. eine Holzersetzung an der äußeren Beplankung kann somit nicht ausgeschlossen werden und der Bauteil muss negativ beurteilt werden. Bei dem Nachweis gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 (stationär) entsteht bei der Berechnung kein Kondensat, da hier nur der Feuchteintrag durch Diffusion berücksichtigt wird.

Bei der instationären Berechnung werden mehr Feuchtigkeitsquellen berücksichtigt, wie z.B. die Anfangsfeuchtigkeit der Baustoffe und die Infiltrationsquelle (durch Leckagen), während die stationäre Berechnung nur die Diffusion berücksichtigt und der Feuchteintrag über Leckagen und eine erhöhte Anfangsfeuchte der Baustoffe lediglich mit Sicherheitsfaktoren abgedeckt werden. Dies führt dann zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Beurteilung des Bauteils.

Tabelle 64: Zusammenfassung der Ergebnisse, Beispiel 4

Zusammenfassung der Ergebnisse: Beispiel 4							
Nr.	Berechnung nach:	Kondensat [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	Austrocknung [g/m ² *a]	Differenz [g/m ² *a]	geeignet	Anmerkung
1.	ÖNORM B 8110-2:2003	---	---	---	---	Ja	für die Feuchtekategorie 3
2.	ÖNORM B 8110-2:2003	---		---		Ja	für die Feuchtekategorie 4
3.	ÖNORM B 8110-2:2020	---		---		Nein	für die Feuchtekategorie 3

4.11 Zusammenfassung

Das stationäre Verfahren weist im Vergleich zum instationären Verfahren einige Vereinfachungen auf bzw. berücksichtigt gewisse Faktoren, die das bauphysikalische Verhalten des Bauteils beeinflussen, nicht. Die relevantesten Unterschiede der Verfahren für den Nachweis von Kondensation im Inneren werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 65: kurze Übersicht der Unterschiede zwischen stationären und instationären Berechnungsverfahren für den Nachweis von Kondensation im Inneren

		stationäres Verfahren (Glaser-Verfahren)	instationäres Verfahren
	Berechnungsmodell	grafisches Verfahren	numerisches Verfahren
	Berechnungszeitraum	ein Jahr	bis eingeschwungener Zustand
Feuchte- quellen	Dampfdiffusion	✓	✓
	Einträge über Leckagen	✗	✓
	typ. Baufeuchte	✗	✓
	Anteil des Schlagregens	✗	✓
Material- parameter	Wärmeleitfähigkeit	feuchteunabhängig	feuchteabhängig
	Diffusionswiderstand	feuchteunabhängig	feuchteabhängig
	Feuchtespeicherfähigkeit	wird nicht berücksichtigt	wird berücksichtigt
Klima- parameter	Zeitauflösung (Temp. und Luftfeuchte)	Blockrandbedingungen (monatlich)	stündlich
	Strahlung	✗	✓
	Regen	✗	✓
	Wind	✗	✓
Bauteil	Orientierung	✗	✓ (benötigt für Strahlung und Regen)
	Neigung	✗	✓ (benötigt für Strahlung und Regen)
	Höhe des Gebäudes	✗	✓ (benötigt für Regen)

Dies hat zur Folge, dass es zu einer unterschiedlichen Beurteilung von Bauteilen kommen kann. Das Beispiel 1 (Kapitel 4.7) zeigt, dass bei diffusionsbezogenen Problemstellungen das Glaser-Verfahren hinsichtlich der Vorhersage auf Kondensatbildung auf der sicheren Seite liegt bzw. konservativ ist.

An den Beispielen 3 und 4 (Kapitel 4.9 und Kapitel 4.10) ist erkennbar, dass bei Bauteilaufbauten, bei denen ein Feuchteeintrag über Leckagen erwartet werden kann und die aus feuchteempfindlichen Baustoffen bestehen (z.B. Holzriegelaufbauten, Sparrendächer), die Beurteilung anhand des Glaser-Verfahrens nicht mehr konservativ ist, trotz des Einsatzes von Sicherheitsfaktoren, welche die Auswirkungen der nicht berücksichtigten Feuchteinträge durch Leckagen darstellen sollen.

Durch das Einbeziehen dieser umfangreichen Datensätze in die rechnerische Simulation entstehen auch Beurteilungsmöglichkeiten, die über die bisherigen Beurteilungsmöglichkeiten nach Glaser hinausgehen, wie z.B.:

- reale Tauwassersituation während der Heizperiode unter Berücksichtigung von Wasserdampfsorption und Kapillarleitung
- Sommerkondensation durch Umkehrdiffusion
- Austrocknen von Baufeuchte
- Solare Einstrahlung, Schlagregenbelastung und Oberflächenbetaung bei Dächern und Fassaden
- Feuchteinfluss auf Energiehaushalt

[41]

5 Schlussfolgerung und Ausblick

5.1 Modifiziertes Glaser-Verfahren

Das Kapitel 3 zeigt, wie wichtig die Berücksichtigung der Leckagen und der damit verbundene Feuchteintrag in die Konstruktion für eine zuverlässige Beurteilung des Bauteils ist. Jedoch findet man in der ÖNORM B 8110-2:2020 wenig Anhaltspunkte für die richtige Annahme der Leckagengröße. Ausführlichere Anforderungen bzw. Bedingungen, um die Luftdichtheit eines Bauteils als dauerhaft gesichert einzustufen (siehe Tabelle 17, Zeile 1) wären empfehlenswert:

Folgende Fragen könnte sich der Planer hinsichtlich der Einstufung stellen:

- Wann kann ich von einer dauerhaft gesicherten Luftdichtheit ausgehen?
- Sollte man bei jeder Durchdringung der luftdichten Ebene von einer Durchströmung des Bauteils ausgehen? Diese Durchdringungen können ebenfalls luftdicht ausgeführt sein.
- Bei luftdichter Ausführung der Durchdringung: Wann gilt ein Durchbruch als dauerhaft luftdicht?
- Kann davon ausgegangen werden, dass es bei der Ausführung zu keiner Beschädigung der luftdichten Schicht kommt?
- Wann führt ein Nagel oder eine Schraube zu keinem Strömungspfad in kritische Bereiche?

Das Fehlen von genaueren Anhaltspunkten auf diese Fragen kann dazu führen, dass ein und dasselbe Bauteil in Bezug auf die Luftdichtheit unterschiedlich eingestuft wird und es in weiterer Folge zu einer anderen Beurteilung hinsichtlich von Kondensat im Inneren kommt; da Planer unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich dieser Thematik haben könnten. Diese Punkte sollten in der NORM näher ausgeführt werden, da es die Aufgabe einer NORM ist, Regeln und Leitlinien so festzulegen, dass nicht viel Interpretationsspielraum vorhanden ist und dadurch eine einheitliche Beurteilung zur Qualitätssicherung gewährleistet wird.

Des Weiteren gibt es bisher kein Tool für das modifizierte Glaser-Verfahren, das in der Praxis angewendet werden dürfte. Das Referenztool, welches im Kapitel 3 für die Berechnung verwendet wurde, dient nur zur Ausbildungszwecken und darf nicht für die Planung und Begutachtung in der Praxis herangezogen werden. [22]

5.2 Vergleich der standardisierten Nachweisverfahren für die Kondensation im Inneren

Das instationäre Verfahren bietet die Möglichkeit – neben dem Feuchteintrag durch Dampfdiffusion – auch andere mögliche Feuchtequellen (siehe Kapitel 4.6.3) unter realem, nicht vereinfachtem Materialverhalten mitzuberechnen. Dies ermöglicht eine realistische Simulation und Beurteilung des Bauteils. Die korrekte Simulation und Bewertung erfordert allerdings ein gewisses Maß an Fachkenntnis, da die möglichen Feuchtequellen und andere Parameter von der Art des Bauteils abhängig sind und der Benutzer die für die Simulation richtigen Parameter ansetzen muss. Des Weiteren gibt es auch keine automatische Beurteilung der Rechenergebnisse; die Ergebnisse müssen vom Benutzer richtig interpretiert werden, um eine korrekte Beurteilung treffen zu können. Das stationäre Verfahren (Glaser-Verfahren) ist verständlicher und man kann trotz Vereinfachungen eine korrekte Aussage darüber treffen, ob ein Bauteil problematisch ist oder nicht, wenn erwartet werden kann, dass nur Feuchteinträge durch Dampfdiffusion im Bauteil stattfinden. Bei diffusionsbezogenen Problemstellungen liegt das Glaser-Verfahren bezüglich der Vorhersage von Kondensatbildung in der Regel sogar auf der sicheren Seite bzw. ist konservativ (siehe Beispiel 1, Kapitel 4.7). Bei Bauteilaufbauten, bei denen ein Feuchteintrag über Leckagen erwartet werden kann und die aus feuchteempfindlichen Baustoffen bestehen (z.B. Holzriegelaufbauten, Sparrendächer), sollte ein Nachweis gemäß instationären Verfahren erfolgen (siehe Beispiel 3 und Beispiel 4).

Die Ergebnisse der Beispielkonstruktionen zeigen, dass es durch die vereinfachten Annahmen des stationären Berechnungsverfahrens (siehe Kapitel 2.2) – im Vergleich zum instationären – zu einer unterschiedlichen Beurteilung hinsichtlich des Feuchteschutzes kommen kann.

Grundsätzlich kann man sagen, dass das Glaser-Verfahren für diffusionsbezogene Problemstellungen durchaus eine verlässliche Beurteilung zur Schadensvermeidung hinsichtlich Kondensation im Inneren ermöglicht. Da es sich bei diesen diffusionsbezogenen Problemstellungen aber oftmals um Standardaufbauten handelt, die gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 sowieso als nachweisfrei eingestuft sind, verliert dieses Verfahren in der Praxis an Bedeutung. Für Lehrzwecke ist dieses Verfahren allerdings gut geeignet, da es durch seine Einfachheit die physikalischen Vorgänge gut veranschaulicht und ein bauphysikalisches Grundverständnis zu diesem Thema bildet. Das instationäre Verfahren ermöglicht für jegliche Problemstellung eine realistische Beurteilung. Die Abkehr vom Glaser-Verfahren hin zu instationären Verfahren ist also sinnvoll. Durch die Berücksichtigung der vielen Faktoren unter realem, nicht vereinfachten Materialverhalten entstehen auch Beurteilungsmöglichkeiten, die weit über die Beurteilungsmöglichkeiten des Glaser-Verfahrens hinausgehen. Dies erfordert allerdings ein hohes Maß an Know-how, da man wissen muss, welche Faktoren für welche Beurteilung ausschlaggebend sind, wie man die Ergebnisse richtig interpretiert und daraus die korrekte Beurteilung ableitet. Die Grundlage dieser realistischen Vorhersage bilden die umfangreichen – für die Simulation benötigten – Datensätze, welche in der Zukunft noch ausgeweitet werden sollten, da für viele Orte keine Klimadatensätze zur Verfügung stehen (in Österreich gibt es nur die Datensätze von Wien und Graz) und auch zu einigen Materialien keine Datensätze vorhanden sind.

6 Literatur

- [1] ÖNORM B 8110-2 (2020): Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz.
- [2] WTA Merkblatt 6-8: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen- Vereinfachte Nachweise und Simulation (2016).
- [3] ÖNORM B 8110-2 (2003): Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz.
- [4] Fraunhofer IBP (*Hrsg.*): Leitfaden zur Tauwasserbewertung in hydrophoben Mineralfaserdämmungen (2017).
- [5] ÖNORM B 8110-5 (2019): Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile.
- [6] ÖNORM EN 15026 (2007): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation.
- [7] ÖNORM EN ISO 13788 (2013): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – RaumseitigeOberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung imBauteilinneren – Berechnungsverfahren.
- [8] Univ.-Prof. DI Dr. techn. Thomas BEDNAR: Vermeidung von Feuchteschäden: Planungsablauf und Methoden, 2019.
- [9] OIB-Richtlinie 6 (2011): Energieeinsparung und Wärmeschutz.
- [10] OIB-Richtlinie 3 (2019): Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz.
- [11] ÖNORM H 6038 (2020): Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen und Wärmerückgewinnung.
- [12] R. Gritzki, J. Seifert, M. Rösler: Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht, 2003.
- [13] Univ.-Prof. DDr. Peter Kautsch: Vorlesungsunterlage Bauphysik 1: Wärmeschutz und Feuchteschutz, 2019.
- [14] *Schwaller, J.; Wegerer, P.; Bednar, T.*: Modifikation des Glaser-Verfahrens zur Berücksichtigung solarer Strahlung und konvektiver Feuchteinträge. *In: Bauphysik* 38 (2016), Heft 2, S. 71-80.
- [15] Baunetz_Wissen: Wärmetransportmechanismen, <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/waermeschutz/waermetransportmechanismen-4366653>.
- [16] WTA Merkblatt 6-2 (2014): Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse.
- [17] *Kölsch, P.; Künzel, H.; Zirkelbach, D.*: Konvektiver Feuchteeintrag in Leichtbaukonstruktionen. *In: Bauphysik* 41 (2019), Heft 5, S. 269-278.
- [18] *Nusser, B.*: Flachgeneigte hölzerne Dachkonstruktionen. Systemanalysen und neue Ansätze zur Planung hygrisch robuster flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen unter Beachtung konvektiver Feuchteinträge und temporärer Beschattungssituationen. Dissertation, 2012.
- [19] Nusser, B., Teibinger, M., Bednar, T: Messtechnische Analyse flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen mit Sparrenvolldämmung – Teil 1: Nicht belüftete Nacktdächer mit Folienabdichtung., 2010.
- [20] Nusser, B., Teibinger, M., Bednar, T: Messtechnische Analyse flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen mit Sparrenvolldämmung – Teil 2: Nicht belüftete, extensiv begrünte Dächer mit Zellulose- und Mineralwollendämmung., 2010.
- [21] Nusser, B., Teibinger, M., Bednar, T: Messtechnische Analyse flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen mit Sparrenvolldämmung – Teil 3: Hinterlüftete und nicht hinterlüftete Metaldächer., 2010.

-
- [22] Referenztool: Modifiziertes Glaser-Verfahren,
<https://www.bph.tuwien.ac.at/bauphysikmeetspublic/bauphysik-forum-2019-1112-april-2019-bad-ischl/>.
- [23] Berechnungsbeispiel-URL:
<https://www.dataholz.eu/bauteile/aussenwand/detail/kz/awrrho03a.htm>, Datum des Zugriffs: 2020.
- [24] Fraunhofer IBP: Leitfaden zur Auswertung und Beurteilung hygrothermischer Rechenergebnisse, 2017.
- [25] *Sedlbauer, K.*: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen, 2001.
- [26] Fraunhofer IBP: Leitfaden zur Bewertung des Schimmelpilzrisikos mit WUFI, 2017.
- [27] Krus M., Seidler Ch. M., Sedlbauer K: Übertragung des Mould - Indexes auf das Biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage, 2011.
- [28] *Viiitanen H., R.A.C.*: Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature, 1991.
- [29] *K. Sedlbauer, M.K.*: Schimmelpilze an Wohngebäuden- Altes Thema, neue Lösungen, 2001.
- [30] ASHRAE Standard 160 (2009): Criteria for Moisture Control Design Analysis in Buildings.
- [31] Zirkelbach, D: Dampfkonvektion wird berechenbar - Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen, 2009.
- [32] Fraunhofer IBP: WUFI-Datenbank, Datum des Zugriffs: 2020.
- [33] *Krus, M.*: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken., 1995.
- [34] ÖNORM B 8110-7 (2013): Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte.
- [35] ÖNORM EN ISO 13370 (2018): Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden- Wärmeübertragung über das Erdreich- Berechnungsverfahren.
- [36] Rothoblaas: Technisches Datenblatt-Barrier 150, Datum des Zugriffs: 2020.
- [37] ÖNORM B 3802-2 (2015): Holzschutz im Bauwesen, Teil 2: Baulicher Schutz des Holzes.
- [38] Fraunhofer IBP: Leitfaden zur Verwendung der Infiltrationsquelle in WUFI, 2017.
- [39] Fraunhofer IBP: Handhabung kritischer Konstruktionen, 2018.
- [40] AGEPAN System: technisches Datenblatt-Ageplan OSB3 PUR, Datum des Zugriffs: 2020.
- [41] Fraunhofer IBP: HTML Help-Grundlagen: Feuchtetransport in Bauteilen: Praktische Schlußfolgerungen, Zeitpunkt des Zugriffs: 2020.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodik der Nachweisführung lt. ÖNORM B 8110-2:2020	4
Abbildung 2: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2:2020-Kapitel 7.2.1, Monatsmitteltemperatur der Innenluft als Funktion der Monatsmitteltemperatur der Außenluft [1]	6
Abbildung 3: Darstellung des Einflusses der Nutzung auf Nutzklasse [8] inkl. der Luftfeuchteklassen gemäß ÖNORM EN ISO 13788 [7]	7
Abbildung 4: raumseitige Luftfeuchtelast der Verschiedenen Luftfeuchteklassen gemäß ÖNORM EN ISO 13788 und ÖNORM B 8110-2:2020 [1] [7]	10
Abbildung 5: Porenraum eines Baustoffs und vier mögliche Wege des Wärmetransports. [15]	15
Abbildung 6: Der zu verwendende Feuchteüberschuss Δv_m der Luftklasse 3 gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 [1] [7]	18
Abbildung 7: Querschnitt eines Eckdetails bestehend aus zwei Schichten (siehe Tabelle 10)	27
Abbildung 8: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2020)	27
Abbildung 9: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2003)	27
Abbildung 10: Querschnitt eines Eckdetails bestehen aus zwei Schichten (siehe Tabelle 12)	30
Abbildung 11: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2020)	30
Abbildung 12: Temperaturverlauf in HTflux (ÖNORM B 8110-2:2003)	30
Abbildung 13: schematische Darstellung der Feuchtetransportprozesse im modifizierten Glaser-Verfahren (Flachdach) [14]	37
Abbildung 14: Aufbau des Berechnungsbeispiels und Materialkennwerte der einzelnen Schichten [1]	41
Abbildung 15: Ergebnis der Berechnung nach modifizierten- und konventionellen Glaser- Verfahren	42
Abbildung 16: Auswerteprinzip des Programms „WUFI“ [24]	47
Abbildung 17: Auswerteprinzip von Tauwasser in der Simulation [4]	48
Abbildung 18: Temperatur/Feuchtediagramm der Innenoberfläche [26]	50
Abbildung 19: Modellspore zur Beurteilung des Feuchteverhaltens [26]	51
Abbildung 20: Massive, mineralische, zweischalige Außenwand mit Vorsatzschale ohne Hinterlüftungsebene (Kerndämmung) und Materialdaten der Schichten	53
Abbildung 21: Aufbau des Bauteils in WUFI, Beispiel 1	55
Abbildung 22: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Kalkzementputz“ [32]	56
Abbildung 23: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Ziegel 800“ [32]	57
Abbildung 24: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Klebespachtel“ [32]	58
Abbildung 25: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ [32]	59
Abbildung 26: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 1	60
Abbildung 27: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 1	61
Abbildung 28: Wassergehalt der 1 mm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 1	64
Abbildung 29: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 1	65
Abbildung 30: Wassergehalt der Spore [kg/m ³] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 1	66
Abbildung 31: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchtekategorie 4, Beispiel 1	69

Abbildung 32: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchteklasse 3, Beispiel 1	69
Abbildung 33: Boden eines konditionierten, nutzbaren Raumes gegen Erdreich mit innerhalb liegendem Dämmstoff	71
Abbildung 34: Schematische Darstellung des Bauteils	72
Abbildung 35: Temperaturschwankung der virtuellen Temperatur des Erdreichs als Sinuskurve.....	73
Abbildung 36: Bauteilaufbau in WUFI, Beispiel 2.....	75
Abbildung 37: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Erdreich Christian DIN“ [32]	77
Abbildung 38: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Beton C 35/40“ [32]	78
Abbildung 39: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Bitumenbahn“ [32].....	79
Abbildung 40: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „EPS“ [32]	80
Abbildung 41: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Mineralfaser“ [32]	81
Abbildung 42: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Dampfbremse“ [32].....	82
Abbildung 43: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Zementestrich“ [32]	83
Abbildung 44: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Laminatboden“ [32].....	84
Abbildung 45: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 2.....	85
Abbildung 46: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 2.....	87
Abbildung 47: Wassergehalt [kg/m ²] der 1 cm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 2	89
Abbildung 48: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 2	90
Abbildung 49: Wassergehalt der Spore [kg/m ³] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 2	91
Abbildung 50: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 (Feuchteklasse 4), Beispiel 2.....	94
Abbildung 51: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 (Feuchteklasse 3), Beispiel 2.....	94
Abbildung 52: Holzriegelaußenwand, ohne Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene.....	96
Abbildung 53: Aufbau des Bauteils in WUFI, Beispiel 3	99
Abbildung 54: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „mineralischer Außenputz“ [32]	101
Abbildung 55: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „EPS-Dämmung“ [32]	102
Abbildung 56: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Spanplatte V 100“ [32]	103
Abbildung 57: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Isover GW Integra ZWF 032“ [32]	104
Abbildung 58: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Agepan OSB/3 PUR“ [32]	105
Abbildung 59: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Mineralfaser“ [32]	106
Abbildung 60: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Gipskartonplatte“ [32]	107
Abbildung 61: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 3.....	108

Abbildung 62: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 3.....	110
Abbildung 63: Wassergehalt der 1 mm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 3	113
Abbildung 64: Holzfeuchtigkeit der Schicht „Spanplatte V100“.....	114
Abbildung 65: Holzfeuchtigkeit der Schicht „AGEPAN OSB/3 PUR“.....	114
Abbildung 66: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 3.....	115
Abbildung 67: Wassergehalt der Spore [kg/m^3] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 3	116
Abbildung 68: Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchtekategorie 4, Beispiel 3	119
Abbildung 69: : Ergebnis der Berechnung nach ÖNORM EN ISO 13788 für die Feuchtekategorie 3, Beispiel 3	120
Abbildung 70: Holzriegelaußenwand, mit Hinterlüftung und mit gedämmter Installationsebene.....	122
Abbildung 71: Aufbau des Bauteils in WUFI, Beispiel 4	124
Abbildung 72: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Spanplatte V 100“, Beispiel 4 [32].....	126
Abbildung 73: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Isover GW Integra ZKF 032“, Beispiel 4 [32]	127
Abbildung 74: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Gipskartonplatte“, Beispiel 4 [32]	128
Abbildung 75: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Dampfbremse ($s_d=10 \text{ m}$)“, Beispiel 4 [32]	129
Abbildung 76: Materialkennwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren der Schicht „Mineralfaser“, Beispiel 4 [32]	130
Abbildung 77: Verlauf des Gesamtwassergehaltes über den Berechnungszeitraum, Beispiel 4.....	131
Abbildung 78: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 4.....	133
Abbildung 79: Wassergehalt der 1 mm dicken Schicht der Dämmung, Beispiel 4	136
Abbildung 80 Holzfeuchtigkeit der Schicht „Spanplatte V100“, Beispiel 4	137
Abbildung 81: Temperatur/Feuchtediagramm für die Innenoberfläche, Beispiel 3.....	137
Abbildung 82: Wassergehalt der Spore [kg/m^3] über den Berechnungszeitraum und die daraus abgeleitete Wachstumsrate [mm], Beispiel 4	138

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 9.2-Tabelle 3	12
Tabelle 2: klimatische Randbedingungen für den Standort Klagenfurt (Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003	19
Tabelle 3: Außenbedingungen nach ÖNORM B 8110-5 und Unterschiede der Monatsmittelwerte der Außentemperatur θ_e	21
Tabelle 4: Innenrandbedingungen und Unterschiede der resultierenden Innentemperaturen	22
Tabelle 5: Variante A-Außenrandbedingungen für die Außenlufttemperatur von -16 °C	24
Tabelle 6: Variante B-Außenrandbedingungen für den mittleren jährlichen Tiefstwert für den Standort Klagenfurt von -11,6 °C	24
Tabelle 7: Variante A, Innenrandbedingungen	25
Tabelle 8: Variante B, Innenrandbedingungen	25
Tabelle 9: klimatische Randbedingungen für den Standort Klagenfurt (Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 (Schimmelbefall)	26
Tabelle 10: Aufbau der Außenwand und die dazugehörigen Materialkennwerte	27
Tabelle 11: klimatische Randbedingungen für den Standort Klagenfurt (Seehöhe 450 m) gemäß ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003 (Oberflächenkondensat)	29
Tabelle 12: Aufbau der Außenwand und die dazugehörigen Materialkennwerte	30
Tabelle 13: Geforderter Bemessungstemperaturfaktor lt. ÖNORM B 8110-2:2020 und ÖNORM B 8110-2:2003	32
Tabelle 14: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2, Wärmeübergangswiderstände an der Oberfläche [3]	33
Tabelle 15: Übersicht der Randbedingungen für das Außenklima	35
Tabelle 16: Übersicht der Randbedingungen für das Innenklima	35
Tabelle 17: Auszug aus der ÖNORM B 8110-2:2020, Kapitel 9.2-Tabelle 3 + Ergänzung zur Erklärung der Werte-Entstehung	38
Tabelle 18: sd-Werte für nachweisfreie Außenbauteile in Leichtbauweise für die Luftfeuchteklasse 3 [1]	39
Tabelle 19: Maximale Tauwassermenge gemäß unterschiedlicher Normen	49
Tabelle 20: Schimmelwachstum und Mould – Index [27, 28]	51
Tabelle 21: Luftdichtheitsklassen des Programms WUFI [31]	52
Tabelle 22: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 1	54
Tabelle 23: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 1	54
Tabelle 24: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 1	56
Tabelle 25: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 1	60
Tabelle 26: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 1	61
Tabelle 27: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Wassergehalt der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ [32]	62
Tabelle 28: gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „Rockwool Klemmrock 035“ [32]	63
Tabelle 29: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 1	67
Tabelle 30: Materialkennwerte lt. ÖNORM B 8110-7, Beispiel 1 [34]	68
Tabelle 31: Zusammenfassung der Ergebnisse, Berechnungsbeispiel 1	70
Tabelle 32: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 2	74
Tabelle 33: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 2	74
Tabelle 34: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 2	76
Tabelle 35: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 2	86
Tabelle 36: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 2	86

Tabelle 37: Wärmeleitfähigkeit der Schicht (EPS), feuchteabhängig	88
Tabelle 38: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 2	92
Tabelle 39: Materialkennwerte der verschiedenen Schichten, Beispiel 2	93
Tabelle 40: Zusammenfassung der Ergebnisse, Beispiel 2	95
Tabelle 41: Begrenzung der Holzfeuchtigkeit gemäß ÖNORM B 8110-2:2003 und ÖNORM B 3802-2:2015 [3] [37].....	97
Tabelle 42: sd-Werte für nachweisfreie Außenbauteile in Leichtbauweise für die Luftfeuchteklasse 3 [1]	97
Tabelle 43: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 3	98
Tabelle 44: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 3	98
Tabelle 45: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 3	100
Tabelle 46: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 3	109
Tabelle 47: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 3	109
Tabelle 48: Wärmeleitfähigkeit der Schicht (ISOVER GW Interga ZKF-0,32), feuchteabhängig, Beispiel 3	111
Tabelle 49: gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „ISOVER GW Integra ZKF - 032“ [32]	112
Tabelle 50: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 3	117
Tabelle 51: Materialkennwerte lt. ÖNORM B 8110-7, Beispiel 3	118
Tabelle 52: zulässige Kondensatmenge für Spanplatte V 100 für die Feuchteklasse 4, Beispiel 3	119
Tabelle 53: zulässige Kondensatmenge für Spanplatte V 100 für die Feuchteklasse 3 ..	120
Tabelle 54: Zusammenfassung der Ergebnisse, Beispiel 3	121
Tabelle 55: Oberflächenübergangskoeffizienten Außen, Beispiel 4	123
Tabelle 56: Oberflächenübergangskoeffizienten Innen, Beispiel 4	123
Tabelle 57: Materialkennwerte der Datenbank des Programms „WUFI“, Beispiel 4	125
Tabelle 58: Gesamtwassergehalt im Bauteil, Beispiel 4	132
Tabelle 59: Wassergehalt in den einzelnen Schichten über den Berechnungszeitraum, Beispiel 4	132
Tabelle 60: Wärmeleitfähigkeit der Schicht (ISOVER GW Interga ZKF-0,32), feuchteabhängig, Beispiel 4	134
Tabelle 61: gemessene Feuchtespeicherfunktion der Schicht „ISOVER GW Integra ZKF - 032“ [32]	135
Tabelle 62: abschließende Bewertung des Bauteils, Beispiel 4	139
Tabelle 63: Materialkennwerte lt. ÖNORM B 8110-7, Beispiel 4	140
Tabelle 64: Zusammenfassung der Ergebnisse, Beispiel 4	141
Tabelle 65: kurze Übersicht der Unterschiede zwischen stationären und instationären Berechnungsverfahren für den Nachweis von Kondensation im Inneren	142