

Neue hochwärmedämmende Holzleichtbauweisen für Objekte im Passivhausstandard

C. Müller

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

20/2009

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Währingerstraße 121/3, 1180 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Neue hochwärmedämmende Holzleichtbauweisen für Objekte im Passivhausstandard

Ing. Christof Müller, DI (FH) Marius Schorer,
DI (FH) Arnold Flaschberger
Weissenseer Holz-System-Bau GmbH

Ing. Werner Thalhammer, DI Patrick Plaschke,
Ing. Alexander Wegscheider
Ing. E. Roth Holzbauwerke GmbH

Wolfram Reisinger, Gabriele Leibetseder
Isocell Vertriebs GmbH

DI (FH) Markus Mente, Ing. Günther Moser
Knauf Insulation Technology GmbH

Dr. Christoph Buxbaum, DI (FH) Albert Seiler
Fachhochschule Kärnten

Greifenburg, März 2009

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Kurzfassung

Motivation, Ziele, Methode

Hauptziel des Projektes war die Entwicklung neuer hochwärmedämmender Holzleichtbauweisen, die für den Einsatz in Objekten im Passivhausstandard geeignet sind. Die Entwicklung und Konzeption der Baukonstruktionen erfolgte in Kooperation zwischen dem Unternehmen Weissenseer Holz-System-Bau GmbH. mit den Unternehmen Ing. E. Roth Holzbauwerke GmbH., Isocell Vertriebs GmbH., Knauf Insulation Technology GmbH. sowie der Fachhochschule Kärnten, da das Know-how und die langjährigen Erfahrung der Unternehmen in ihren jeweiligen Arbeitsbereichen bzw. Anwendungsgebieten im Zuge des Projektes wertvolle Synergieeffekte erwarten lässt. Zielsetzung ist es, ein Projekt zur Technologie- und Komponentenentwicklung so umzusetzen, dass daraus signifikante Impulse auf den Stand der Technik im Passivhausbau ausgeübt werden.

Ziele und Arbeitspakete:

- Entwicklung einer neuen Holztafelbauweise und von Bauteilen mit hohem Vorfertigungsgrad
- Wissenschaftliche Beurteilung der entwickelten Baukonstruktionen mittels des Einsatzes spezieller FEM- Simulationsverfahren und durch in situ Untersuchungen an einem Versuchs- bzw. Demonstrationsbau
- Ableitung von Aussagen über das hygrothermische Langzeitverhalten der entwickelten Baukonstruktionen bzw. -teile
- Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs sowohl im gesamten Erstellprozess, als auch in der Logistikkette
- Optimierung der gestalterischen Freiheit im Passivhaus durch Entwicklung von Modulelementen
- Durch die Umsetzung des F&E-Projektes, konnte ein technischer Vorsprung unserer Passivhäuser und der angewandten Herstelltechnologie erarbeitet werden. Die zu entwickelnde Holzleichtbauweise soll einen neuen Standard in der Passivhausfertigung setzen - sowohl im Bereich Neubau als auch bei der Sanierung. Dies soll helfen, die Durchlaufzeit von zu realisierenden Projekten maßgeblich zu senken. Neben der Absicherung der bestehenden Arbeitsplätze, wurde auch durch das vorliegende Projekt, im Rahmen der Intensivierung unserer F&E-Aktivitäten, der zusätzliche Ausbau von mehreren Arbeitsplätzen erreicht. Darüber hinaus konnte unter anderem vor dem Hintergrund des aus dem Projekt gewonnenen Know-how eine groß angelegte Betriebserweiterung der Weissenseer Holz-System-Bau erreicht werden. So wurde 2008 in Greifenburg ein neues Werk für die Produktion von hochwärmedämmten Gebäudehüllen errichtet, in welches die Erkenntnisse aus dem F&E-Projekt eingeflossen sind.

- Die gemeinsame Umsetzung mit den Projektpartnern führte zu einem intensiven Know-how- und Wissenstransfer und unterstützt die Maßnahmen zur Höher-Qualifizierung unserer Mitarbeiter und zu positiven regionalpolitischen Auswirkungen bspw. im Bereich der Beschäftigung. Während dem Projekt gelang es auch, den Exportanteil auf 25 % zu steigern. Bei gleichzeitigem Einsatz von heimischen Rohstoffen wird dadurch ein positiver Effekt auf die österr. Leistungsbilanz ausgeübt und ein wichtiger Beitrag zum nachhaltigen Bauen geleistet.

Herausforderungen waren dabei:

- Vereinbarkeit von bauphysikalisch - energetischen und statisch - konstruktiven Anforderungen
- Langlebigkeit der eingesetzten Bau- und Dämmstoffe
- Maßnahmen zur Sicherstellung der Luftdichtheit
- Verzicht auf "konventionelle" Dampfbremsen
- Sicherstellung der Genauigkeit der Simulationsergebnisse durch Eingabeparameter
- Überführen der Ergebnisse in die Serienfertigung
- In situ Messungen unter extremen Klimabedingungen [der Demonstrationsbau wurde als schwimmendes Haus ausgebildet]

Methodische Vorgehensweise:

- Optimierung der neu entwickelten Konstruktionen unter Einsatz moderner, bauphysikalischer Simulationsverfahren
- Beurteilung des tatsächlichen Verhaltens der entwickelten Bauteile im realitätsnahen Freilandversuch unter natürlichen klimatischen Randbedingung – Durchführung von in situ Messungen

Ergebnisse und Schlussfolgerungen:

Zusammenfassend ist als Endergebnis des Projektes festzuhalten, dass:

- durch die Umsetzung des F&E-Projektes ein technischer Vorsprung unserer Passivhäuser und der Herstelltechnologie erarbeitet werden konnte
- die Durchlaufzeit von zu realisierenden Projekten mit der neuen Technologie maßgeblich zu senken ist
- neben der Absicherung der bestehenden Arbeitsplätze konnte in den vergangenen Jahren im Rahmen der Intensivierung unserer F&E-Aktivitäten der zusätzliche Ausbau von mehreren Arbeitsplätzen erreicht werden. Insgesamt konnte die in der Weissenseer Holz-System-Bau die Zahl der Mitarbeiter zwischen Anfang 2006 und Ende 2008 von 27 auf über 50 gesteigert werden.
- die gemeinsame Umsetzung mit den Partnern im Projekt zu einem intensiven Know-how- Transfer geführt hat und damit auch unsere Maßnahmen zur Höher-Qualifizierung unserer Mitarbeiter unterstützt wurden.

Inhaltsverzeichnis

1	Errichtung Testgebäude	9
1.1	Vorfertigung der Wandbauteile	9
1.2	Aufbaudokumentation	10
2	Messtechnik.....	14
2.1	Sensorik	15
2.2	Datenlogger, Netzwerktechnik und Software	16
2.3	Wetterstation	18
2.4	Wärmeflussmessungen	20
3	Allgemeines zu Vergleichsrechnungen & Langzeitsimulationen	23
3.1	Materialkennwerte.....	24
3.2	Vergleichsrechnungen	29
3.2.1	Beschreibung des eingesetzten Simulationsverfahrens WUFI®	29
3.2.2	Prinzipielle Vorgangsweise bei der Durchführung von Vergleichsrechnungen	31
3.2.3	Ermittlung der Startwerte für die Vergleichsrechnung	32
3.2.4	Außenklima.....	32
3.2.5	Innenklima.....	33
3.3	Langzeitsimulationsrechnungen und Bewertung der Konstruktionen	35
3.3.1	Zeitraum, Startwerte	35
3.3.2	Außenklimavergleich Holzkirchen – Weissensee	36
3.3.3	Innenraumklima	37
3.4	Beurteilungskriterien.....	38
3.4.1	Beurteilungskriterien für eine Beurteilung mit Hilfe instationärer Simulationen	39
4	Untersuchungen am Testobjekt – bauphysikalische Messungen im Testobjekt, vergleichende Simulationsrechnungen und Langzeitanalyse	41
4.1	Bauteil 1.....	45
4.1.1	Bauteilbeschreibung	45
4.1.2	Langzeitberechnung	47
4.2	Bauteil 2.....	53
4.2.1	Bauteilbeschreibung	53
4.2.2	Langzeitberechnung	54
4.3	Bauteil 4.....	62
4.3.1	Bauteilbeschreibung	62
4.3.2	Langzeitberechnung	64
4.4	Bauteil 5.....	68
4.4.1	Bauteilbeschreibung	68
4.4.2	Langzeitberechnung	70
4.5	Bauteil 6.....	76
4.5.1	Bauteilbeschreibung	76
4.5.2	Langzeitberechnung	78
4.6	Bauteil 7.....	83
4.6.1	Bauteilbeschreibung	83
4.6.2	Langzeitberechnung	85
4.7	Bauteil 8.....	90

4.7.1	Bauteilbeschreibung	90
4.7.2	Langzeitberechnung	92
4.8	Bauteil 9	97
4.8.1	Bauteilbeschreibung	97
4.8.2	Langzeitberechnung	99
4.9	Bauteil 10	104
4.9.1	Bauteilbeschreibung	104
4.9.2	Langzeitberechnung	106
4.10	Bauteil 11	112
4.10.1	Bauteilbeschreibung	112
4.10.2	Langzeitberechnung	114
	Abbildungsverzeichnis.....	119
	Tabellenverzeichnis.....	122
	Literaturverzeichnis.....	124

Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „NHHB“ – Neue hochgedämmte Holzbaukonstruktionen wurden durch die Unternehmen Weissenseer Holz-System-Bau GmbH, Ing. E. Roth Holzbauwerke GmbH., Isocell Vertriebs GmbH. und Knauf Insulation Technology GmbH., in Kooperation mit der Fachhochschule Kärnten als wissenschaftlichen Partner, hochgedämmte Wandbauteile für Gebäudehüllen in Holzbauweise entwickelt und hinsichtlich ihres hygrothermischen Wirkungsweise analysiert und optimiert. Ziel der Forschungstätigkeiten war es, die Wirkungsweise und im Speziellen das hygrothermische Langzeitverhalten von energetisch hocheffizienten Baukonstruktionen unter realen klimatischen Beanspruchungen zu bewerten, um zukünftig weitere Entwicklungen und Optimierungen im Bereich der Passivhausbauweise zu ermöglichen.

Im Projektverlauf wurden verschiedenste Bauteilvariationen, bestehend aus unterschiedlichen Bau- und Dämmstoffkombinationen konzipiert und unter bauphysikalischen Gesichtspunkten analysiert und optimiert. Bei der Entwicklung, Analyse und Optimierung der Baukonstruktionen und –bauteile sowie der Anschluss- und Detailsituationen wurden im Gegensatz zu den derzeitigen Normenverfahren, welche nur bedingt Rückschlüsse auf das reale Bauteilverhalten zulassen, seitens der FH Kärnten spezielle, dynamische Simulationsverfahren eingesetzt. Diese modernen Verfahren werden in der gegenwärtigen bauphysikalischen Forschung erfolgreich verwendet, um die zu erwartende Bauteilperformance schon im Designstadium möglichst realitätsnah zu beurteilen. Dies ist insbesondere im Holzbau von außerordentlicher Bedeutung, da im Speziellen das Trocknungspotential einer Leichtbaukonstruktion deren Wärmedämmwirkung, aber in weiterer Folge auch wesentlich die Dauerhaftigkeit bzw. das Langzeitverhalten eines Bauteils bestimmt. Ergänzend zu diesen theoretischen Untersuchungen wurde ein Testhaus am Weissensee / Kärnten errichtet, an dem ausgewählte Bauteile im Freilandversuch messtechnisch begleitet und analysiert wurden. Die Erkenntnisse, welche im Rahmen dieses Forschungsprojektes erzielt wurden, sollen einerseits Rückschlüsse über die tatsächliche Performance hochgedämmter Gebäudehüllen unter realen klimatischen Randbedingungen ermöglichen und andererseits die Grundlage weiterer innovativer Entwicklungen in diesem Sektor bilden. Unter anderem entwickelte das Projektteam, basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen, weitere spezielle Konstruktionen für das weltweit erste schwimmende Passivhaus, wobei bereits 2008 ein erster Prototyp ebenfalls am Weissensee errichtet wurde. Die Fertigstellung dieses einzigartigen Demonstrations- und Forschungsbaues erfolgte im Herbst 2008 und in situ Messungen, welche mit 12/2008 gestartet wurden, werden zukünftig Erkenntnisse über die Wirkungsweise sowie das Langzeitverhalten dieser neuartigen Konstruktionen liefern.



FFG

KWF

Kärntner
Wirtschaftsförderungs-
Fonds



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie



HAUS
der Zukunft



weissenseer
Building Intelligent Skins



ISOCELL
Vertriebs GmbH

KNAUF INSULATION

Allgemeines

Zu Weissenseer Holz-System-Bau

Als Innovationsführer hat die Weissenseer Holz-System-Bau GmbH (WHSB) die Passivhausherstellung in Holzleichtbauweise revolutioniert und sich internationale Geltung verschafft. Für die WHSB gibt die Passivelementherstellung aus heimischen Holz und ihr vielseitiger Einsatz in privaten vom Einfamiliensektor bis zu Wohnanlagen und Büro oder Industriegebäuden, sowie bei öffentlichen Bauten wie Schulen und Kindergärten bis hin zur nötigen Sanierung energetisch verschwenderischer Altbestände die deutlich richtigste Antwort auf die Anforderungen unserer Zeit.

Durch die Passivbauweise kann auf traditionelle Heiz- oder Kühlmechanismen völlig verzichtet werden, der Energieaufwand solcher Gebäude beträgt nur mehr ein Zehntel vergleichbarer Gebäude mit Dämmstandard lt. Bauordnung.

Zudem wird der Wohnkomfort durch permanente Frischluftzufuhr und gleichmäßiger Oberflächentemperaturen extrem erhöht.

Mit damals nur 24 Mitarbeitern 2005, immerhin schon 27 in 2006 und schließlich 30 zur Jahresmitte 2007 hatte die bestehende Produktionstechnik und Kapazität Ihre Grenzen erreicht und der Umstieg von einem Kleinunternehmen zum mittleren und vor allem industriellen Fertigungsbetrieb wurde in Angriff genommen.

Durch die Aufnahme eines Juniorpartners wurde 2007 die Kapitalbasis des Unternehmens signifikant gestärkt und ein eigenes Finanzmanagement und Controlling geschaffen. Maßgeblich aus Gesellschaftermitteln, aber auch mit Fördermitteln des KWF, EFRE, der BMWA Arbeitsmarktförderung (sowie einer Fremdmittelfinanzierung aus ERP Mitteln in Höhe von € 1 Million) stand nun Ende 2007 ein Investitionsvolumen von fast € 5 Millionen für den Neubau einer Fertigungslinie zur Verfügung.

Im Hinblick auf die erwartete Ausweitung des Umsatzes von € 4,5 Millionen am Ende 2007 auf nahezu € 20 Millionen Ende 2010 und die befriedigende Auftragslage des Unternehmens wurden bereits 2007 die Mitarbeiterzahlen um 10 Stellen erhöht, auch 2008 kamen bis zum heutigen Tage wieder 10 Arbeitsplätze hinzu, so dass der Personalstand im Vollzeitäquivalent nunmehr über 50 Mitarbeiter umfasst, wobei es sich größtenteils um hochqualifiziertes Personal, aber auch um einige neue Lehrstellen handelt.

Anfang 2008 wurde am neuen Standort mit dem hochinnovativen Neubau der „kleinsten Fabrik der Welt“ (im folgenden „KFDW“ genannt) begonnen.

Die KFDW ist eine Eigenentwicklung der WHSB und stellt eine Zusammenführung der jahrelangen Entwicklungsarbeit der WHSB mit einer arbeitsergonomischen und zukunftsweisenden Raumnutzung dar. Als weltweit erste Fabrik im Passivhausstandard und einer optimierten Platzausnutzung wird dieses Industriekonzept bereits heute für den Export angefragt. Mit im Endausbau über 100 Arbeitsplätzen in Produktion, Montage, Verwaltung, Planung und Vertrieb ist die KFDW nicht nur ein gebäudetechnisches, sondern auch ein arbeitsergonomisch beispielgebendes Modul. Die KFDW kann und soll genau in dieser modularen Form auch an anderen Standorten weltweit zum Einsatz kommen können.

Aus Verantwortung für die Zukunft.

Zum F&E Projekt

Das vorliegende Projekt zur Entwicklung einer neuen hochwärmedämmenden Holzleichtbauweise ist ein Kooperationsprojekt unter der Leitung des Unternehmens WEISSENSEER Holz-System-Bau GmbH gemeinsam mit den Unternehmen Ing. E. Roth Holzbauwerke GmbH., Isocell Vertriebs GmbH., Knauf Insulation Technology GmbH. und der Fachhochschule Kärnten. Zielsetzung war es, ein Projekt zur Technologie- und Komponentenentwicklung so umzusetzen, dass daraus signifikante Impulse auf den Stand der Technik im Passivhausbau ausgeübt werden. Darüberhinaus soll ein neuer Standard im Bereich der „hochwärmedämmenden“ Holzleichtbauweise erreicht und vorgegeben werden.

Die Umsetzung mit dem vereinbarten Wissenstransfer unter den Projektpartnern im Zentrum des Projektes soll helfen, die Technologie und damit das nachhaltige Bauen insgesamt in Österreich und in der EU zu forcieren. Die gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere die angepeilten Aussagen über das Langzeitverhalten von Bauelementen und Bauwerken, soll sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung genutzt werden. Die in der Projektgruppe vorhandenen langjährigen Erfahrungen am Markt und die bestehenden Kundenbeziehungen sollen helfen, die erzielten Ergebnisse effizient am Markt umzusetzen.

Das F&E-Projekt verfolgte folgende Zielsetzungen:

- Kooperation von Unternehmen aus der Praxis und wissenschaftlichen Forschungsinstitutionen bzw. Einbeziehung von vorhandenen F&E-Ressourcen der integrierten Projektpartner
- Nutzung vorhandener Erfahrungen in der Konzeption und Umsetzung von F&E-Vorhaben bei den Projektpartner
- Ressourcenoptimierung hinsichtlich Funktionalität und Effizienz der eingesetzten Materialien
- Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren Ressourcen im Bauprozess
- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Produktes über den gesamten Lebenszyklus
- Positive Auswirkung auf die Umwelt

Ergänzend sei noch erwähnt, dass die entwickelten Bauteile in Holztafelbauweise, aus ökologischer Sicht, beachtliche Vorteile bietet. Der Baustoff Holz ist ein nachwachsender und ressourcenschonender Baustoff, der in der Nachhaltigkeitsstrategie eine wesentliche Rolle spielt. Durch den verstärkten Einsatz von Holzkonstruktionen anstelle von nicht nachwachsenden Baustoffe wie z.B. Stahl und Beton kann eine deutliche Einsparung des Energiebedarfs und damit der CO₂- Emissionen erreicht werden.

1 Errichtung Testgebäude

In diesem Kapitel wird die Errichtung des Testgebäudes beschrieben und fotografisch dargestellt. Außerdem wird die Vorfertigung der Wandbauteile im Werk der Firma Weissenseer Holz-System-Bau GmbH kurz beschrieben und ebenso anhand fotografischer Abbildungen dokumentiert.

Untenstehend wird der gesamte Ablauf der Fertigung des Testgebäudes mit grobem Terminzeitplan dargestellt.

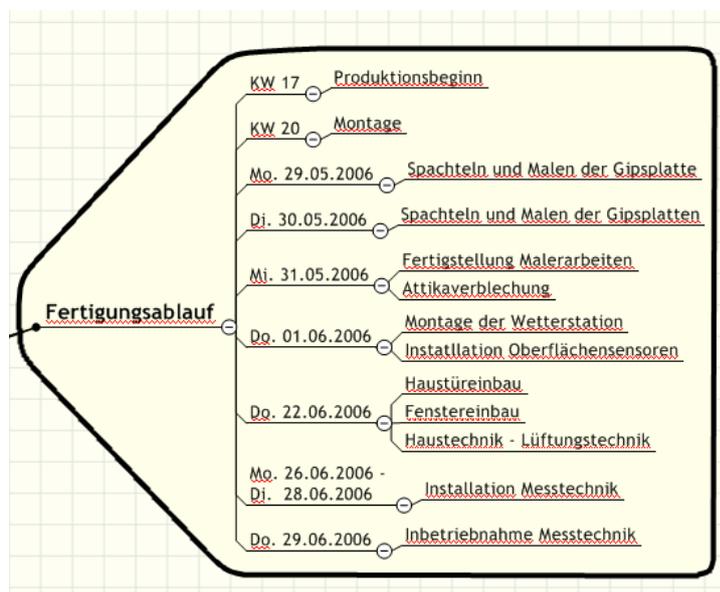


Abbildung 1 – Grober Fertigungsablauf des Testgebäudes im Projekt NHHB

1.1 Vorfertigung der Wandbauteile

Die einzelnen untersuchten Wandbauteile wurden bereits im Werk der Firma Weissenseer Holz-System-Bau GmbH vorgefertigt und mit entsprechender Messsensorik ausgestattet. Im Folgenden wird kurz der Produktionsablauf während der Vorfertigung im Werk der Fa. Weissenseer beschrieben.

Produktionsablauf Fa. Weissenseer Holz-System-Bau GmbH:

Die Vorfertigung der einzelnen Testmodule erfolgte entsprechend der Ausführungsplanung der Fa. Weissenseer und wurde in deren Produktionshalle am Weissensee durchgeführt.

Für den Einbau der Sensorik wurde bei der Vorfertigung eine Wandseite zuerst nur auf einer Seite komplett mit den verschiedenen eingesetzten Plattenelementen wie OSB, Holzweichfaserplatten oder Heraklith BM Platten beplankt und die andere Seite nur bis zur Hälfte (je nach Plattentyp bis zu einer Höhe von 1,25m – 1,50m) geschlossen. Das Einlegen bzw. Einblasen des Dämmstoffes erfolgte erst im Anschluss. Details zu den einzelnen Wandaufbauten und den exakten Positionen der einzelnen Sensoren sind unter Kapitel 4 zu entnehmen.

1.2 Aufbaudokumentation



Abbildung 2 – Provisorisches Fundament des Testgebäudes



Abbildung 3 – Anlieferung des Boden- und Dachelementes

Nach Fertigung der Wandelemente werden diese auf LKW-Anhänger verladen, zum Aufbauort transportiert und dort versetzt. Die Dokumentation des Aufbaues des Testgebäudes wird im folgenden Abschnitt dokumentiert.



Abbildung 4 – Versetzen des Bodenelementes



Abbildung 5 – Einheben eines Wandbauteiles



Abbildung 6 – Versetzen eines Wandbauteiles



Abbildung 7 – Zusammenfügen zweier Wandbauteile



Abbildung 8 – Detailaufnahme der Verbindung zweier Wandelemente



Abbildung 9 – Abstützen der versetzten Wandelemente



Abbildung 10 – Versetzen eines Wandelementes



Abbildung 11 – Vorbereitungsarbeiten für das Versetzen des Dachelementes



Abbildung 12 – Versetzen des Dachelementes



Abbildung 13 - Versetzen des Dachelementes



Abbildung 14 – Innenansicht nach Versetzen der Decke



Abbildung 15 – Aufbringen der Ausgleichslage für die Flachdach- Abdichtungsbahn



Abbildung 16 - Ausgleichslage für die Flachdach-
Abdichtungsbahn



Abbildung 17 – Verlegen der Flachdach-
Abdichtung



Abbildung 18 – Dacheindeckung mit Kies- bzw.
Foliendach



Abbildung 19 – Testgebäude nach Einbau der
Fenstererelemente



Abbildung 20 – Wohnraum- Lüftungsanlage



Abbildung 21 – Provisorisch verlegte Lüftungsrohre



Abbildung 22 - Innenansicht der Messwerterfassungsanlage



Abbildung 23 - Nahaufnahme eines Datenloggers

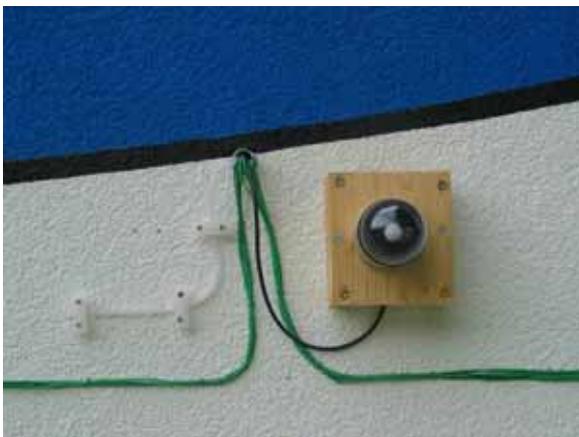


Abbildung 24 - Außenliegender Globalstrahlungsmesskopf und Differenzdruckmessschlauch



Abbildung 25 - Automatische Wetterstation



Abbildung 26 - Fertiggestelltes Testgebäude



Abbildung 27 - Bautafel

2 Messtechnik

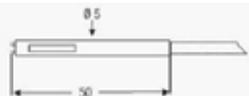
In diesem Kapitel wird die im Testhaus eingebaute Messtechnik, die Art der Messdatenerfassung sowie die Art des Einbaus der Sensoren beschrieben und fotografisch dargestellt.

2.1 Sensorik

Im Rahmen der Untersuchungen wurden ausschliesslich Produkte der Fa. Ahlborn Messtechnik aus Holzkirchen / Deutschland. Mit Hilfe der verwendeten Messtechnik wurden folgende Parameter erfasst.

- Temperatur in Schichtgrenzen
- Relative Feuchten in Schichtgrenzen
- Temperaturen der Bauteiloberflächen Innen und Außen
- Materialfeuchte in Holzbauteilen
- Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenraum

Nachstehend angeführte Tabelle zeigt im Detail die verwendete Sensorik zur Erfassung der oben angeführten Messgrößen inklusive Messbereichen und Messgenauigkeiten.

Typ	Einsatz	Abbildung	Messbereich	Genauigkeit
FHA9461	Betauungsdetektor inkl. Temperatursensor		0°C - 70°C	k.A.
T190-2	Oberflächentemperatur Innen		-10°C - 105°C	k.A.
T190-10	Oberflächentemperatur Außen Temperatur im Inneren der Bauteile		-200°C - 205°C	k.A.
FHA646R	kombinierter Temperatur- und Feuchtefühler. Innenraum, im Bauteilinneren		-30°C - 100°C	±0.4°C (-20°C - 0°C) ±0.1°C (0°C - 70°C) ±0.6°C (70°C - 100°C)

			5% - 98%	± 2% r.H.
FQ90xx	Wärmeflussplatte Kurzzeitmessung des Wärmedurchganges zur Bestimmung des U-Wertes		k.A.	5% bei 25°C
FDA612MR	Druckmessmodul für Differenzdruck		±1000mbar	±0.5%
FHA696MF	Materialfeuchtegeber		0% - 50%	k.A.
Alle Angaben lt. Produktdatenblätter der Fa. Ahlborn				

Tabelle 1 - Verwendete Messgeräte, angeschlossen an automatische Messdatenerfassung (alle Angaben lt. Hersteller)

Die genaue Position der einzelnen Sensoren in den untersuchten Wandaufbauten wird in Kapitel 4 genauer beschrieben und auch grafisch dargestellt.

Der Einbau der verwendeten und oben beschriebenen Messtechnik fand im Mai 2006 statt, wobei die Endabnahme und die endgültige Inbetriebnahme durch einen Vertreter des Messtechnik- Unternehmens Anfang Juni 2006 erfolgte.

2.2 Datenlogger, Netzwerktechnik und Software

Genauso wie die unter Pkt. 2.1 beschriebene Messtechnik ist auch die gesamte Ausstattung zur Datenerfassung und Datenspeicherung sowie die Software zum Messdatenmanagement ein Produkt der Fa. Ahlborn.

Zur Datenerfassung wurden im Testhaus zwei Datenlogger miteinander vernetzt, an welche sämtliche Sensoren der Bauteile, mit Ausnahme der Wetterstation, angeschlossen sind. Diese Datenlogger sind wiederum über ein Netzkabel an einen stationären PC angeschlossen auf dem die Software für die Steuerung der Sensoren sowie zur Auswertung der Ergebnisse installiert ist. Die Messdatenerfassung erfolgt im 1h Stundenrhythmus und die erfassten Daten werden einerseits auf der Festplatte des Computers als auch im Datenlogger selbst gespeichert. Die Messdaten wurden in regelmäßigen Zeitabständen ausgelesen und entsprechende Sicherungskopien erstellt. Der stationäre PC wurde zusätzlich mit einer USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) ausgestattet, um mögliche kurzzeitige Stromausfälle und dergleichen überbrücken zu können. Vorweg sei jedoch angemerkt, dass Stromausfälle und somit Datenverluste aufgrund extremer Witterungsereignisse im Untersuchungszeitraum nicht gänzlich verhindert werden konnte.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die einzelnen Datenerfassungskomponenten sowie Teile der verwendeten Messsensorik:



Abbildung 28 - Messwerterfassungsanlage mit Desktop PC



Abbildung 29 - Datenlogger



Abbildung 30 - Netzwerkverteiler



Abbildung 31 - Eingebauter Oberflächentempersensur



Abbildung 32 - Globalstrahlungssensur an der Fassade



Abbildung 33 - Kabelführung an der Innenseite der Westwand



Oberfläch

stfassade



Abbildung 37 – Automatische Wetterstation

Abbildung 36 - Raumtemperatur- und Feuchtesensor



Abbildung 38 – Detailansicht des Datenloggers und des Schutzgehäuses der Wetterstation

2.3 Wetterstation

In diesem Kapitel wird die zur Erfassung der erforderlichen meteorologischen Klimadaten eingesetzte Wetterstation näher beschrieben und die Bedeutung der einzelnen gemessenen Kennwerte erläutert. Die eingesetzte Wetterstation (Produkt der Fa. Ahlborn) ist nachstehend abgebildet.

Warum ist es nun jedoch nötig die meteorologischen Kenndaten genau zu erfassen und in die Simulationsrechnung mit einzubeziehen?

Das Fraunhofer Institut gibt zum Thema Klimadaten folgende Erklärung für die Wichtigkeit der standortabhängigen Klimadaten in der WUFI pro 4.0 Online Hilfe [1] an die hier zitiert seien:

WUFI berechnet, ausgehend von einem Anfangszustand, die zeitliche Entwicklung der Temperatur- bzw. Feuchteverteilung im Bauteil. Diese Entwicklung wird nicht nur durch die zugrundeliegenden

Transportgleichungen bestimmt, welche die Vorgänge im Bauteil beschreiben, sondern auch durch den Austausch von Wärme und Feuchte mit der Umgebung. Es treten also durch die Bauteiloberfläche hindurch Wärme- bzw. Feuchteströme auf, deren Richtung und Ausmaß sowohl vom Zustand im Bauteil als auch vom Zustand der Umgebung abhängt. Letzterer wird durch die Randbedingungen beschrieben. Da WUFI speziell für bauphysikalische Anwendungen vorgesehen ist, kommt als Umgebungsmedium in erster Linie die Umgebungsluft in Betracht (Außenluft, Innenraumluft). Nachdem es außerdem das Verhalten bewitterter Bauteile berechnen soll, bietet es sich an, den Zustand der Umgebung durch meteorologische Angaben zu beschreiben, wie z.B. Temperatur, relative Feuchte, Sonnenstrahlung etc., da so ein anschaulicher Bezug zur bauphysikalischen Praxis gegeben ist und einschlägige Messdaten ohnehin in dieser Form vorliegen.

Um nun eine realitätsgetreue Untersuchung der eingesetzten Wandbauteile mit Hilfe der Simulationssoftware „WUFI“ zu ermöglichen ist die Bestimmung folgender Klimadaten notwendig.

Innen:

- Die Temperatur der Innenluft [°C]
- Die relative Feuchte der Innenluft [%]

Außen:

- Die Temperatur der Außenluft [°C]
- Die relative Feuchte der Außenluft [%]
- Der Luftdruck [hPa]
- Die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende Regenmenge [Ltr/m²h] unter Berücksichtigung der Neigung und Orientierung der Außenoberfläche
- Die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende Globalstrahlung [W/m²] unter Berücksichtigung der Neigung und Orientierung der Außenoberfläche

Nachstehende Abbildungen zeigen die vor Ort eingesetzte Messtechnik zur Erfassung aller oben erwähnten Klimadaten.



Abbildung 39 - Globalstrahlungsmesskopf



Abbildung 40 - Druckmodul



Abbildung 41 - Windrichtungsgeber



Abbildung 42 - Windgeschwindigkeitsgeber



Abbildung 43 – Feuchte- und Temperaturtransmitter

Abbildung 44 - Datenlogger

Die mit Hilfe der oben beschriebenen Messgeräte bestimmten Wetterdaten werden stündlich erfasst und protokolliert und finden dann als Randbedingung Eingang in die Berechnung und erlauben dadurch eine der Realität entsprechende rechnerische Beurteilung der untersuchten Wandaufbauten.

2.4 Wärmeflussmessungen

In diesem Kapitel wird die experimentelle Bestimmung des U-Wertes mithilfe einer Wärmeflussplatte sowie 4 Temperatursensoren beschrieben und erläutert.

Im Zuge der messtechnischen Untersuchung der 12 unterschiedlichen Wandaufbauten wird auch der Transmissionswärmeschutz der einzelnen Konstruktionen unter realen klimatischen Bedingungen messtechnisch bestimmt.

Um diese Untersuchung zu ermöglichen wird an den einzelnen Bauteilen folgende Messtechnik installiert:

- Wärmeflussplatte 500mm x 500mm
- Innenlufttemperatursensor im Abstand von 10cm von der Wandoberfläche
- Wandinnentemperatursensor
- Außenlufttemperatursensor im Abstand von 10cm von der Wandoberfläche
- Wandaußentemperatur

Diese Messtechnik wird an einen Datenlogger angeschlossen und die jeweiligen Messwerte im 10 bzw. 60 Minuten Abstand gespeichert.

Folgende Grafik zeigt exemplarisch den Versuchsaufbau an einem beliebigen Bauteil

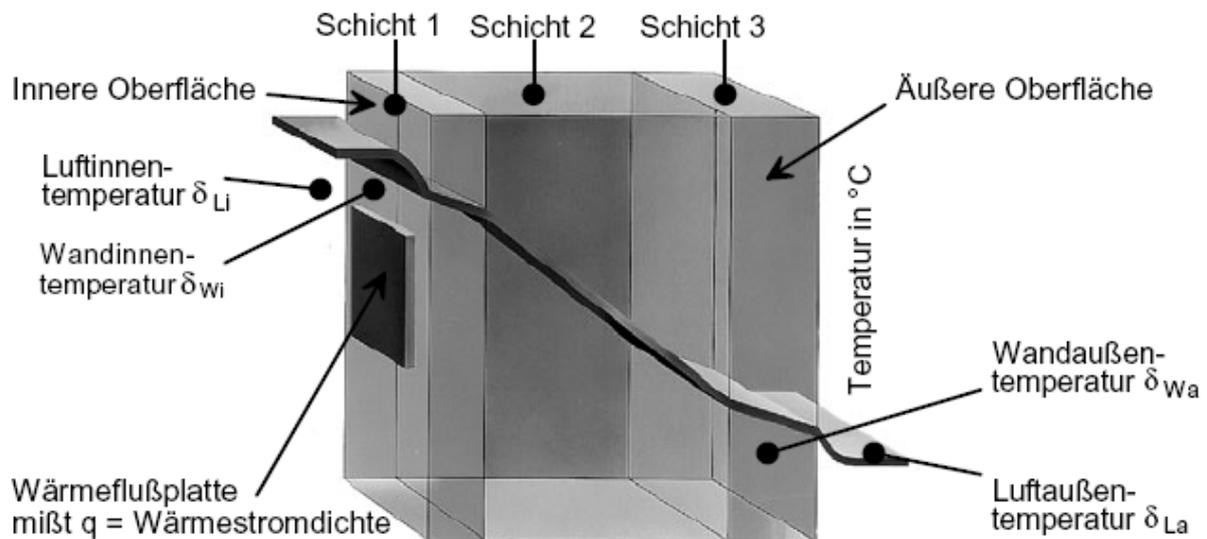


Abbildung 45 - Darstellung des Temperaturverlaufes durch ein beliebiges Bauteil inklusive Anordnung der verwendeten Messtechnik

Im Anschluss daran wurden aus den gemessenen Daten anhand folgender Formeln die einzelnen wärmetechnischen Parameter errechnet.

$$\text{Wärmeübergangskoeffizient } \alpha_i = \frac{\text{Wärmestromdichte } q}{\text{Wandinnentemperatur } T_{Wi} - \text{Luftinnentemperatur } T_{Li}}$$

$$\text{Wärmeübergangskoeffizient } \alpha_a = \frac{\text{Wärmestromdichte } q}{\text{Wandaußentemperatur } T_{Wa} - \text{Luftaußentemperatur } T_{La}}$$

$$\text{Wärmedurchlasskoeffizient } \Lambda = \frac{\text{Wärmestromdichte } q}{\text{Wandinnentemperatur } T_{Wi} - \text{Wandaußentemperatur } T_{Wa}}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$\text{Experimenteller k-Wert } k = \frac{\text{Wärmestromdichte } q}{\text{Luftinnentemperatur } T_{Li} - \text{Luftaußentemperatur } T_{La}}$$

DIN-k-Wert

$$k = \frac{1}{1/\alpha_i + 1/\Lambda + 1/\alpha_a}$$

DIN 4108:

$\alpha_i = 8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ und

$\alpha_a = 23,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$1/\alpha_i + 1/\alpha_a = 0,16578$

Ziel dieser messtechnischen Untersuchung ist es, den tatsächlichen Wärmefluss durch die jeweiligen Bauteile und somit deren Dämmwirkung im realitätsnahen Freilandversuch zu analysieren und mögliche Verbesserungen oder Verschlechterungen gegenüber theoretisch ermittelten Werten festzustellen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die zur Erfassung der oben erwähnten wärmetechnischen Parameter installierte Messtechnik:



Abbildung 46 - Wärmeflussplatte inklusive
Temperatursensoren und Datenlogger



Abbildung 47- Messaufbau zur Wärmefluss- Analyse

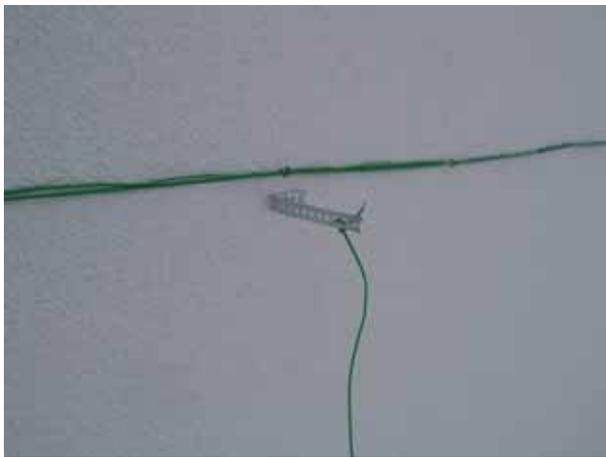


Abbildung 48 – Temperatursensoren-
Aussenoberfläche

3 Allgemeines zu Langzeitsimulationen

Im folgenden Kapitel werden Ergebnisse der Simulationsberechnungen dargestellt, welche eine realitätsnahe Beurteilung des zukünftigen Bauteilverhaltenes ermöglichen.

Hierbei ist anzumerken, dass Simulationen unter genau definierten Randbedingungen durchgeführt werden. Eine Änderung dieser beeinflussenden Faktoren im Zeitverlauf wie zB. erhöhte klimatische Beanspruchung

(zB. Steigerung der Luftfeuchte im Innenraum, etc.), tatsächliche Eigenschaften der eingesetzten Materialien (Zusammensetzung, Lagerung, etc.) sowie insbesondere der Ausführungsqualität (Luftundichtheiten, etc.) in der Praxis kann sich daher nachteilig auf die hygrothermische Bauteilperformance auswirken!

3.1 Materialkennwerte

Folgende Materialkenndaten jedes Materials sind für eine instationäre Berechnung zumindest erforderlich:

- Rohdichte ρ
- Spezifische Wärmekapazität c
- Wärmeleitfähigkeit λ (+ feuchteabhängige Zunahme)
- Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ
- Porosität ϵ
- Feuchtespeicherfunktion
- Wasseraufnahmekoeffizient

Die Bestimmung der Materialkennwerte ist ein ausgesprochen wichtiger Punkt, um eine realitätsnahe Simulationsrechnung zu ermöglichen. Materialkennwerte die nicht seitens der Hersteller nicht bekannt gegeben wurden aus der Materialdatenbank der eingesetzten Software WUFI[®] sowie tw. aus der DIN 4108-2 [25] entnommen.

Tabellen 2-13 zeigen die der Berechnung zugrunde gelegten Materialkenndaten. Kursiv gedruckte Angaben stehen für aus DIN 4108-4 [24] oder aus Hersteller – Angaben bzw. Prüfberichten entnommene Werte. Normal gedruckte Angaben stehen für Werte aus der WUFI eigenen Materialdatenbank.

Der Bezugsfeuchtegehalt w_{30} wird in den Tabellen stellvertretend für die Feuchtespeicherfunktion angegeben. Er wurde aus den vorhandenen Sorptionskurven abgelesen. In der Simulationsrechnung wurden, soweit vorhanden, vollständige Funktionen und keine Approximationen verwendet.

Die Angaben der Heraklith BM 50 Platte entstammen aus dem Bericht der TU-Wien vom Juli 2001 „Untersuchung der bauphysikalischen Eigenschaften einer leichten Wandkonstruktion mit Holzwolleleichtbauplatten (Knauf Insulation) und deren Veränderung nach Optimierung des Wandaufbaues“. [8]

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, die Porosität, sowie der w - Wert wurden von Knauf Insulation bekannt gegeben.

Die Angaben der Zellulose Dämmung entstammen der MASEA Materialdatenbank [3] bzw. materialtechnischen Untersuchungen des Forschungs- und Entwicklungslabors des Instituts für Bauklimatik der TU Dresden.

Hinweis 1: Da alle Materialeigenschaften von Baustoffen herstellungs- oder verarbeitungsbedingten Schwankungen unterworfen sind, ist es zweckmäßig, die Stoffkennwerte bei der Berechnung analog zu den Vorgaben in der DIN 4108-4 in bestimmten Grenzen zu variieren. Die DIN 4108-4 gibt obere bzw. untere

Grenzwerte an die den Bereich der möglichen Werte abdecken. Innerhalb dieser Grenzen sollte man bei Simulationsrechnungen variieren, um zum bestmöglichen Ergebnis zu kommen.

Hinweis 2: Die in der Rechnung verwendeten Materialbezeichnungen decken sich großteils mit den in der Materialdatenbank von „WUFI“ verwendeten Bezeichnungen, obwohl nicht alle Materialkennwerte übereinstimmen.

EPS - Dämmung	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	15,00	kg/m ³
Porosität ϵ	0,95	-
Spezifische Wärmekapazität c	1500,00	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,04	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	-	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	30	-
Freie Wassersättigung w_f	-	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	-	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	-	kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	-	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 2: Materialkennwerte EPS - Dämmung

Mineralischer Außenputz	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	1900	kg/m ³
Porosität ϵ	0,24	-
Spezifische Wärmekapazität c	850	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,8	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	8,0	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	25	-
Freie Wassersättigung w_f	210	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	45	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	0,1	kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,00167	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 3: Materialkennwerte Mineralischer Außenputz

Massivholzplatte – ROTH / WIGO	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	455	kg/m ³
Porosität ϵ	0,73	-

Spezifische Wärmekapazität c	1500	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,13	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	1,3	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	15	-
Freie Wassersättigung w_f	600	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	80	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	0,42	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,007	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 4: Materialkennwerte Massivholzplatte ROTH / WIGO

Gipskartonplatte	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	1153	kg/m ³
Porosität ϵ	0,52	-
Spezifische Wärmekapazität c	1200	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,32	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	-	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	16	-
Freie Wassersättigung w_f	399,7	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	35,0	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	-	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	-	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 5: Materialkennwerte Gipskartonplatte

Isocell Einblasdämmung	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	55,2	kg/m ³
Porosität ϵ	0,93	-
Spezifische Wärmekapazität c	2500	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,04	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	0,5	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	2	-
Freie Wassersättigung w_f	490	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	6,6	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	34,0	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,567	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 6: Materialkennwerte Isocell Einblasdämmung

Mineralfaser Heralan FP	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	60	kg/m ³
Porosität ϵ	0,95	-

Spezifische Wärmekapazität c	850	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,04	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	-	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	1,3	-
Freie Wassersättigung w_f	-	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	-	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	-	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	-	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 7: Materialkennwerte Mineralfaser Heralan FP

Heraklith BM 50, BM 35	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	320,00	kg/m ³
Porosität ϵ	0,40	-
Spezifische Wärmekapazität c	2000,00	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,09	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	1,57	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	1,90	-
Freie Wassersättigung w_f	304,60	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	44,49	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	0,720	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,012	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 8: Materialkennwerte Heraklith BM50 und BM35

Innenputz Gips	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	850,00	kg/m ³
Porosität ϵ	0,65	-
Spezifische Wärmekapazität c	850,00	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,20	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	8,00	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	8,30	-
Freie Wassersättigung w_f	400,00	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	6,30	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	17,220	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,287	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 9: Materialkennwerte Innenputz Gips

OSB - Platte	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	595	kg/m ³
Porosität ϵ	0,9	-

Spezifische Wärmekapazität c	1500	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,13	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	1,5	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	165	-
Freie Wassersättigung w_f	814,0	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	95,0	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	1,2	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,02	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 10: Materialkennwerte OSB Platte

StoPrep Vapor – flüssige Dampfbremse	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	1140	kg/m ³
Porosität ϵ	0,001	-
Spezifische Wärmekapazität c	2300	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	2,3	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	-	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	50000	-
Freie Wassersättigung w_f	-	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	-	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	-	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	-	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 11: Materialkennwerte StoPrep Vapor

Holzweichfaserplatte	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	170	kg/m ³
Porosität ϵ	0,999	-
Spezifische Wärmekapazität c	2000	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,042	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	1,5	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	5,0	-
Freie Wassersättigung w_f	999	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	27	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	0,09	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,0015	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 12: Materialkennwerte Holzweichfaserplatte

Fichtenholz	Wert	Einheit
Trockenrohddichte ρ	455	kg/m ³
Porosität ϵ	0,73	-

Spezifische Wärmekapazität c	1500	J/kgK
Wärmeleitfähigkeit trocken λ	0,13	W/mK
Feuchtebedingte Zunahme der Wärmeleitfähigkeit z	1,3	%/M%
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken μ	50	-
Freie Wassersättigung w_f	600	kg/m ³
Bezugsfeuchtegehalt w_{80}	80	kg/m ³
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	0,42	Kg/m ² h ^{0,5}
Wasseraufnahmekoeffizient A (A-Value)	0,007	kg/m ² s ^{0,5}

Tabelle 13: Materialkennwerte Fichtenholz

3.2 Vergleichsrechnungen

Die an den Testmodulen des Demonstrationsbaues ermittelten in situ Messdaten werden zukünftig mit den Ergebnissen aus der mit softwaregestützten Simulationsverfahren gewonnen theoretischen Berechnungen verifiziert werden. Eingabeparameter werden in einer iterativen Vorgangsweise anhand der Messdaten bestimmt und zugleich die Zuverlässigkeit und die Übereinstimmung des verwendeten Berechnungsverfahrens mit der Realität überprüft.

Beschreibung des eingesetzten Simulationsverfahrens WUFI_®

Im Zuge der theoret. Analysen wurde die Software WUFI_®, eine Entwicklung des Fraunhofer Instituts IBP [16], eingesetzt.

WUFI_® steht für Wärme Und Feuchtetransport Instationär und dient zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportes in mehrschichtigen Bauteilen unter instationären Bedingungen mit der Finiten – Elemente - Methode.

In diesem Modell werden die zeitlich veränderlichen Wärme- und Feuchtetransportprozesse in Bauteilen mit Hilfe folgender gekoppelter Differentialgleichungen beschrieben.

Wärmetransport

$$\frac{\partial H}{\partial \vartheta} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho p}{\mu \partial x} \right)$$

Feuchtetransport

$$\rho_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho p}{\mu \partial x} \right)$$

Hierbei sind:

D_w [m²/s] Flüssigtransportkoeffizient

H	[J/m ³]	Enthalpie des feuchten Baustoffs
h _v	[J/kg]	Verdunstungsenthalpie des Wassers
p	[Pa]	Wasserdampfpartialdruck
u	[m ³ /m ³]	Wassergehalt
δ	[kg/msPa]	Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient in Luft
θ	[°C]	Temperatur
λ	[W/mK]	Wärmeleitfähigkeit des feuchten Baustoffs
μ	[-]	Dampfdiffusionswiderstandszahl des trockenen Baustoffs
P _w	[kg/m ³]	Dichte des Wassers
φ	[-]	Relative Feuchte

Auf der linken Seite findet man in beiden Gleichungen die Speicherterme. Die Wärmespeicherung setzt sich aus der Wärmekapazität des trockenen Baustoffs und der des darin enthaltenen Wassers zusammen. Die Feuchtespeicherung wird durch die Ableitung der Feuchtespeicherfunktion beschrieben.

Auf der rechten Seite der Gleichungen stehen die Transportterme. Der Wärmetransport basiert auf der feuchteabhängigen Wärmeleitung und dem Dampfenthalpiestrom. Dieser Dampfenthalpiestrom transportiert Wärme indem Wasser an einer Stelle verdunstet und dabei dieser Stelle Wärme entzieht, und anschließend an eine andere Stelle diffundiert, dort kondensiert und dadurch Wärme zuführt. Diese Art des Wärmetransportes wird häufig als Latentwärmeeffekt bezeichnet. Der Feuchtetransport durch Oberflächendiffusion und Kapillarleitung infolge eines Gradienten der relativen Feuchte zeigt nur eine vergleichsweise geringe Temperaturabhängigkeit. Die Dampfdiffusion wird hingegen stark vom Temperaturfeld beeinflusst, da der Sättigungsdampfdruck exponentiell mit der Temperatur ansteigt.

Oben angeführte Differentialgleichungen werden mit Hilfe eines impliziten Finite Volumen Verfahrens diskretisiert und entsprechend dem Ablaufschema in Abbildung 49 iterativ gelöst.

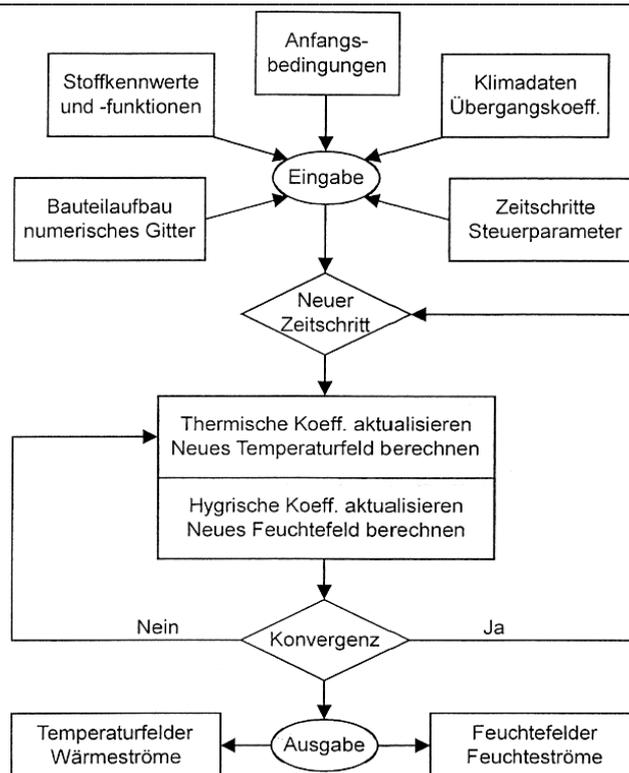


Abbildung 49 - Flussdiagramm für das Berechnungsmodell WUFI

Nach der Berechnung sollte eine Ergebniskontrolle durchgeführt werden, um Bedienungs- oder schwere Konvergenzfehler ausschließen zu können, wobei letztere von WUFI angezeigt werden und ihre Auswirkungen anhand eines Vergleichs der aufsummierten Feuchteströme und des akkumulierten Wassers im Bauteil ausgewertet werden. [5]

Prinzipielle Vorgangsweise bei der Durchführung von Vergleichsrechnungen

Als erstes ist festzuhalten, dass der Vergleich Messung – Berechnung vor allem dazu dient die notwendigen Berechnungsparameter und Berechnungseinstellung zu ermitteln bzw. zu verifizieren. Dies ist ein iterativer Prozess der mehrere Rechenläufe benötigt, da in den meisten Fällen (auch in diesem Projekt) nicht alle Materialkennwerte sowie Randbedingungen exakt bestimmt werden können. Natürlich bewegen sich die Variationen bei den Eingabedaten in realistischen Bereichen und orientieren sich an Normen bzw. einschlägiger Fachliteratur.

Begonnen wird als erstes mit dem Vergleich der Oberflächentemperaturen, um die eingesetzten Wärmeübergangskoeffizienten an den Wandoberflächen zu bestimmen. Anhand der Temperaturdifferenz zwischen Raum- bzw. Außentemperatur und Oberflächentemperatur der jeweiligen Wand konnten diese ermittelt werden.

Anschließend daran werden in der Simulationsrechnung in den verschiedenen Bauteilschichten, an denen sich auch entsprechende Messsensoren befinden, so genannte Monitore gesetzt, die den Verlauf der Temperatur sowie relativen Feuchte über den jeweiligen Berechnungszeitraum hinweg aufzeichnen. Die so erhaltenen Werte werden mit den tatsächlich am bzw. im Testobjekt erfassten Daten verglichen.

Bei einer guten Übereinstimmung der berechneten Werte mit den tatsächlich gemessenen Daten kann davon ausgegangen werden, dass alle notwendigen Berechnungsparameter richtig erfasst wurden. Ist dies der Fall so können die Berechnungseinstellungen als Ausgangspunkt für die Langzeitberechnung zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit bzw. Dauerhaftigkeit der untersuchten Konstruktion verwendet werden.

Im Anschluss erfolgt eine detailliertere Beschreibung der Vorgangsweise und eine Beschreibung der angesetzten allgemeinen Randbedingungen wie z.B. das Klima.

Ermittlung der Startwerte für die Vergleichsrechnung

Die Startwerte sind Angaben über Feuchtegehalt und Temperatur der einzelnen Materialien (=Wandschichten) zum Zeitpunkt des Rechnungsstarts. Die Bestimmung der Startwerte, welche in „WUFI“ für jedes Material einzeln eingegeben werden können, ist ein sehr wichtiger Faktor für kurzzeitige Berechnungen, da nur so realistische Werte für die ersten Monate erwartet werden können.

Die Bestimmung dieser Startwerte erfolgt mit Hilfe mehrerer Überlegungen. Erstens werden die Messdaten, die vom Beginn der Messungen vorliegen, herangezogen. Mit ihnen können Temperaturen und Wassergehalte allerdings nur in definierten Punkten (=Fühlerpositionen) der Konstruktion ermittelt werden und nicht Durchschnittswerte für ganze Materialschichten. Die ersten Berechnungen zeigten jedoch, dass die gemessenen Werte in den einzelnen Fühlerpositionen gut mit den Werten für die gesamte Bauteilschicht korrelierten. Aus diesem Grunde werden die Messwerte in den einzelnen Bauteilschichten auch als Startwerte für die Vergleichsrechnungen herangezogen. In jenen Materialien in denen keine Sensoren eingebaut wurden, werden die Startwerte aus den umliegenden Materialien abgeschätzt und mit Hilfe der Sorptionsisotherme festgelegt.

Außenklima

Um die Rechenergebnisse mit den realen Messdaten vergleichen zu können, wird ein Klimadatensatz für das Testobjekt am Weissensee der Berechnung zugrunde gelegt. Die mit Hilfe der Wetterstation am Dach des Testobjekts erfassten Messwerte umfassen folgende Klimaparameter:

- Temperatur
- Relative Luftfeuchte
- Windgeschwindigkeit und Windrichtung
- Globalstrahlung
- Luftdruck

Aus diesen messtechnisch erfassten Daten wurde eine Klimadatei für die Berechnung mit „WUFI“ erstellt.

Der für die ersten Vergleichsrechnungen ermittelte Klimadatensatz erstreckt sich über den Zeitraum von 11.07.2006 um 00:00 Uhr bis 10.07.2006 um 23:00 Uhr. Abbildung 50 zeigt den Verlauf der relativen Luftfeuchten sowie der Temperaturen im Vergleichszeitraum.

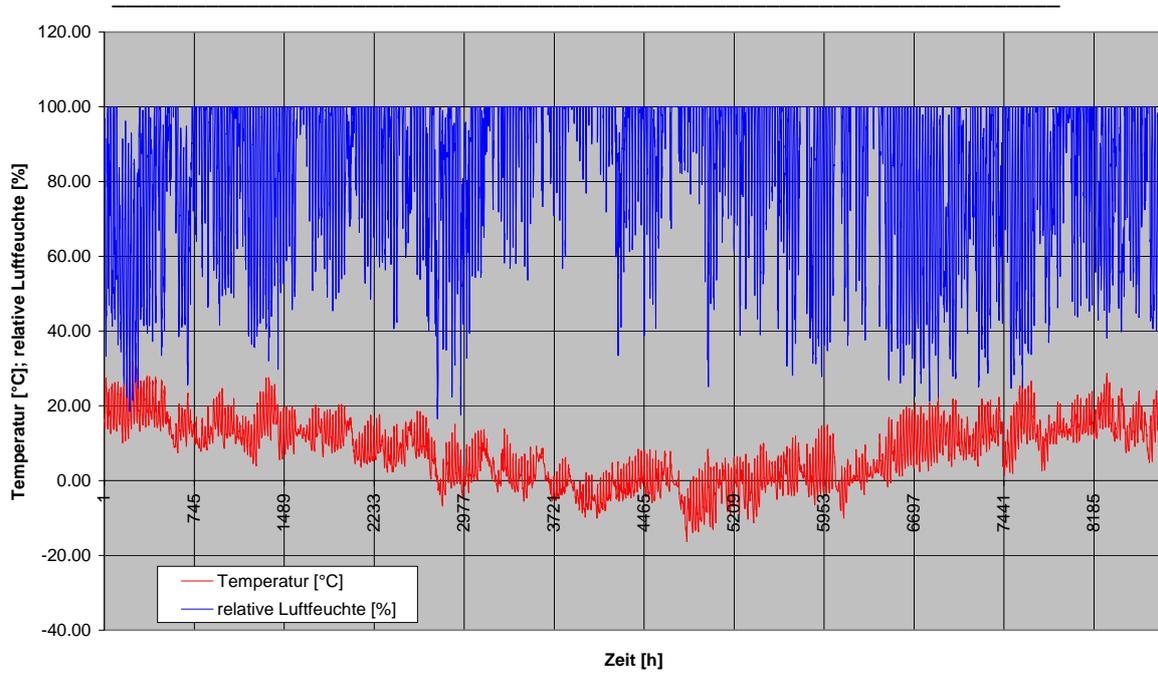


Abbildung 50 - Außenklima am Testhaus (Weissensee) für den Vergleichszeitraum

Innenklima

Als Grundlage für das Innenklima dient die real vorherrschende Temperatur und Luftfeuchte im Testhaus. Die gemessenen Klimadaten werden ebenfalls in eine Klimadatei im „WUFI“ Format eingearbeitet und erstrecken sich auch über den Zeitraum 11.07.2006 um 00:00 Uhr bis 10.07.2007 um 23:00 Uhr.

Abbildung 51 zeigt den Verlauf der Temperaturen bzw. relativen Luftfeuchten, im Laufe eines Jahres¹.

¹ WUFI legt der Berechnung 1 Jahr zu Grunde, das dann beliebig oft wiederholt oder in dem ein beliebiger Zeitabschnitt herausgenommen werden kann.

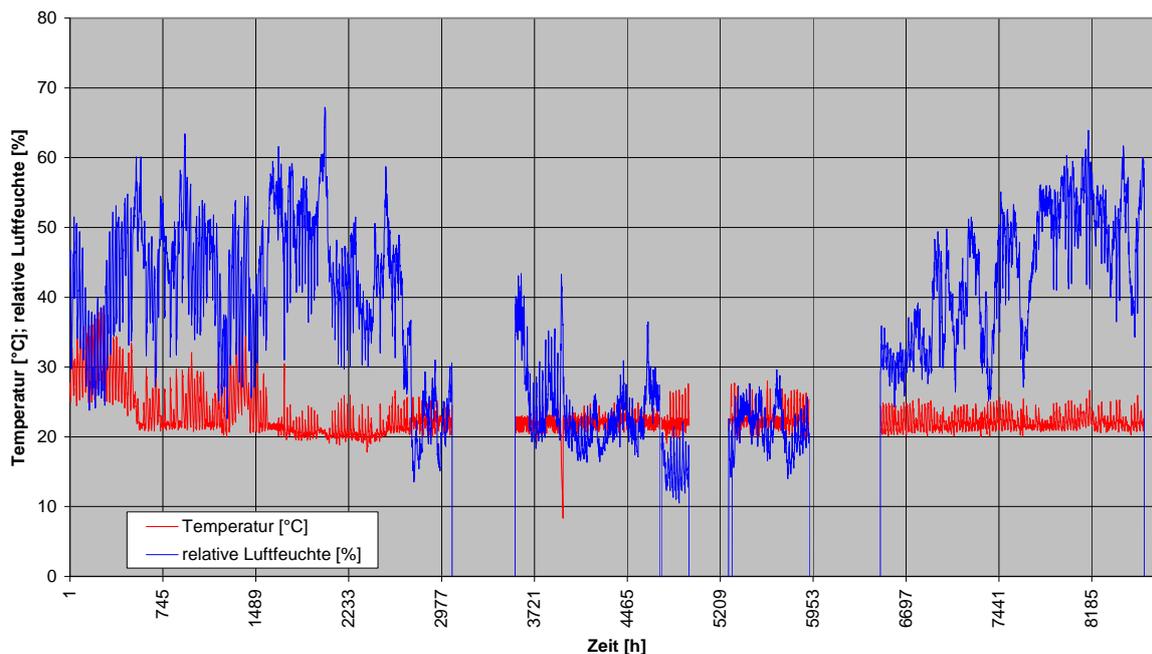


Abbildung 51 - Innenklima Spittal an der Drau für den Vergleichszeitraum

Diese im obigen Abschnitt dargestellten Klimarandbedingungen gelten für alle im Folgenden beschriebenen Bauteile.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die gesamte Sensorik in folgenden Zeiträumen nicht ordnungsgemäß funktioniert hat und Messdaten für diese Zeiten daher fehlen:

Messdatenausfälle:

- 15.11.2006 – 06.12.2006
- 03.02.2007 – 19.02.2007
- 18.03.2007 – 02.04.2007

Der Ausfall der Messtechnik fand überwiegend durch Stromausfälle in den betreffenden Zeiträumen statt. Dadurch wurde die automatische Messdatenerfassung mittels PC gestoppt und musste manuell wieder gestartet werden. Die Ursache der Stromausfälle ist auf Gewitter bzw. außerordentlich starke Schneefälle zurückzuführen. Überspannungen innerhalb der Stromversorgung führten überdies zur Beschädigung von Relaischaltungen und dgl. innerhalb der Datenlogger, welche zeitintensiv erneuert werden mussten.

Obwohl entsprechende Sicherheitsvorrichtungen (USV, Überspannungsschutz, etc.) vorgesehen wurden, konnten durch die exponierte Lage des Testhauses am Weissensee Systemausfälle und in weiterer Folge Datenverluste leider nicht gänzlich vermieden werden.

3.3 Langzeitsimulationsrechnungen und Bewertung der Konstruktionen

Zeitraum, Startwerte

Die Langzeitberechnungen wurden für einen Zeitraum von 15 Jahren durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass diese Zeitspanne lange genug ist, um eine eindeutige Tendenz insbesondere der Feuchteentwicklung ablesen zu können. Die Materialparameter sind Kapitel 3.1 und die weiteren Berechnungsparameter den folgenden Kapiteln zu entnehmen.

Ziel dieser Langzeitberechnungen ist es, eine Aussage über die Wirksamkeit und Funktionstüchtigkeit der Konstruktion zu treffen. (Kriterien siehe Kapitel 3.4)

Die Berechnung des Bauteilverhaltens für eine mehrjährige Periode ist zweckmäßig, weil man zumeist mit gewissen Einpendelungseffekten rechnen muss, welche aufgrund andauernder Feuchteanreicherungs- und/oder Trocknungseffekte resultieren. Nach einigen Jahren sollten diese jedoch abgeschlossen und eine eindeutige Tendenz der Feuchteentwicklung ablesbar sein, welche eine Beurteilung der Konstruktion ermöglicht.

Die Startwerte in den einzelnen Materialien für die Berechnung wurden folgendermaßen festgelegt:

- Relative Feuchte - 80 % [17], [26]
- Temperatur - 20 °C

Die Annahme einer höheren Ausgleichsfeuchte zu Beginn der Simulationsberechnung dient der Beurteilung des Trocknungspotentials der jeweiligen Konstruktion. Insbesondere bei Holzkonstruktionen ist darauf zu achten, dass ein unplanmäßiger Feuchteeintrag (Regenfälle bei Transport und Montage, unzureichende Materiallagerung, etc.) nicht gänzlich auszuschließen ist. Durch die Simulation kann somit der Trocknungsverlauf sowie, darauf basierend, etwaige feuchtebedingte Risiken analysiert werden.

Für die Wärmeübergangskoeffizienten wurden folgende Werte verwendet:

- Innerer Wärmeübergangskoeffizient - 8 W/m²K (bzw. Wärmeübergangswiderstand 0,125 m²K/W)
- Äußerer Wärmeübergangskoeffizient - 17 W/m²K (bzw. Wärmeübergangswiderstand 0,0588 m²K/W)

Dies entspricht den empfohlenen Werten im Simulationsprogramm „WUFI“.

Die Normenwerte lt. ÖNORM B 8110 – Teil 2 [6] für den inneren Wärmeübergangswiderstand und den äußeren Wärmeübergangswiderstand betragen 0,25 m²K/W bzw. 0,04 m²K/W.

Der Zahlenwert des Wärmeübergangskoeffizienten hängt in komplizierter Weise von Temperatur, Intensität und Richtung der Luftströmung, Beschaffenheit der Wandoberfläche etc. ab. Im Allgemeinen können nur Richtwerte angegeben werden. Bei freier Konvektion (durch Erwärmung oder Abkühlung der Luft) liegt der konvektive Wärmeübergangskoeffizient im Bereich von 3 bis 10 W/m²K, bei erzwungener Konvektion (durch Wind) im Bereich von 10 bis 100 W/m²K. [7]

An dieser Stelle sei auch auf den verwendeten Klimadatensatz verwiesen, der im Folgenden näher erläutert wird.

Außenklimavergleich Holzkirchen – Weissensee

Das hygrothermische Bauteilverhalten wird insbesondere durch das einwirkende Aussen- bzw. auch Innenraumklima beeinflusst. Die Verwendung unterschiedlicher Klimadaten kann daher zu stark variierenden Berechnungsergebnissen führen.

In der vorliegenden Dokumentation wird für die Langzeitberechnung, zur Beurteilung des zukünftigen hygrothermischen Verhaltens der Wandkonstruktionen, der in der Software „WUFI®“ implementierte Klimadatensatz von Holzkirchen verwendet. Dieser Klimadatensatz entspricht lt. Angaben des Fraunhofer Instituts für Bauphysik einem „typischen“ Jahr von Holzkirchen. Im konkreten Fall war dies das Jahr 1991. Dieser Klimadatensatz kann als „extremes“ Klima bezeichnet werden und zeichnet sich durch hohe relative Luftfeuchten und tiefe Temperaturen bzw. häufige Frost-/Tauzyklen aus. Diese Klimadaten für 1 Jahr werden bei mehrjährigen Berechnungen wiederholt.

Für den Vergleich Berechnung – Messung am Testobjekt musste ein Klimadatensatz für das Testobjekt am Weissensee für den Vergleichszeitraum von 11.07.2006 – 11.07.2007 angewandt werden. Im Vergleich zu Holzkirchen zeigt der Verlauf der relativen Luftfeuchte am Weissensee ein annähernd gleich hohes Niveau, die Aussentemperaturen liegen jedoch höher. Zur Verdeutlichung siehe Abbildung 52.

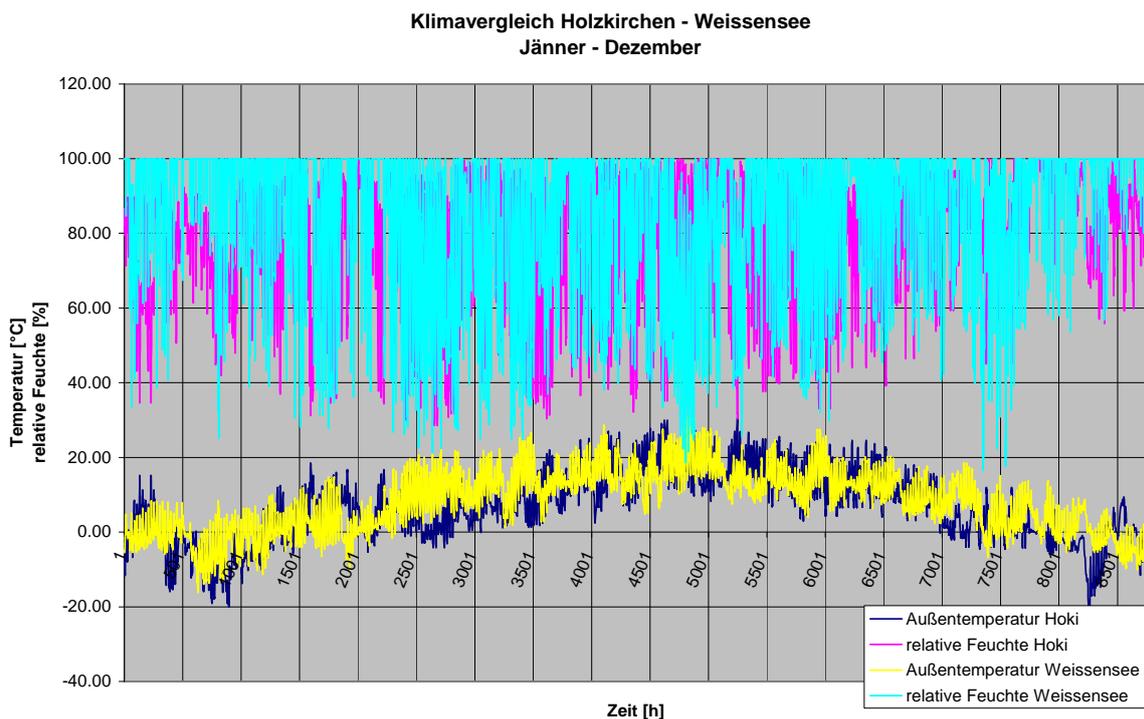


Abbildung 52 - Klimavergleich Holzkirchen – Weissensee

Nachstehende Tabelle zeigt die Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchten und Temperaturen am jeweiligen Standort.

Jahresmittelwert	Holzkirchen	Weissensee
relative Luftfeuchte [%]	81	84
Temperatur [°C]	6.44	7.75

Tabelle 14 - Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchten und Temperaturen

Obenstehende Tabelle weist für den Standort Weissensee höhere Feuchten aus als in Holzkirchen. Hier muss jedoch bemerkt werden, dass aufgrund der eingesetzten Messtechnik für die Erfassung der relativen Luftfeuchte das Jahresmittel etwas zu hoch ausfällt. Die Ursache dafür findet sich in den einzelnen Regenereignissen. Bei Niederschlag zeigt der verwendete Sensor korrekt 100% relative Luftfeuchte an. Der eingesetzte Feuchtefühler benötigt jedoch nach Ende des Regenereignisses mehrere Stunden bis er wieder vollständig abgetrocknet ist und korrekte Messwerte liefert. Das Resultat sind zu viele Stunden mit 100% Feuchtebelastung. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass das Jahresmittel der relativen Luftfeuchten am Weissensee ca. 3-5% unter den in der Tabelle angeführten Werten liegt.

An dieser Stelle sei auch auf den Klimavergleich Holzkirchen – Wien in [8] verwiesen. Auch hier zeigt sich, dass das Holzkirchner Klima extremer als das Wiener Klima ist.

Für die Langzeitberechnungen der Konstruktion wurde entschieden, den Holzkirchner Datensatz zu verwenden um sozusagen das „worst case“ Szenario anzunehmen. Damit sind alle wärme- und feuchtetechnischen Belastungen in der Simulationsrechnung höher als sie am Testobjekt während der Untersuchungsperiode. In den meisten praktischen Anwendungsfällen werden, zumindest bei Ausführung im österreichischen Klima, ebenfalls günstigere Aussenklimabedingungen vorherrschen, als jene am Standort Holzkirchen.

Innenraumklima

Hierbei sei erwähnt, dass „WUFI“ folgende drei Innenraum- Klimata als Standardvarianten anbietet. Sie wurden aus statistischen Untersuchungen des Wohnverhaltens vom Fraunhofer Institut für Bauphysik erstellt.

- Niedrige Feuchtelast
(im Mittel 45% relative Luftfeuchte, 15% Amplitude; Temperatur im Mittel 21°C, 1°C Amplitude)
- Mittlere Feuchtelast
(im Mittel 50% relative Luftfeuchte, 10% Amplitude; Temperatur im Mittel 21°C, 1°C Amplitude)
- Hohe Feuchtelast
(im Mittel 55% relative Luftfeuchte, 5% Amplitude; Temperatur im Mittel 21°C, 1°C Amplitude) Dies entspricht einer ungewöhnlich hohen Dauerbelastung durch Nutzung

In unserem Fall wurde die mittlere Feuchtelast als Randbedingung für das Innenklima verwendet da sei am besten die realen Verhältnisse in einem Passivhaus widerspiegelt. Mit höheren Feuchtelasten ist aufgrund des tetigen Luftwechsels infolge des Betriebes der mechanischen Be- und Entlüftungsanlage im Regelfall nicht zu rechnen.

3.4 Beurteilungskriterien

Bislang wurden zur Beurteilung der bauphysikalischen Tauglichkeit von Baukonstruktionen normenbasierte Kriterien des Wärme- und Feuchteschutzes seitens der ÖNORM B 8110–2 [6] sowie der DIN 4108–3 [27] herangezogen.

Kriterien laut ÖNORM B 8110 – 2 [6]:

Für Außenbauteile und Bauteile, die Räume mit unterschiedlichen Luftzuständen (Temperatur und relative Feuchtigkeit) trennen, ist nachzuweisen, dass

- *der Wärmeschutz so bemessen ist, dass die Bedingungen zur Vermeidung von Kondenswasserbildung und im Hinblick auf das Risiko von Schimmelbildung an der inneren Oberfläche erfüllt sind,*
- *der Aufbau des Bauteils so bemessen ist, dass im Inneren des Bauteils keine schädliche Wasserdampfkondensation infolge von Wasserdampfdiffusion auftritt.*

Mit den in der Norm angegebenen Randbedingungen und Berechnungs- Verfahren (Glaser) werden „Kondensatmengen“ (g/cm^2) ermittelt, auch wenn sie so in der Realität nicht auftreten. Gemäß der oben zitierten Grundsätze ist eine Wasserdampfkondensation lt. ÖNORM B 8110 - Teil 2 dann als schädlich einzustufen, wenn:

- das Kondenswasser nicht gespeichert werden kann (die kondensierte Wasserdampfmenge an Berührungsflächen von kapillar nicht oder wenig wasseraufnahmefähigen Schichten (z.B. Berührungsflächen zwischen Luftschicht und Schwerbeton) darf $0,5 \text{ kg}/\text{m}^2$ nicht überschreiten)
- das Kondenswasser eine solche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts einer Bauteilschicht verursacht, dass der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils um 10 % verringert wird
- die Baustoffe durch Kondensat geschädigt werden (Korrosion, Pilzbefall, Frostzerstörung oder Ähnliches) Für Holz und Holzwerkstoffe ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehalts um mehr als 3 % unzulässig.
- das angesammelte Kondenswasser in der Austrocknungsperiode nicht vollständig austrocknen kann, sodass eine fortschreitende Feuchtigkeitsanreicherung auftritt

Die Anforderungen sind wesentlich durch die Innenluftbedingungen (Temperatur und relative Feuchtigkeit) und die Außenluftbedingungen (Temperatur und relative Feuchtigkeit) bestimmt.

Die ÖNORM B8110-2 zieht, wie bereits erwähnt, zur Beurteilung der Tauglichkeit einer Konstruktion das Verfahren nach Glaser heran, welches jedoch lediglich stationäre Wärmeleitung und Dampfdiffusion berücksichtigt. Zur Beurteilung des realen Bauteilverhaltens wird es aufgrund der steigenden Komplexität variierender Baukonstruktionen sowie einsetzbarer Baumaterialien zusehends erforderlich, detailliertere und genauere Beurteilungsverfahren einzusetzen. Wärme- und feuchteschutztechnische Simulationsverfahren, zB. gemäß ÖNORM EN 15026 [20] berücksichtigen überdies instationäre Wärme- und Feuchtespeicherungs- sowie -transportprozesse und ermöglichen somit eine genauere Beurteilung der zu erwartenden Bauteilperformance.

Zum Thema unterschiedliche Beurteilung von Baukonstruktionen mittels stationären bzw. instationären Verfahren gibt das Fraunhofer IBP in den FAQ's der WUFI Pro 3.3.1 Online Hilfe [7], Frage 17, Hinweise, die hier zitiert seien:

„Die üblichen Baumaterialien haben immer eine gewisse Aufnahmefähigkeit für Feuchte (Sorptionsfähigkeit). Diese Sorptionsfähigkeit puffert Änderungen der relativen Feuchte in der Wand. Wenn Sie Randbedingungen anlegen, die in einer Glaserrechnung zu sofortigem Tauwasserausfall führen würden, werden Sie in einer realistischen Untersuchung (wie sie von WUFI durchgeführt wird) in den meisten Fällen kein Tauwasser erhalten.

Das liegt daran, dass eine relative Feuchte von 100% (Voraussetzung für Kondensation) einem Wassergehalt gleich der freien Sättigung des betreffenden Materials entspricht, und dass diese Wassermenge daher erst in die Tauregion transportiert werden müsste, um 100% r. F. zu erreichen. Die Diffusionsströme sind zwar in der Tat zur Tauregion hin gerichtet, aber die so transportierten Feuchtemengen sind in der Regel klein und die r. F. wird daher nur langsam ansteigen, z.B. von ursprünglich 80% auf 81%, etwas später auf 82% usw. Es kann unter Umständen Tage oder Wochen dauern, bis genügend Wasser in die Tauregion transportiert wurde, so dass dort schließlich die freie Sättigung des Materials (und damit r. F.=100%) erreicht wird. Währenddessen werden sich die Randbedingungen geändert haben und es liegen gar keine Taubedingungen mehr vor.

Die Glaser-Methode nimmt stattdessen einfach an, dass sofort 100% erreicht werden, sie berücksichtigt nicht die Notwendigkeit, erst Wasser transportieren zu müssen, um einen Wassergehalt zu erreichen, der 100% r. F. entspricht.

Darüber hinaus haben reale Materialien (im Gegensatz zu Glaser) meist eine gewisse kapillare Leitfähigkeit, welche versucht, Feuchteansammlungen wieder auseinander laufen zu lassen. Dieser Effekt arbeitet also aktiv gegen lokale Feuchteansammlungen, so dass es nicht leicht ist, 100% r. F. zu erreichen.“

Beurteilungskriterien für eine Beurteilung mit Hilfe instationärer Simulationen

Im Zuge des Design- und Optimierungsprozesses während des Forschungsprojektes wurde aufgrund der bereits erwähnten Vorteile ebenfalls eine realitätsnahe instationäre Berechnung des hygrothermischen Bauteilverhaltens mittels Simulationsverfahren angewandt. Die somit eruierten Berechnungsergebnisse erfordern in einem weiteren Schritt einer entsprechenden Analyse.

Die wesentlichen Beurteilungskriterien, zB. auch zitiert in der WUFI Pro 3.3.1 Online Hilfe [7] lauten:

- *„Das wichtigste Kriterium: der Feuchtegehalt darf sich nicht im Laufe der Zeit aufschaukeln. Wasser, das im Bauteil auskondensiert, muss auch Gelegenheit haben, wieder auszutrocknen. Wenn der Wassergehalt in Ihrem Bauteil ständig weiter ansteigt – wenn auch vielleicht nur langsam – werden Sie früher oder später damit Probleme haben.*
- *Die Baumaterialien, die mit der Feuchte in Kontakt geraten, dürfen dadurch nicht geschädigt werden (etwa durch Korrosion oder Schimmelpilzwachstum).*

Mineralische Baumaterialien sind in dieser Hinsicht meist nicht gefährdet.

Da im Rahmen des Forschungsvorhabens ausschliesslich Holzbaukonstruktionen untersucht wurden, wurde im Rahmen der Beurteilungen insbesondere auf das potentielle Risiko einer holzerstörenden Pilzbildung im/am Bauteil eingegangen. Prinzipiell sollte eingebautes Holz einen massebezogenen Feuchtegehalt von 20 M.- %

nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, da andernfalls eine Besiedelung durch Mikroorganismen (Pilze, Bakterien, etc.) erfolgen könnte. Es sei jedoch angemerkt, dass die meisten holzerstörenden Pilze deutlich höhere Feuchten (> 30 M.-%) benötigen, um auf Holz zu wachsen. [18]

Die untersuchten Kriterien im Einzelnen:

Kriterium der Schädigung der Baustoffe durch Schimmelbildung

Nach ÖNORM EN ISO 13788 [28] besteht das Risiko eines Schimmelbefalls, wenn die relative Luftfeuchtigkeit an der Bauteiloberfläche über mehrere Tage 80 % überschreitet. In der ÖNORM B 8110-2 ist deshalb im Hinblick auf das Risiko von Schimmelbildung an der inneren Bauteiloberfläche der Wärmeschutz so zu bemessen, dass die innere Oberflächentemperatur nicht unter die Temperatur absinkt, die 80 % relativer Feuchte der Innenluft entspricht.

Als Konditionen für die Keimung und das Myzelwachstum werden im Beiblatt 4 der ÖNORM B 8110 [13] mehrere maßgebende Einflussfaktoren genannt. In unserem Fall bezieht sich die Einschätzung des Schimmelrisikos im Bauteilinneren an Grenzschichten auf die Angaben der ÖNORM B 8110 – Beiblatt 4, Gefährdungsklasse A. Es gilt:

Gefährdungsklasse A: 5 °C – 50 °C, 74 % - 96 % Luftfeuchtigkeit, pH = 2 – 10 sofern eine ausreichende Nährstoff-Versorgung auf der Wachstumsoberfläche besteht. [...]

Gute Voraussetzungen zur Unterdrückung von Sporenkeimung und Myzelwachstum bestehen, wenn die relative Luftfeuchtigkeit an der Bauteil-Oberfläche [hier auch an Grenzschichten im Inneren betrachtet, Anm. d. Verfassers] überwiegend unter 80 %, der pH Wert über 11 gehalten wird oder die Nährstoff-Versorgung (z.B. durch Reinhaltung der Oberflächen) verhindert oder unterdrückt wird.

In unserem Fall werden also folgende Kriterien zur Bewertung des Schimmelrisikos bei ausreichender Nährstoffversorgung herangezogen:

Die maximale relative Feuchte an der inneren Bauteiloberfläche und an Grenzschichten im Bauteil (zwischen Altbestand und Innendämmschichten) darf 80 % über einen Zeitraum von mehreren Tagen nicht überschreiten. Die zugehörige Temperatur darf in den gefährdeten Schichten 5 °C nicht überschreiten.

Damit wurde für die untersuchten Konstruktionen implizit auch überprüft, ob Kondensationsbedingungen an der inneren Bauteiloberfläche auftreten konnten. Kondensationsbedingungen, also Taupunktunterschreitungen, konnten dann ausgeschlossen werden, wenn die relativen Feuchten in Randelementen des Querschnitts zum Innenraum unter 80 % und bei Temperaturen über 5 °C blieben. Bei Innenraumfeuchten von 50 – 60 % und Innenraumtemperaturen von 21 °C wäre eine Kondensation (100 % rel. Feuchte) bei etwa 10,2 – 12,9 °C Oberflächentemperatur zu erwarten.

Anmerkung 1: siehe auch die im „Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen“ [14] angegebenen Wachstumstemperaturen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die angesetzten Grenzwerte als streng zu bezeichnen sind, und auch ungünstige Bedingungen aber nicht jeden denkbaren Fall abdecken.

Anmerkung 2: Die Gefahr der Schimmelbildung besteht erst dann, wenn mehrere Voraussetzungen für eine Lebensgrundlage gegeben sind. Dazu gehören neben Temperatur und Feuchte (siehe oben) konvektiv einströmende Luft (Sauerstoff) und Nahrung (es reichen schon geringe Mengen von organischen Stoffen). Aus diesem Grund spielt auch die konstruktive Ausführung neben Temperatur- und Feuchtelasten eine große Rolle.

Anmerkung 3: Der Forschungsbericht „Untersuchungen zum Verhalten ausgewählter Bau- und Holzwerkstoffe gegenüber Schimmelpilzen“ stuft magnesit- und zementgebundene Holzwolle-Dämmplatten als beständig gegenüber Schimmelpilzen ein. D.h. es findet kein Befall durch Schimmelpilze der HWL-Platten statt und somit tritt keine Zerstörung des Baustoffes ein [15]. Dies ist auf die hohe Alkalität des Bindemittels der HWL-Platten zurückzuführen. Laut Angaben der Firma Knauf Insulation beträgt der pH Wert des Bindemittels (Kauster) 11,8.

Weiters stufen die wissenschaftlichen Studien „Untersuchung zum Verhalten von konventionellen und ökologischen Dämmstoffen gegenüber mikrobiellem Befall der amtlichen Materialprüfanstalt Bremen“ [21] sowie „Prüfung der Widerstandsfähigkeit von Zellulosedämmstoff mit den Handelsbezeichnungen Trendisol, Climasuper bzw. Isocell gegenüber Schimmelpilzbefall der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin [22] Zellulosedämmstoff als weitgehend inert gegen mikrobiellen Befall mit hemmender Wirkung auf Pilzwachstum ein, sodass davon auszugehen ist, dass die im Material enthaltenen Stoffe (Borate, etc.) einem Pilzwachstum entgegenwirken.

4 Untersuchungen am Testobjekt – bauphysikalische Messungen im Testobjekt, Langzeitanalyse

In diesem Kapitel wird auf die einzelnen untersuchten Bauteile, welche am Testobjekt appliziert wurden, eingegangen. Es werden die einzelnen Wandaufbauten dargestellt, die eingebaute Messensorik in ihren verschiedenen Bauteilschichten gezeigt sowie die Bewertung der Dauerhaftigkeit bzw. Funktionsfähigkeit der einzelnen Konstruktionen festgehalten.

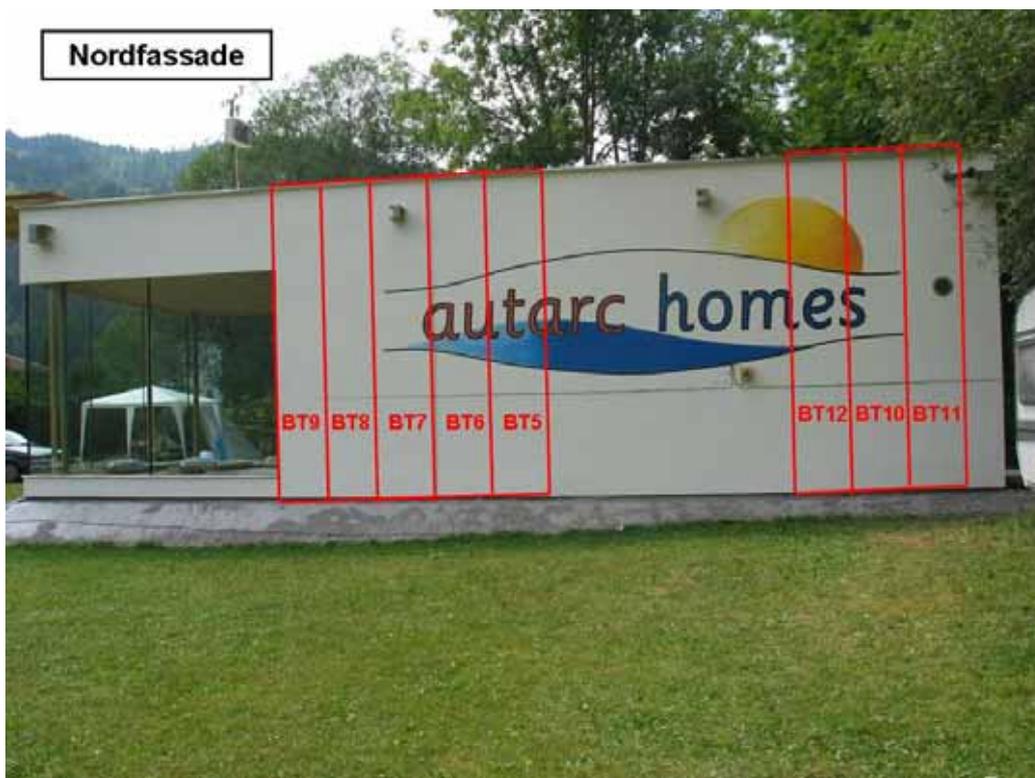


Abbildung 53 – Ansichten Süd- & Nordfassade mit Elementteilung der untersuchten Aufbauten



Abbildung 54 - Ansicht Westfassade mit Elementteilung der untersuchten Aufbauten



Abbildung 55 - Innenansicht Nordfassade mit untersuchten Wandaufbauten im Bauzustand



Abbildung 56 - Innenansicht der Westfassade mit untersuchten Wandaufbauten im Bauzustand

In Projektkonsortium wurden unterschiedliche Variationen von neuen hochwärmedämmenden Holzleichtbauweisen, unter Miteinbeziehung von verschiedenen Dämmstoffen, Baumaterialien und Tragkonstruktionen, entwickelt. Die bauphysikal. Funktionalitäten der entwickelten Wandaufbauten wurden im Zuge des Designprozesses mittels hygrotherm. Presimulationen analysiert und basierend auf diesen Ergebnissen bewertet und optimiert. Aus der Vielzahl der entwickelten Aufbauten wurden zwölf Bauteilkonstruktionen ausgewählt und einem weiterführendem Praxistest unterzogen. Dazu wurden die jeweiligen Testmodule am Demonstrationsbau eingebaut, um weitere Analysen im Freilandversuch mittels in situ Messungen zu ermöglichen.

Diese zwölf eingebauten Wandaufbauten werden unter Punkt 4.1– genauer beschrieben und dargestellt.

Das im Zuge des Projektes NHHB – Neue Hochwärmedämmende Holzleichtbauweisen – errichtete Demonstrationsbau bzw. Testgebäude ist ein im Passivhausstandard konzipierter eingeschossiger Bau mit einer Grundfläche von 13,0m mal 5,0m. (65m²), situiert in Techendorf, am Südufer des Weissensees / Kärnten. 2008 wurde das Objekt auf den neu errichteten Schwimmkörper angeordnet.

Die in situ Messungen an den unterschiedlichen Bauteilaufbauten des Testhaus wurden aufgrund der Weiterentwicklung des Objektes während der Errichtung des Schwimmkellers im Jahre 2008 vorübergehend ausgesetzt und mit Oktober 2008 wieder gestartet. Ziel ist es, die Untersuchungen bis zum Frühjahr 2010 weiterzuführen, um eine aussagekräftige Analyse der einzelnen Bauteilaufbauten zu ermöglichen. Aus diesem Grunde wird in diesem Bericht auf eine Darstellung der Messresultate sowie die vergleichenden Simulationsberechnung verzichtet!

4.1 Bauteil 1

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 1 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

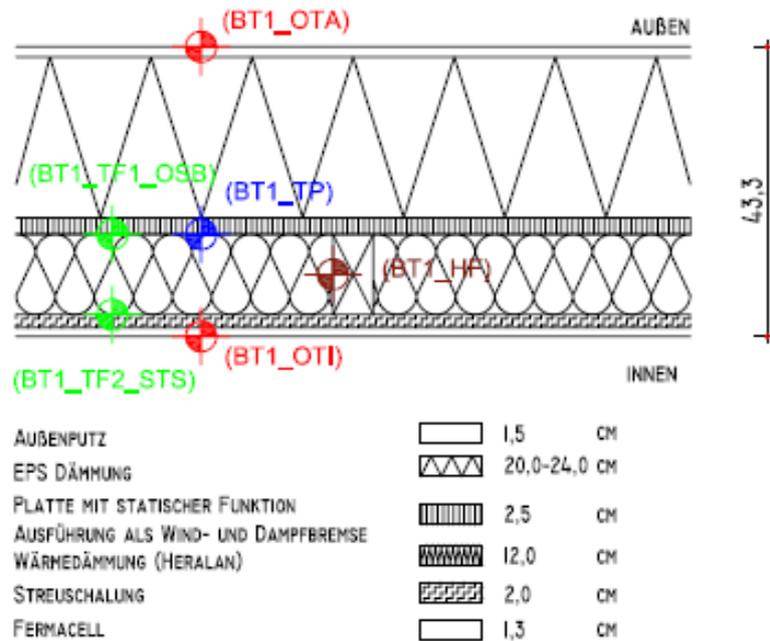


Abbildung 57 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gespachtelte Gipskartonplatte	1,5
• Streuschalung zur Sicherung des Dämmstoffes und als Montageoberfläche für die Gipskartonplatte	2,0
• Mineralwolle- Wärmedämmung (Heralan FP) geklemmt zwischen Holz-Riegel-Konstruktion	12,0
• OSB-Platte mit aussteifender Wirkung und gleichzeitiger Funktion als Wind- und Dampfbremse	2,5
• EPS Wärmedämmverbundsystem	24,0
• Außenputz ausgeführt als Dünnputz	0,5

Tabelle 15 - Wandaufbau Bauteil 1

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 57 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT1_OTA	Außenoberfläche	°C
BT1_TF1_OSB	Grenzschicht OSB-Platte – Heralan FP	°C; % r.F.
BT1_TP	Grenzschicht OSB-Platte – Heralan FP	°C; Kondensat
BT1_HF	Mitte des Holzriegels	M.% Holzfeuchte
BT1_TF2_STS	Grenzschicht Heralan FP - Streuschalung	°C; % r.F.
BT1_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 16 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 1. Abbildung 58 und Abbildung 59 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 58 – Ansicht des Wandelementes nach Einbau der Messtechnik



Abbildung 59 – Eingebauter Taupunkt-detektor und kombinierter Temperatur- und Feuchtesensor

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 1 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Kapitel 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – EPS (in EPS)
3	Mitte EPS
4	Grenzschicht EPS – OSB (in EPS)
5	Grenzschicht EPS – OSB (in OSB)
6	Grenzschicht OSB – Mineralfaser (in OSB)
7	Grenzschicht OSB – Mineralfaser (in Mineralfaser)
8	Grenzschicht Mineralfaser – Streuschalung (in Mineralfaser)
9	Grenzschicht Mineralfaser – Streuschalung (in Streuschalung)
10	Grenzschicht Streuschalung – Gipskartonplatte (in Streuschalung)
11	Innenoberfläche

Tabelle 17 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

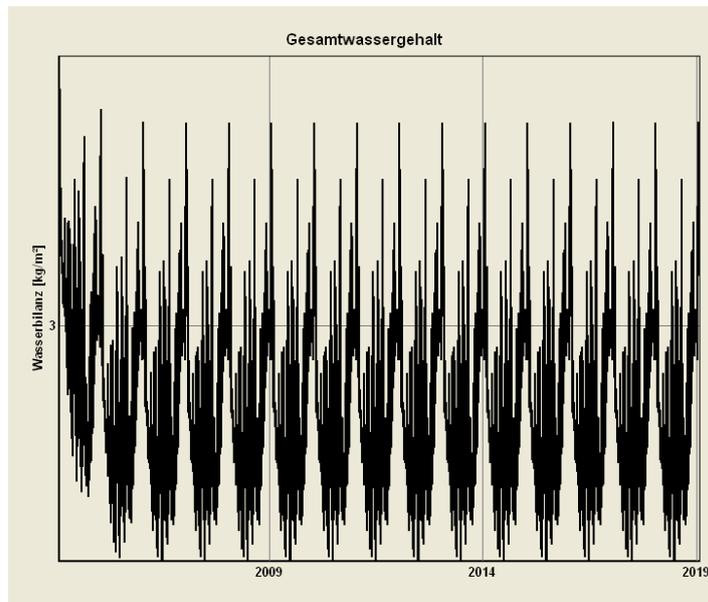


Abbildung 60 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 3 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Gleichgewichtszustand befindet. D.h. die Konstruktion erfüllt dieses Kriterium.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masseprozent [18] nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 1 – folgende Bauteilschichten:

- OSB – Platte
- Streuschalung

Verlauf des Wassergehaltes in der OSB-Platte

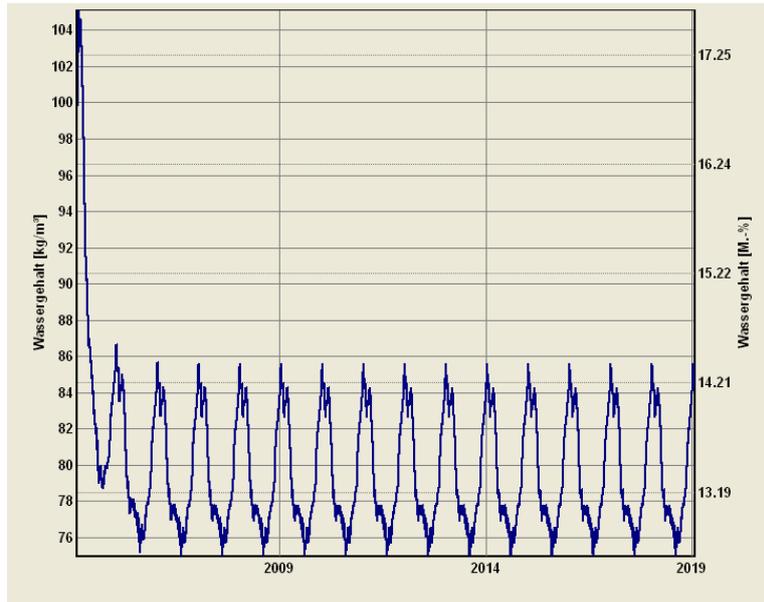


Abbildung 61 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte

Anhand Abbildung 61 erkennt man eindeutig, dass die OSB-Platte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 12,8 und 14,3 M.-% einpendelt. Da die kritische Grenze von 20 M.-% nicht überschritten wird, kann eine holzerstörende Pilzbildung ausgeschlossen werden.

Verlauf des Wassergehaltes in der Streuschalung

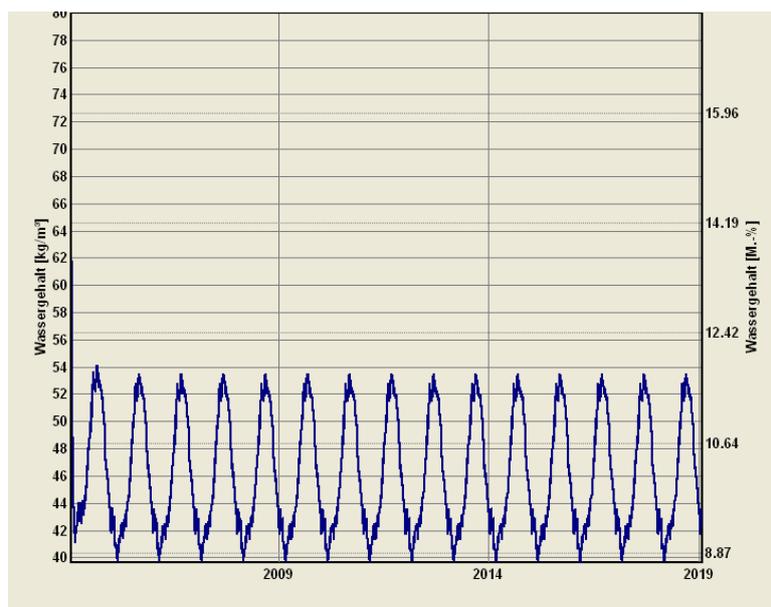


Abbildung 62 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Streuschalung

Anhand Abbildung 62 erkennt man eindeutig, dass die Streuschalung keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und sich bereits nach 3-4 Jahren ein Ausgleichszustand einstellt. Die massebezogenen Feuchtegehalte liegen unter 12 M.-% sodass feuchtebedingte Schäden an dieser Schichte ausgeschlossen werden können.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen EPS-Dämmung und OSB-Platte bzw. die Übergangsschicht zwischen OSB-Platte und Mineralfaserdämmung. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter Pkt. 3.4 angegebenen Grenzwerte (80 % relative Feuchte, 5 °C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht EPS – OSB

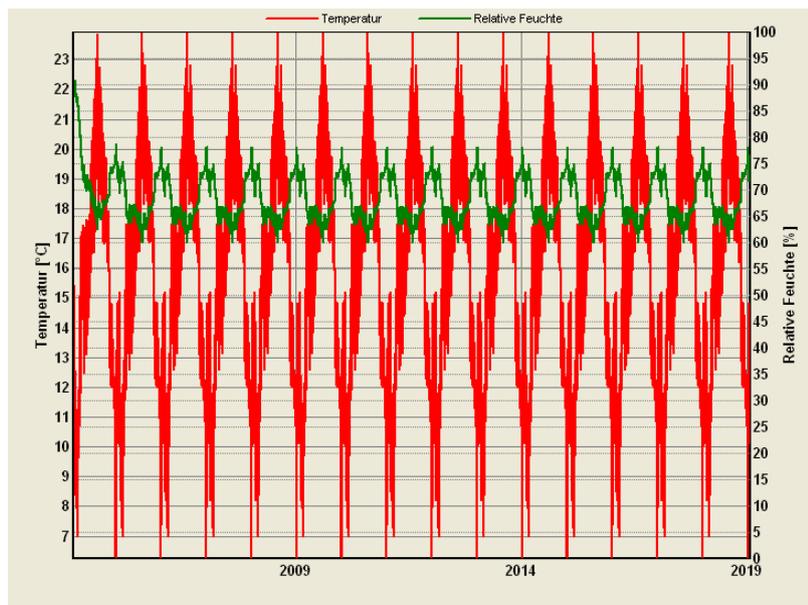


Abbildung 63 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht EPS - OSB

In Abbildung 63 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. Lediglich zu Beginn der Simulationsrechnung sinkt der Wert von knapp über 90 % innerhalb der ersten Austrocknungsperiode unter die kritischen 80 %. Dies findet seine Begründung in den erhöhten Startwerten in der Simulationsrechnung.

Die Temperaturen befinden sich zwar in einem Bereich der eventuelles Schimmelwachstum begünstigen würde, jedoch treten die dazu erforderlichen relativen Feuchten nicht auf.

D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Hinzuweisen ist jedoch, dass in der Praxis ein Schlagregeneintrag (zB. über undichte Festereinschlüsse, etc.) zwischen WDVS und OSB Platte zur Vermeidung feuchtebedingter Schäden auszuschliessen ist! [29]

Übergangsschicht OSB - Mineralfaser

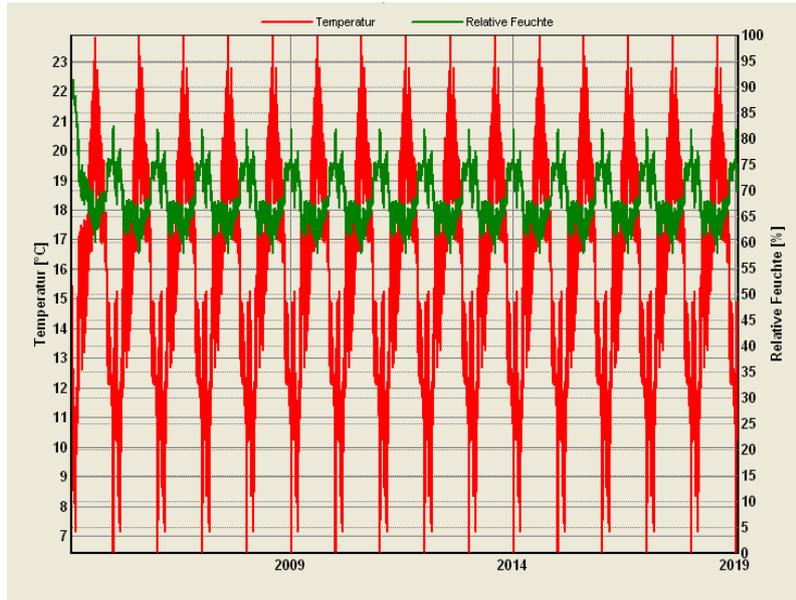


Abbildung 64 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht OSB - Mineralfaser

In Abbildung 64 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nur sehr kurzzeitig (wenige Tage) im Winter überschritten wird. Die entsprechenden Temperaturen befinden sich zu diesen Zeitpunkten ebenfalls knapp über den erforderlichen 5 °C. Die für das Schimmelmwachstum erforderliche gemeinsame Überschreitung der angegebenen Grenzwerte tritt jedoch nur sehr kurz im Jahresrhythmus auf. Es erfolgt daraufhin immer eine sofortige Unterschreitung der Grenzwerte. Eine eventuelle Sporenkeimung innerhalb dieses zeitlich begrenzten Zeitraumes sollte eher unwahrscheinlich sein. Nähere Erkenntnisse diesbezüglich sind jedoch bei Öffnung des Testmoduls nach Ablauf der in situ Messungen zu erwarten.

Zusätzlich wurde auch noch die Übergangsschicht Mineralfaser – Streuschalung untersucht.

Übergangsschicht Mineralfaser – Streuschalung

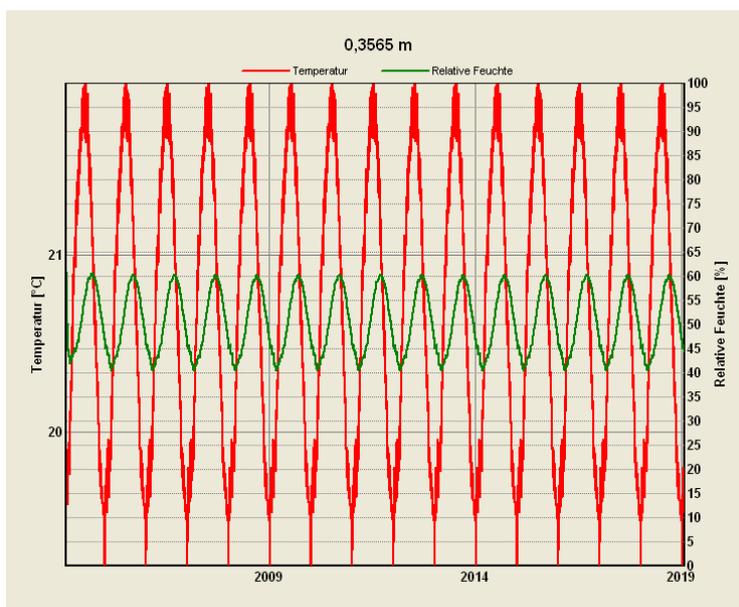


Abbildung 65 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - Streuschalung

Anhand obenstehender Abbildung erkennt man, dass die Grenzwerte für ein Schimmelwachstum im Laufe der 15 Jahre nie erreicht werden. Aus diesem Grund ist ein Schimmelwachstum an dieser Bauteilschicht auszuschließen.

Beurteilung der Innenoberfläche

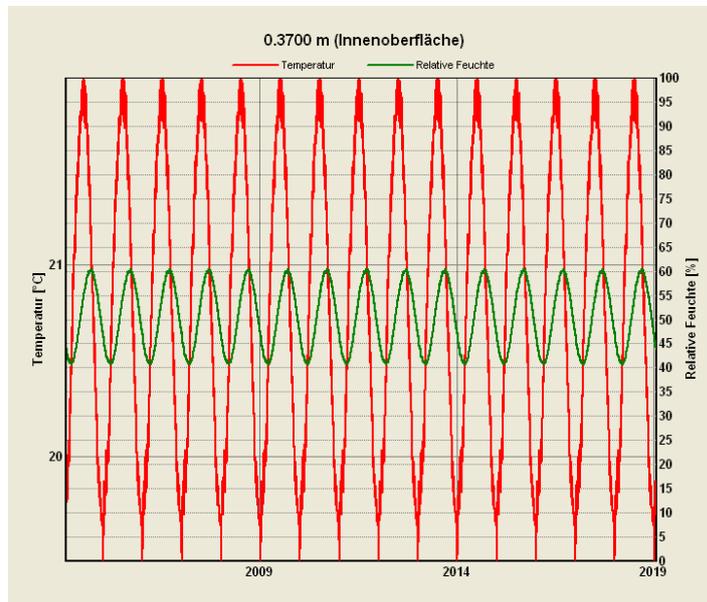


Abbildung 66 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 66 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80% im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an der Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.2 Bauteil 2

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 2 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

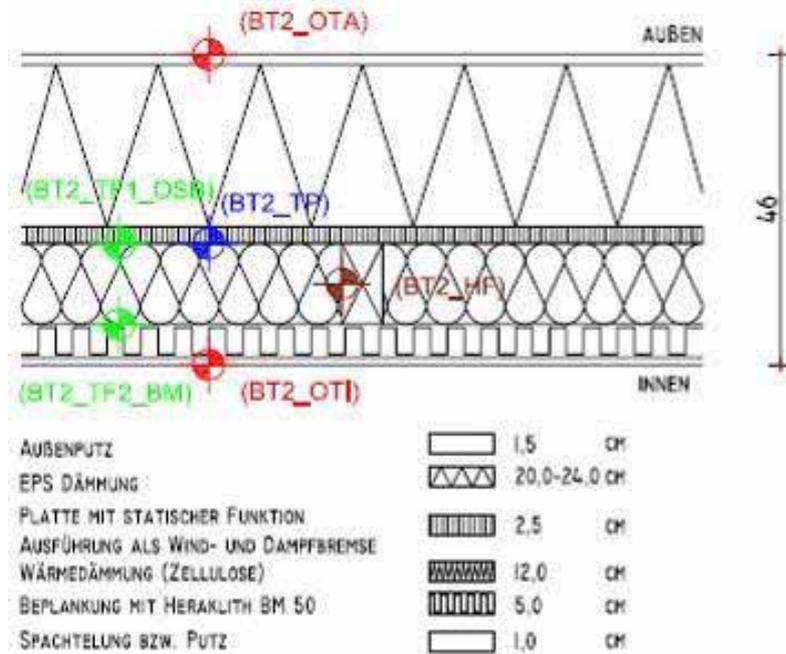


Abbildung 67 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Innenputz	1,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• Isocell Zellulose- Einblasdämmung zwischen Holz-Riegel-Konstruktion	12,0
• OSB-Platte mit aussteifender Wirkung und gleichzeitiger Funktion als Wind- und Dampfbremse	2,5
• EPS Wärmedämmverbundsystem	20,0
• Außenputz ausgeführt als Dünnputz	0,5

Tabelle 18 - Wandaufbau Bauteil 2

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 67 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT2_OTA	Außenoberfläche	°C
BT2_TF1_OSB	Grenzschicht OSB-Platte – Isocell	°C; % r.F.
BT2_TP	Grenzschicht OSB-Platte – Isocell	°C; Kondensat
BT2_HF	Mitte des Holzriegels	M.% Holzfeuchte
BT2_TF2_BM	Grenzschicht Isocell – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT2_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 19 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 2. Abbildung 68 und Abbildung 69 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 68 – Einbau der Messtechnik



Abbildung 69 – Eingebauter Taupunkt-detektor und kombinierter Temperatur und Feuchtesensor in der Ansicht mit Kabelführung

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 2 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte Kapitel 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – EPS (in EPS)
3	Mitte EPS
4	Grenzschicht EPS – OSB (in EPS)
5	Grenzschicht EPS – OSB (in OSB)
6	Grenzschicht OSB – Zellulose (in OSB)
7	Grenzschicht OSB – Zellulose (in Zellulose)
8	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 50 (in Zellulose)
9	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 50 (in BM 50)
10	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Gipsinnenputz (in BM 50)
11	Innenoberfläche

Tabelle 20 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

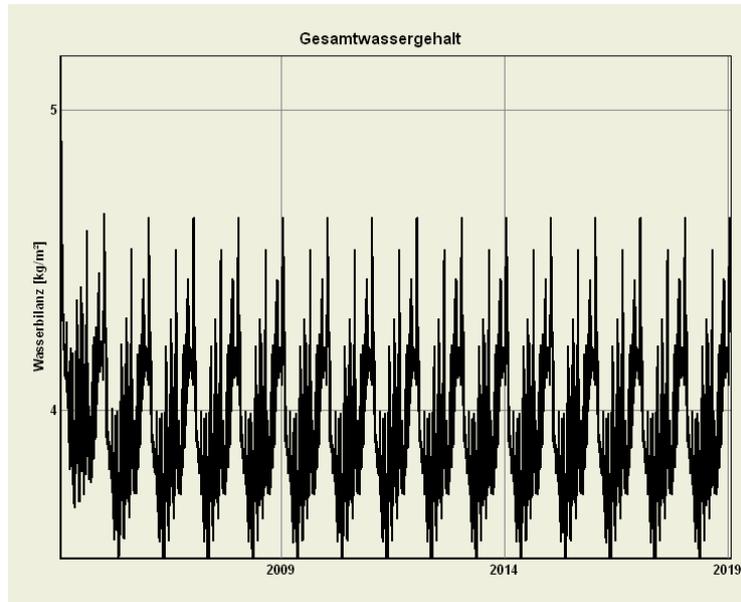


Abbildung 70 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Ausgleichszustand befindet. D.h. die Konstruktion erfüllt dieses Kriterium.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 1 – folgende Bauteilschichten:

- OSB – Platte
- Heraklith BM 50

Verlauf des Wassergehaltes in der OSB Platte

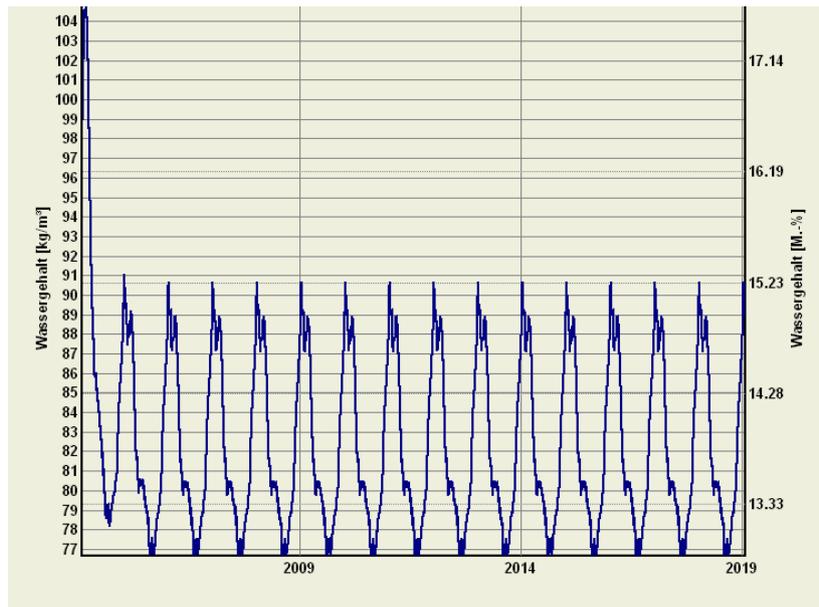


Abbildung 71 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte

Anhand Abbildung 71 erkennt man eindeutig, dass die OSB Platte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 13,0 und 15,25 M. % einpendelt. Dieser Wert liegt deutlich unter den für Holz- bzw. Holzwerkstoffe bedrohlichen 20 M% und deshalb ist von einer Schädigung durch Pilzbefall bzw. Verfaulung dieser Bauteilschicht nicht auszugehen.

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte

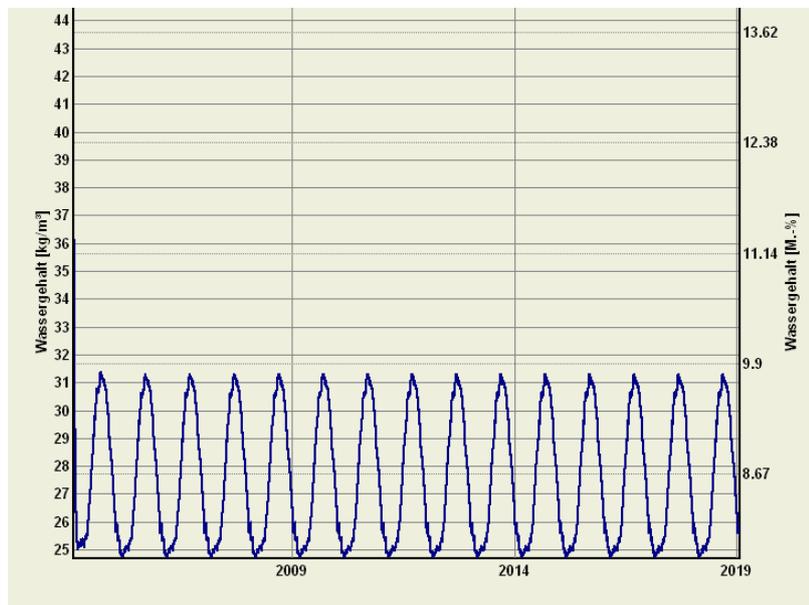


Abbildung 72 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Streuschalung

Abbildung 72 zeigt, dass auch die Heraklith BM 50 Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und sich bereits nach 1 Jahr ein Ausgleichszustand einstellt. Die

massebezogenen Feuchtegehalte liegen ganzjährig unter 10 M.-% sodass eine Schädigung dieser Bauteilschichte auszuschliessen ist.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen EPS- Dämmung und OSB- Platte bzw. die Übergangsschicht zwischen OSB- Platte und Zellulosedämmung. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits entsprechendes Substrat für ein Myzelwachstum auf dem Holzwerkstoffprodukt vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter 3.4 angegebenen Grenzwerte (80% relative Feuchte, 5°C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht EPS – OSB

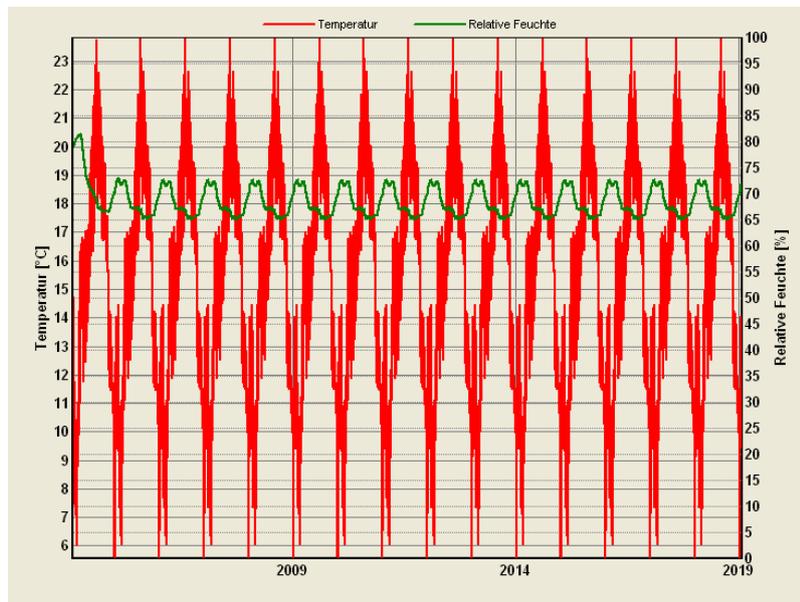


Abbildung 73 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht EPS - OSB

In Abbildung 73 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80% im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. Lediglich zu Beginn der Simulationsrechnung sinkt der Wert von knapp 83 % innerhalb der ersten Austrocknungsperiode unter die kritischen 80 % Marke. Dies findet seine Begründung in den erhöhten Initialbedingungen hinsichtlich Feuchtegehalt zu Beginn der Simulationsberechnung. Bei optimaler Ausführung sollte an dieser Schicht eine Schimmelbildung ausgeschlossen sein.

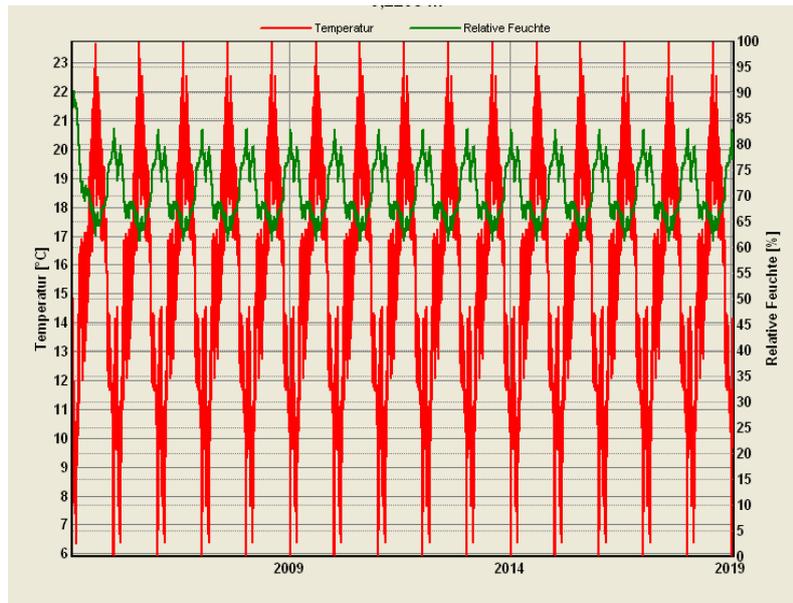
Übergangsschicht OSB - Zellulose

Abbildung 74 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht OSB - Zellulose

In Abbildung 74 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nur sehr kurzzeitig (11 Tage) im Winter überschritten wird. Die entsprechenden Temperaturen befinden sich zu diesen Zeitpunkten ebenfalls knapp über den erforderlichen 5 °C. Die für das Schimmelwachstum erforderliche gemeinsame Überschreitung der angegebenen Grenzwerte tritt jedoch nur sehr kurz im Jahresrhythmus auf. Es erfolgt daraufhin immer eine sofortige Unterschreitung der Grenzwerte die ein mögliches Schimmelwachstum wiederum eindämmt bzw. ausschließt. Aufgrund des eingeschränkten Zeitraumes, an dem klimatisch günstige Bedingungen vorliegen sowie der schimmelresistenten Eigenschaften der Zellulose sollte ein Pilzwachstum an dieser Grenzfläche vermieden werden.

Zusätzlich wurde auch noch die Übergangsschicht Zellulose – Heraklith BM 50 untersucht.

Übergangsschicht Zellulose – Heraklith BM 50

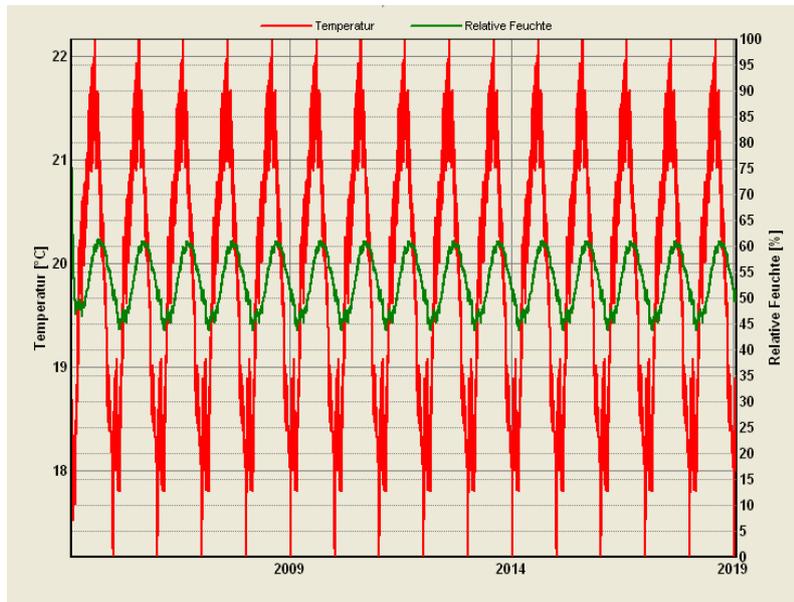


Abbildung 75 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM

Anhand obenstehender Abbildung erkennt man, dass die Grenzwerte für ein Schimmelwachstum im Laufe der 15 Jahre nie erreicht werden. Aus diesem Grund ist ein Schimmelwachstum an dieser Bauteilschicht auszuschließen.

Beurteilung der Innenoberfläche

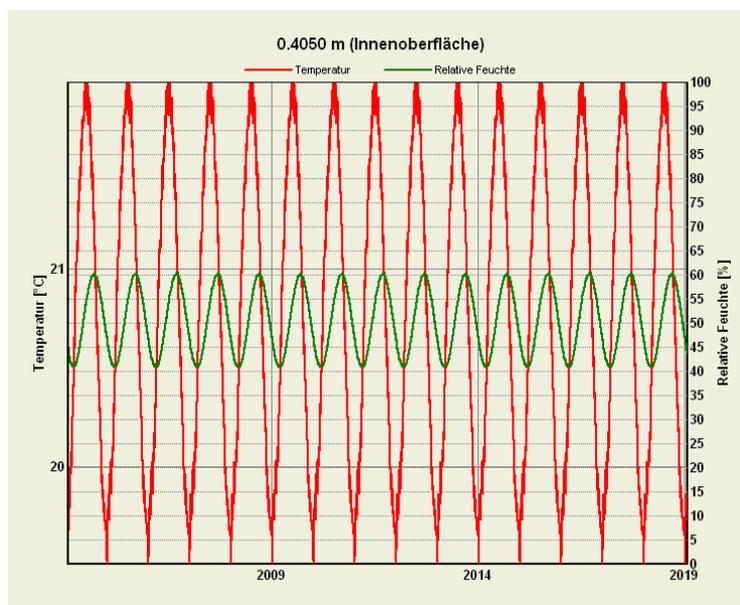


Abbildung 76 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 76 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird.
D.h. an Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.3 Bauteil 4

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 4 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

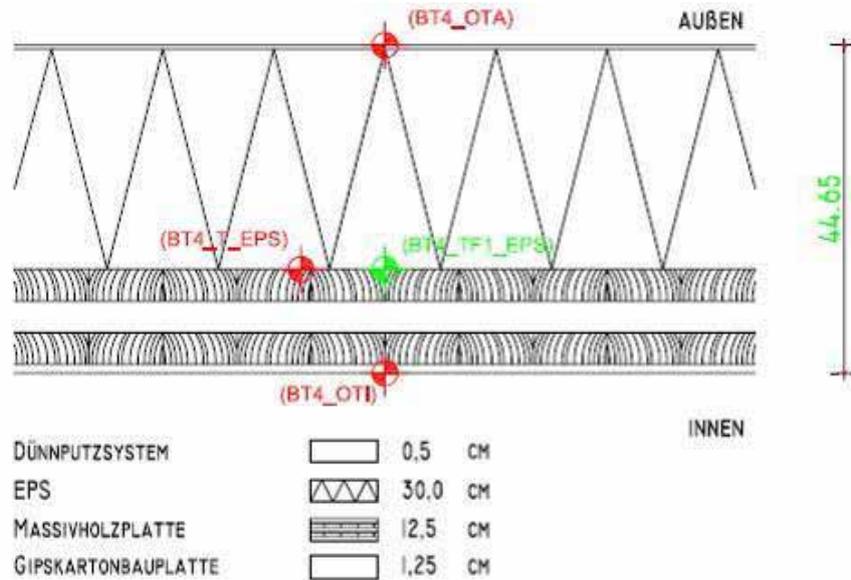


Abbildung 77 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipskartonplatte mit Spachtelung	1,25
• Dreischicht Massivholzplatte	12,5
• EPS Wärmedämmverbundsystem	30,0
• Außenputz ausgeführt als Dünnputz	0,5

Tabelle 21 - Wandaufbau Bauteil 4

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 77 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT4_OTA	Außenoberfläche	°C
BT4_TF1_EPS	Grenzschicht Massivholzplatte – EPS	°C; % r.F.
BT4_T_EPS	Grenzschicht Massivholzplatte – EPS	°C
BT4_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 22 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 4. Abbildung 78 und Abbildung 79 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 78 – Ansicht Massivholzelement mit gefrästem Schlitz für die Messtechnik



Abbildung 79 – Eingebauter Taupunkt-detektor und Temperaturfühler

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 4 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt. Die angesetzten Randbedingungen sind Kapitel 3.3 zu entnehmen.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – EPS (in EPS)
3	Mitte EPS
4	Grenzschicht EPS – Massivholzplatte (in EPS)
5	Grenzschicht EPS – Massivholzplatte (in MHP)
6	~4cm in Massivholzplatte
7	~10cm in Massivholzplatte
8	Grenzschicht Massivholzplatte – Gipskartonplatte (in MHP)
9	Grenzschicht Massivholzplatte – Gipskartonplatte (in GKP)
10	Innenoberfläche

Tabelle 23 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

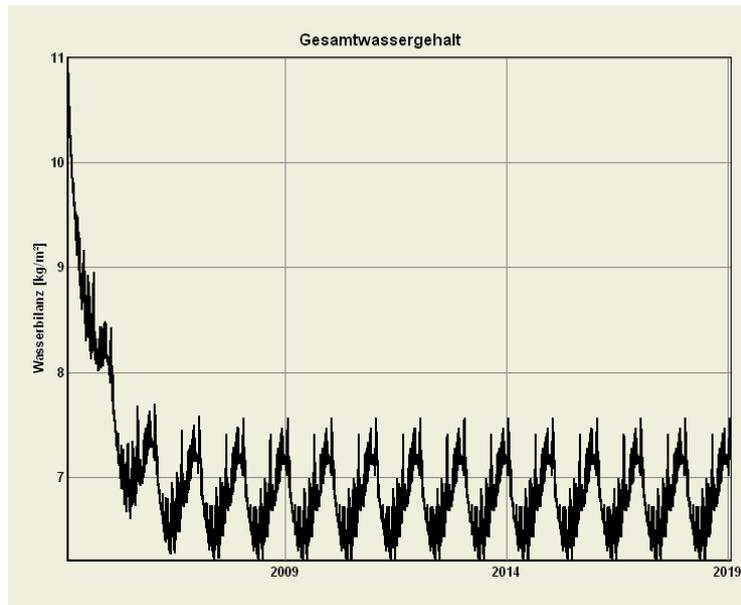


Abbildung 80 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 3 Jahren am stärksten ausgeprägt und resultiert sodann in einem ausgeglichenen Feuchtehaushalt.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 4 – folgende Bauteilschicht:

- Massivholzplatte

Verlauf des Wassergehaltes in der Massivholzplatte

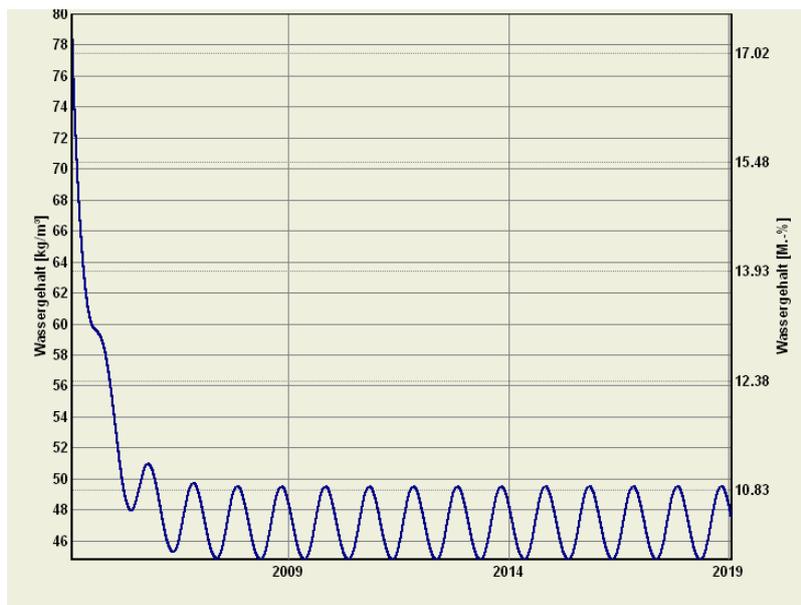


Abbildung 81 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Massivholzplatte

Anhand Abbildung 81 erkennt man eindeutig, dass die Massivholzplatte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt von unter 11 M.-% einpendelt. Eine Schädigung durch Pilzbefall ist somit auszuschließen.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese ist im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen EPS-Dämmung und Massivholzplatte. An dieser Stelle könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter 3.4 angegebenen Grenzwerte (80% relative Feuchte, 5°C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht EPS –Massivholzplatte

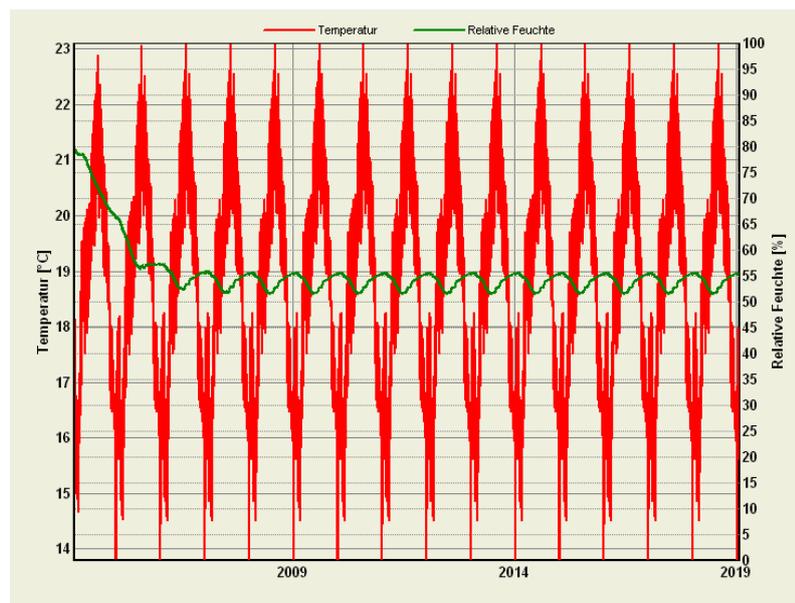


Abbildung 82 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzsicht EPS - Massivholzplatte

In Abbildung 82 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. Die Temperaturen befinden sich zwar in einem Bereich der Schimmelwachstum begünstigen würde, jedoch treten die dazu erforderlichen relativen Feuchten nicht auf.

D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Beurteilung der Innenoberfläche

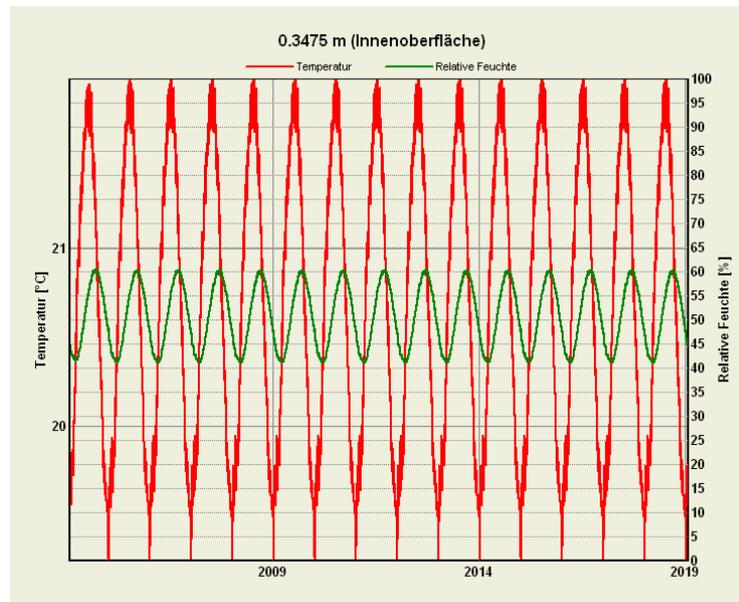


Abbildung 83 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 83 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.4 Bauteil 5

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 5 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

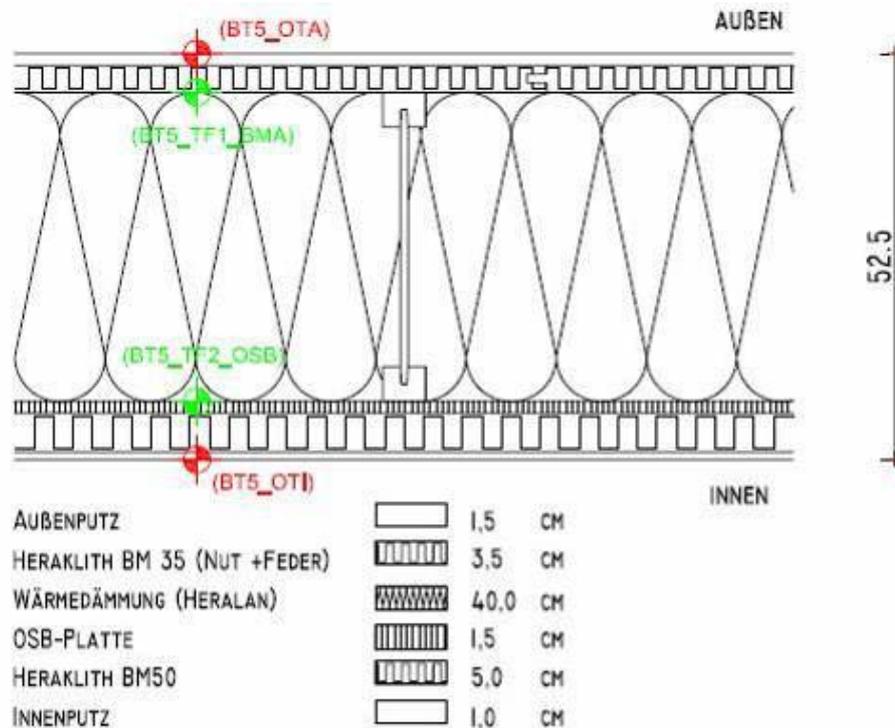


Abbildung 84 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipsinnenputz	1,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• OSB-Platte als Wind- und Dampfbremse	1,5
• Mineralfaserdämmung Heralan FP zwischen TJI – Trägern	30,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 35 (mit Nut und Feder)	3,5
• Außenputz ausgeführt als Dickputz	0,5

Tabelle 24 - Wandaufbau Bauteil 5

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 84 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT5_OTA	Außenoberfläche	°C
BT5_TF1_BMA	Grenzschicht Heralan FP – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT5_TF2_OSB	Grenzschicht OSB-Platte – Heralan FP	°C; % r.F.
BT5_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 25 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 5. Abbildung 85 und Abbildung 86 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 85 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 86 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 5 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Kapitel 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Heraklith BM 35 (in BM 35)
3	Grenzschicht Heraklith BM 35 - Mineralfaser (in BM 35)
4	Grenzschicht Heraklith BM 35 - Mineralfaser (in Mineralfaser)
5	Mitte Mineralfaser
6	Grenzschicht Mineralfaser – OSB (in Mineralfaser)
7	Grenzschicht Mineralfaser – OSB (in OSB)
8	Grenzschicht OSB – Heraklith BM 50 (in OSB)
9	Grenzschicht OSB – Heraklith BM 50 (in BM 50)
10	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Gipsinnenputz (in BM 50)
11	Innenoberfläche

Tabelle 26 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

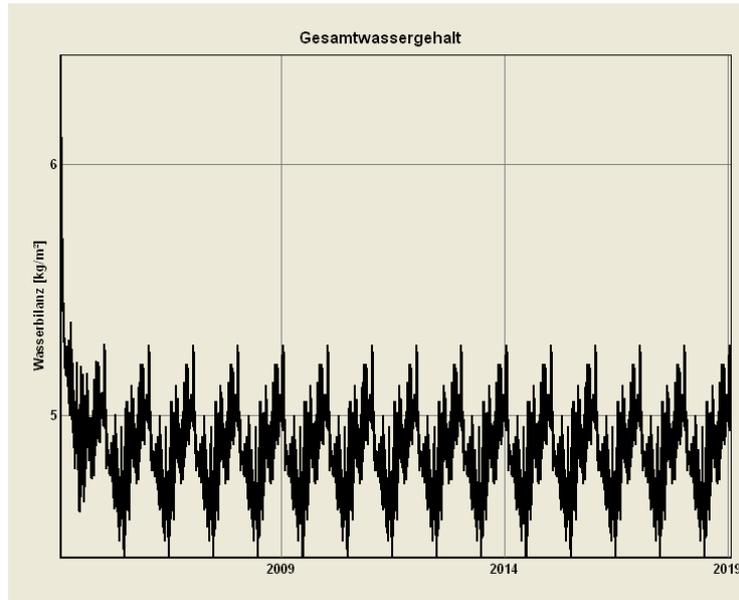


Abbildung 87 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Ausgleichszustand befindet. Die Konstruktion erfüllt somit dieses Kriterium.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 5 – folgende Bauteilschichten:

- Heraklith BM 35
- OSB – Platte
- Heraklith BM 50

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 35 Platte

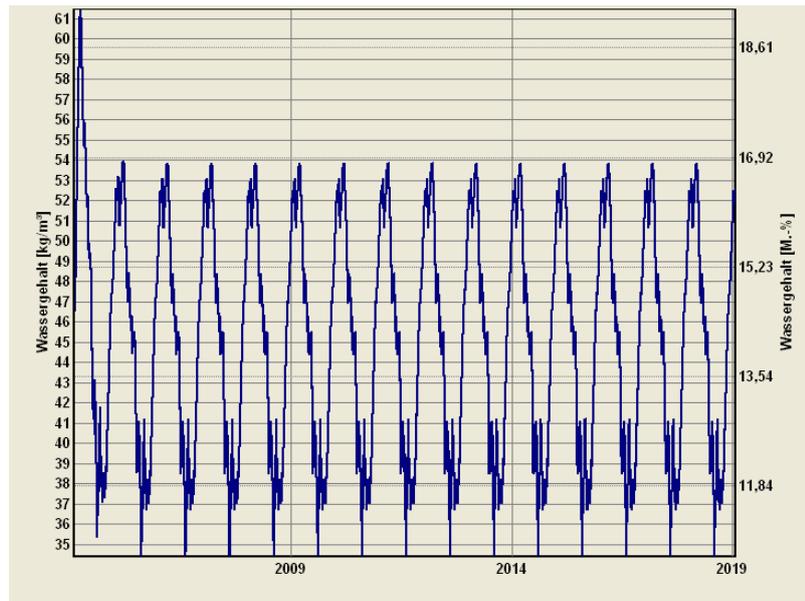


Abbildung 88 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 35

Anhand Abbildung 88 erkennt man eindeutig, dass die Heraklith BM 35 Platte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 11,0 und 17,0 M.- % einpendelt. Da eine erhöhte Feuchtebelastung > 20 M.- % auszuschliessen ist, gilt eine Schädigung durch Pilzbefall bzw. Verfaulung als unwahrscheinlich.

Verlauf des Wassergehaltes in der OSB - Platte

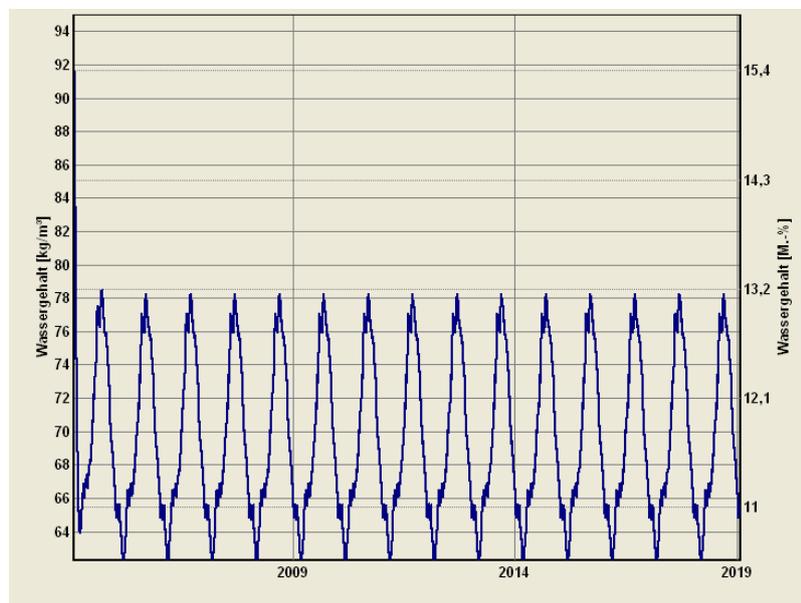


Abbildung 89 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte

Anhand Abbildung 89 erkennt man eindeutig, dass die OSB 50 Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Die massebezogenen Feuchtegehalt überschreitet während des Untersuchungszeitraumes nicht die 14 M.- % Grenze, sodass eine feuchtebedingte Schädigung dieser Schichte nicht zu erwarten ist.

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte

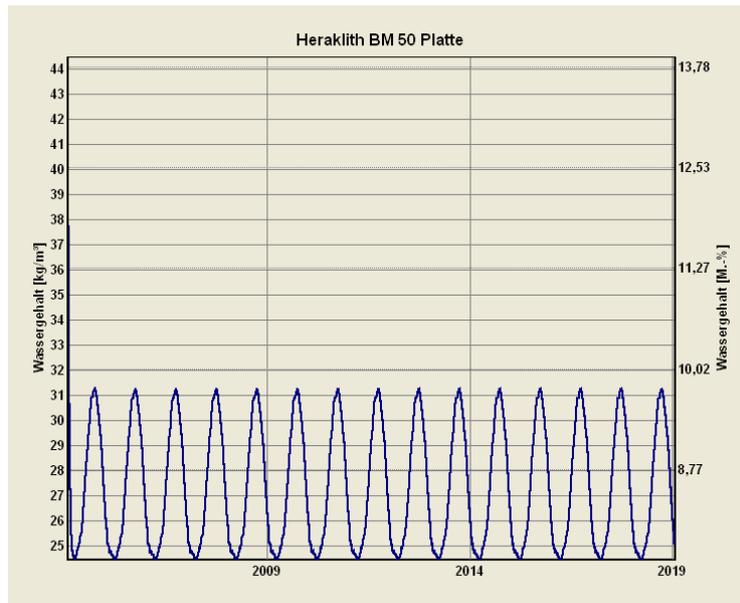


Abbildung 90 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte

Anhand Abbildung 90 erkennt man eindeutig, dass die Heraklith BM 50 Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Der massebezogene Feuchtegehalt bleibt unter 10 M.-%.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Heraklith BM35 und Mineralfaser, die Übergangsschicht zwischen Mineralfaser und OSB-Platte. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter 3.4 angegebenen Grenzwerte (80% relative Feuchte, 5°C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Heraklith BM35 – Mineralfaser

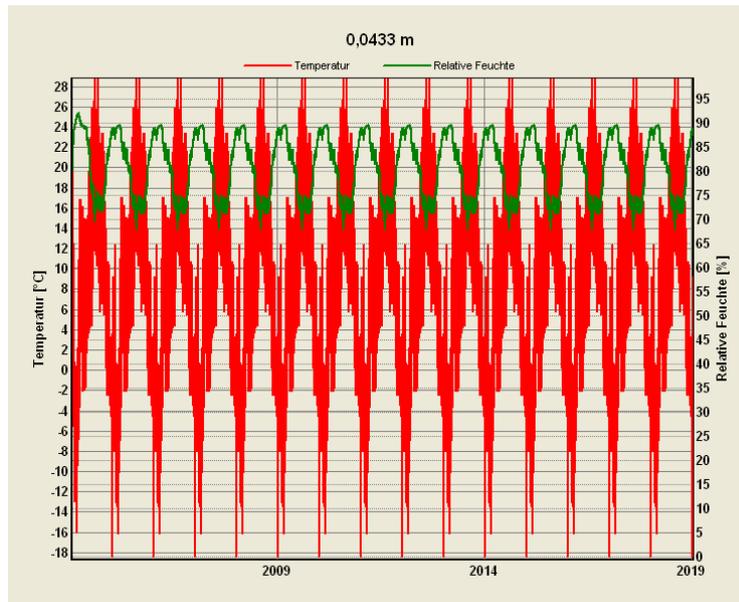


Abbildung 91 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM35 - Mineralfaser

In Abbildung 91 erkennt man, dass die Grenzwerte von 80 % relativer Feuchte und 5 °C über einen längeren Zeitraum überschritten werden. Dies kann bei entsprechender Nahrungsgrundlage für die Schimmelsporen zu Schimmelwachstum führen. Es ist jedoch, wie unter 3.4 Anmerkung 3 zu lesen, dass die HWL-Platte als beständig gegen Schimmelbildung einzustufen ist. D.h. im Normalfall findet sollte kein Befall der Heraklith BM Platte durch Schimmelpilze stattfinden.

Übergangsschicht Mineralfaser - OSB

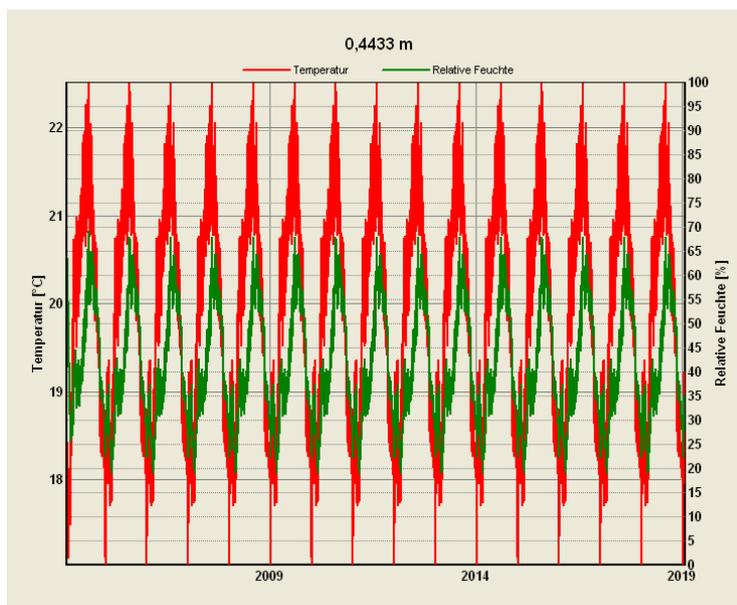


Abbildung 92 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - OSB

In Abbildung 92 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Beurteilung der Innenoberfläche

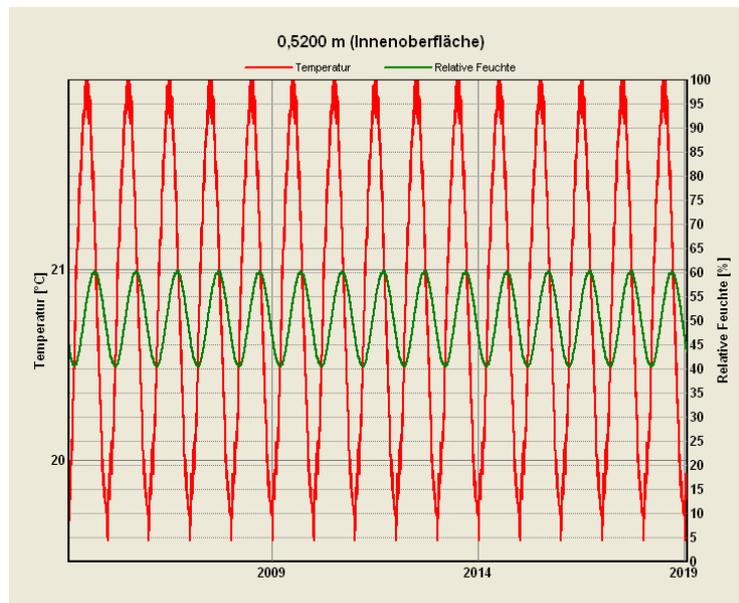


Abbildung 93 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 93 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.5 Bauteil 6

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 6 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

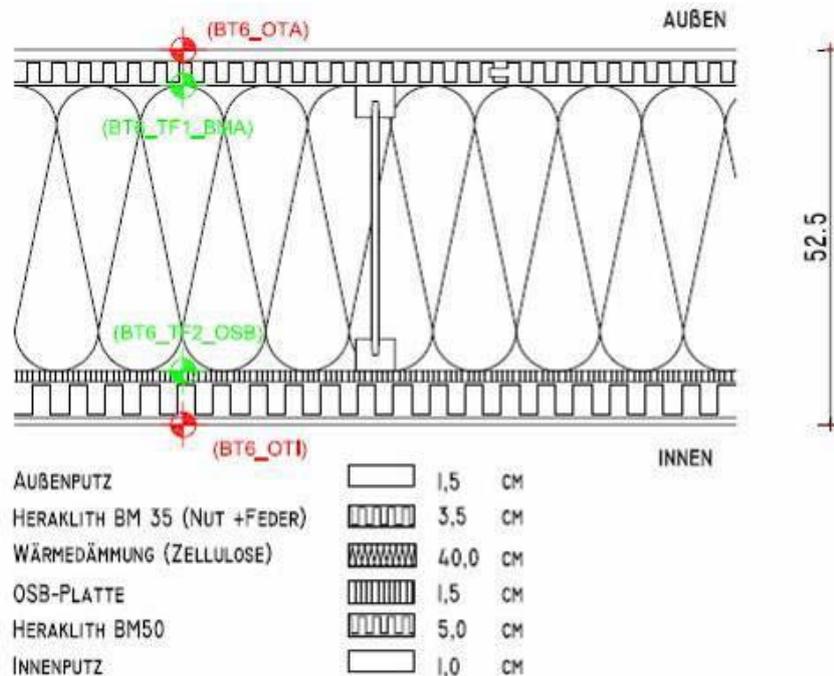


Abbildung 94 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipsinnenputz	1,0
• Holzwolle- Leichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• OSB-Platte als Wind- und Dampfbremse	1,5
• Zelluloseeinblasdämmung Isocell zwischen TJI – Trägern	30,0
• Holzwolleleichtbauplatte Heraklith BM 35 (mit Nut und Feder)	3,5
• Außenputz ausgeführt als Dickputz	0,5

Tabelle 27 - Wandaufbau Bauteil 6

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 94 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT6_OTA	Außenoberfläche	°C
BT6_TF1_BMA	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 35	°C; % r.F.
BT6_TF2_OSB	Grenzschicht OSB-Platte – Zellulose	°C; % r.F.
BT6_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 28 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentemperatursensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 6. Abbildung 95 und Abbildung 96 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 95 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 96 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 6 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Pkt. 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Heraklith BM 35 (in BM 35)
3	Grenzschicht Heraklith BM 35 – Zellulose (in BM 35)
4	Grenzschicht Heraklith BM 35 - Zellulose (in Zellulose)
5	Mitte Zellulose
6	Grenzschicht Zellulose – OSB (in Zellulose)
7	Grenzschicht Zellulose – OSB (in OSB)
8	Grenzschicht OSB – Heraklith BM 50 (in OSB)
9	Grenzschicht OSB – Heraklith BM 50 (in BM 50)
10	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Gipsinnenputz (in BM 50)
11	Innenoberfläche

Tabelle 29 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

In nachstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Gleichgewichtszustand befindet. Die Konstruktion erfüllt somit dieses Kriterium.

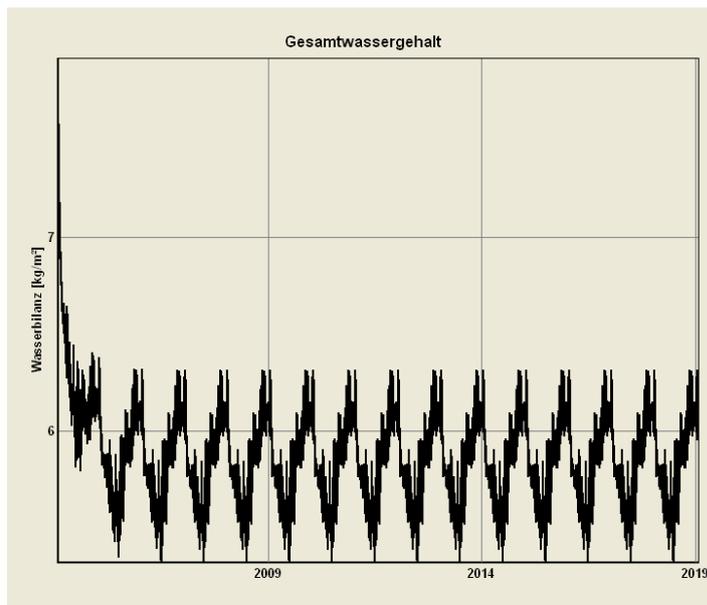


Abbildung 97 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 M.- % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 6 – folgende Bauteilschichten:

- Heraklith BM 35
- OSB – Platte
- Heraklith BM 50

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 35 Platte

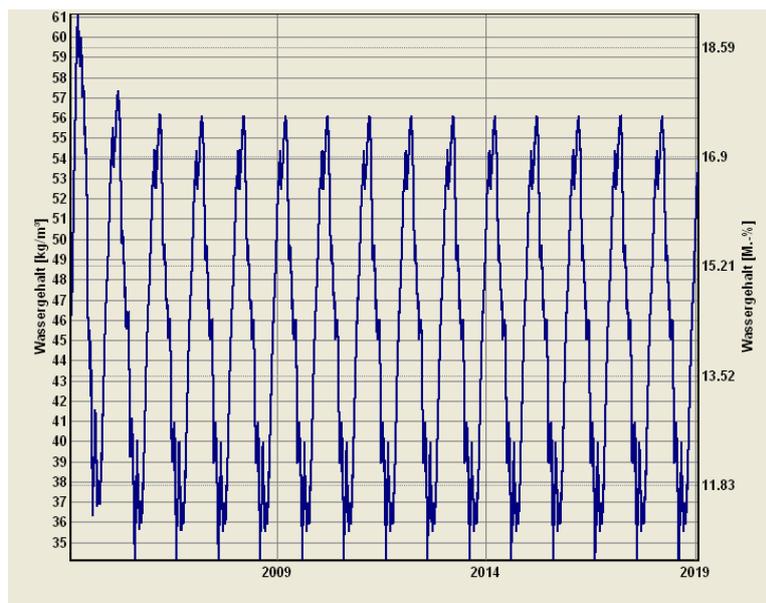


Abbildung 98 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 35

Anhand Abbildung 98 erkennt man eindeutig, dass die Heraklith BM 35 Platte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 11,0 und 17,5 M.- % einpendelt. Dieser Wert liegt unter den für Holz- bzw. Holzwerkstoffe bedrohlichen 20 M% und deshalb ist von einer Schädigung durch Pilzbefall bzw. Verfaulung dieser Bauteilschicht nicht auszugehen.

Verlauf des Wassergehaltes in der OSB - Platte

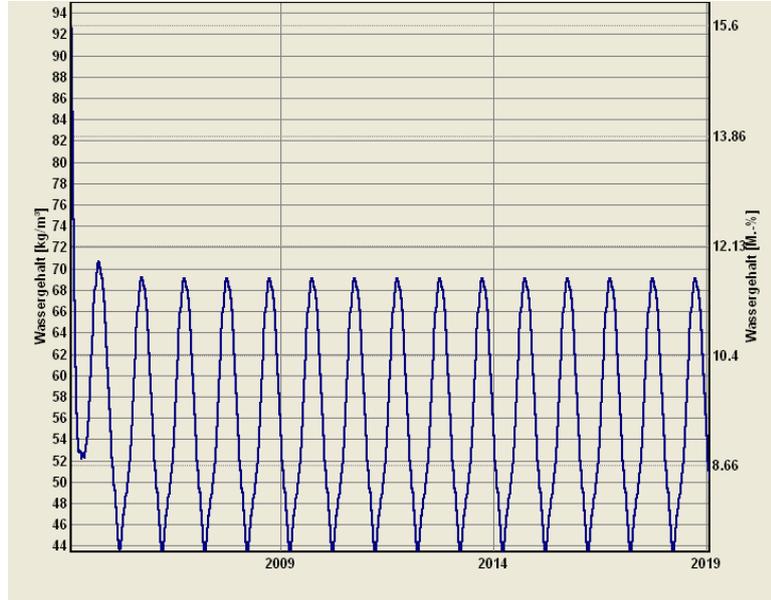


Abbildung 99 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte

Anhand Abbildung 99 erkennt man eindeutig, dass die OSB Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Die massebezogenen Feuchtegehalte überschreiten nie die 12 M.- % Marke und deshalb ist eine Schädigung dieser Schichte nicht zu erwarten.

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte

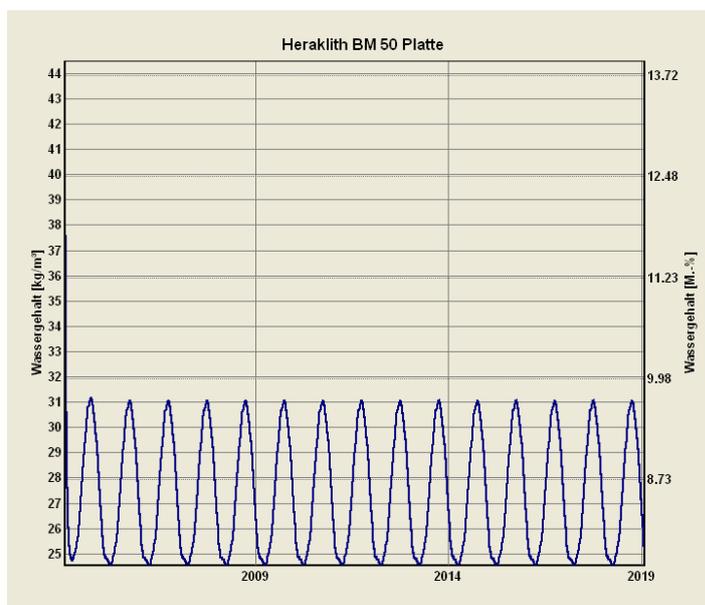


Abbildung 100 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte

Anhand Abbildung 100 erkennt man eindeutig, dass die OSB 50 Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Die Massebezogenen Feuchtegehalte überschreiten nie die 10 M.-% Marke und deshalb ist eine Schädigung dieser Schichte nicht zu erwarten.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Heraklith BM35 und Zellulose und die Übergangsschicht zwischen Zellulose und OSB- Platte. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter 3.4 angegebenen Grenzwerte (80 % relative Feuchte, 5 °C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Heraklith BM35 – Zellulose

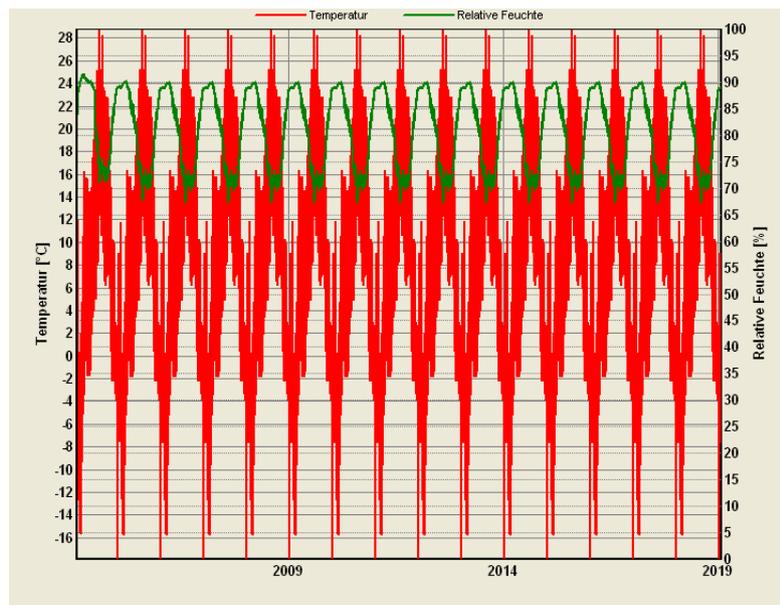


Abbildung 101 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM35 - Zellulose

In Abbildung 101 erkennt man, dass die Grenzwerte von 80 % relativer Feuchte und 5 °C über einen längeren Zeitraum überschritten sind. Dies kann bei entsprechender Nahrungsgrundlage für die Schimmelsporen zu Schimmelwachstum führen.

Es ist jedoch, wie unter 3.4 Anmerkung 3 zu lesen, dass sowohl die HWL-Platte, als auch die Zellulose selbst als beständig gegen Schimmelbildung einzustufen ist. D.h. im Normalfall findet kein Befall der Heraklith BM Platte durch Schimmelpilze statt und somit tritt keine Zerstörung des Baustoffes ein.

Aufgrund dieser Tatsache, dem hohen pH-Wert der Heraklith BM-Platte und den der Zellosedämmung beigefügten Boraten, die ein Schimmelwachstum verhindern ist ein Schimmelpilzwachstum an der Grenzschicht BM-Platte – Zelleulose eher auszuschliessen.

Übergangsschicht Zelleulose - OSB

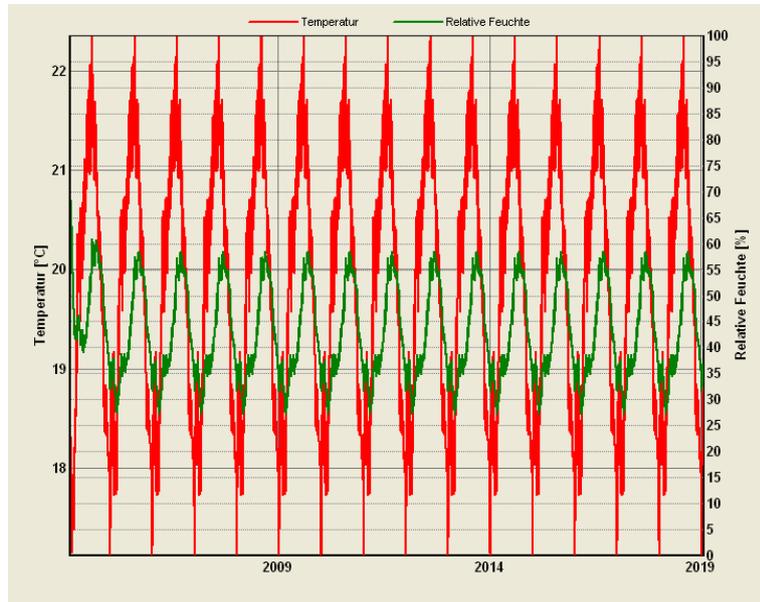


Abbildung 102 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - OSB

In Abbildung 102 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Beurteilung der Innenoberfläche

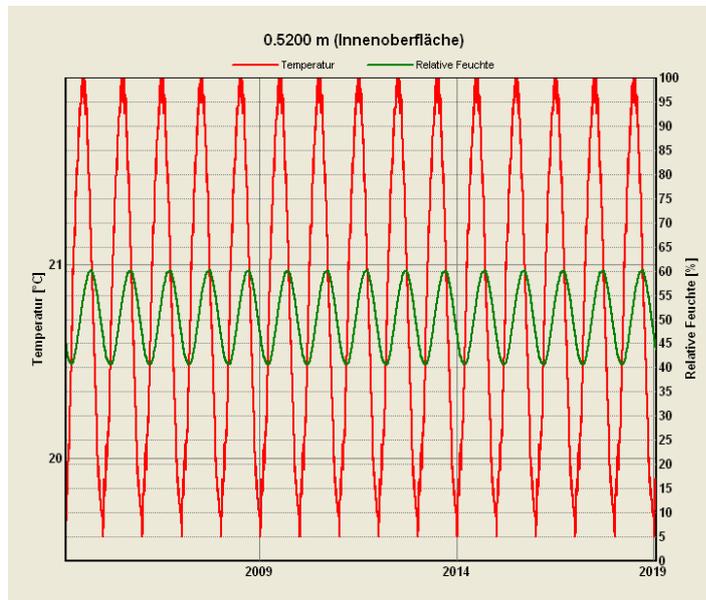


Abbildung 103 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 103 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.6 Bauteil 7

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 7 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

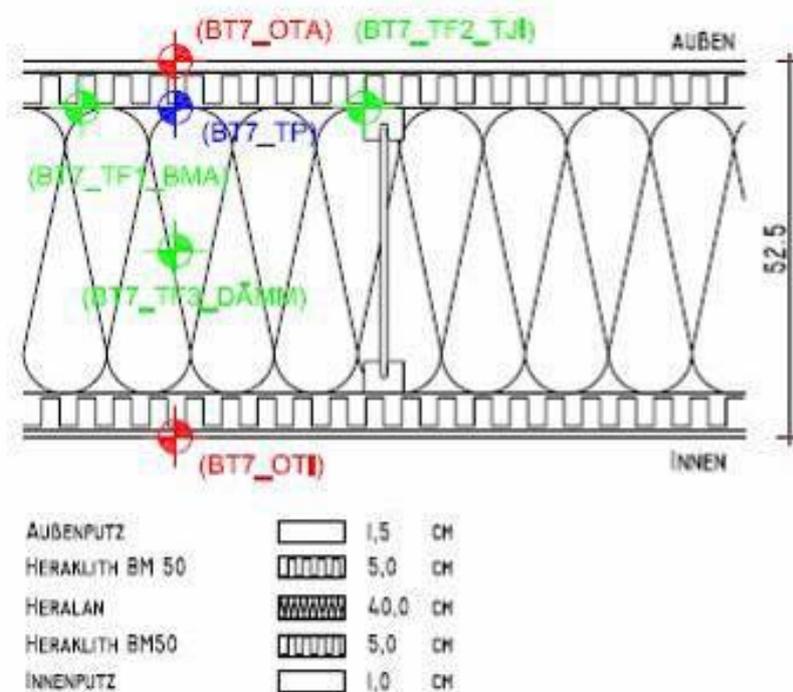


Abbildung 104 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipsinnenputz	1,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• Mineralfaserdämmung Heralan FP zwischen TJI – Trägern	30,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• Außenputz ausgeführt als Dickputz	0,5

Tabelle 30 - Wandaufbau Bauteil 7

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 104 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT7_OTA	Außenoberfläche	°C
BT7_TF1_BMA	Grenzschicht Heralan FP – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT7_TF2_TJI	Anschluss TJI-Träger – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT7_TP	Grenzschicht Heralan FP – Heraklith BM 50	°C; Kondensat
BT7_TF3_DÄMM	Mitte der Mineralfaserdämmung	°C; % r.F.
BT7_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 31 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie zB. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 7. Abbildung 105 und Abbildung 106 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 105 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 106 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 7 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Pkt. 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Heraklith BM 50 (in BM 50)
3	Grenzschicht Heraklith BM 50 - Mineralfaser (in BM 50)
4	Grenzschicht Heraklith BM 50 - Mineralfaser (in Mineralfaser)
5	Mitte Mineralfaser
6	Grenzschicht Mineralfaser – Heraklith BM 50 (in Mineralfaser)
7	Grenzschicht Mineralfaser – Heraklith BM 50 (in BM 50)
8	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Gipsinnenputz (in BM 50)
9	Innenoberfläche

Tabelle 32 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

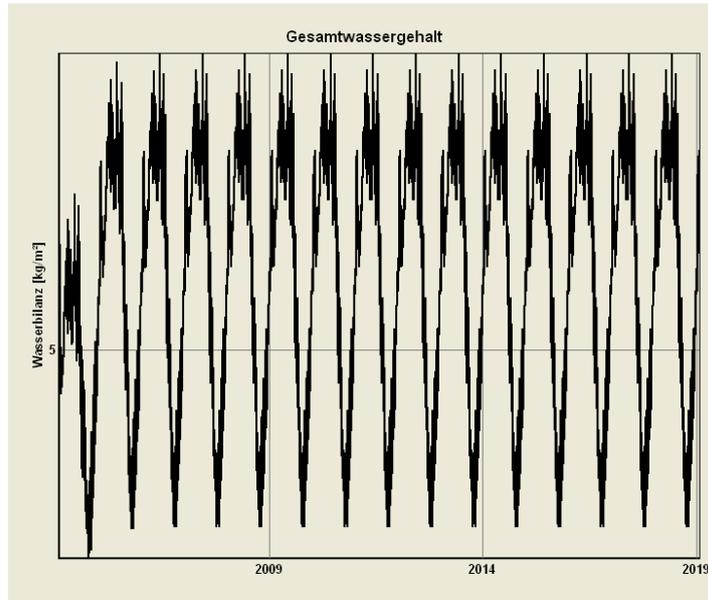


Abbildung 107 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre aufweicht und der Gesamtwassergehalt der Konstruktion steigt. Die Aufweitung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Ausgleichszustand befindet..

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 7 – folgende Bauteilschichten:

- Heraklith BM 50 (außen)
- Heraklith BM 50 (innen)

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (außen)

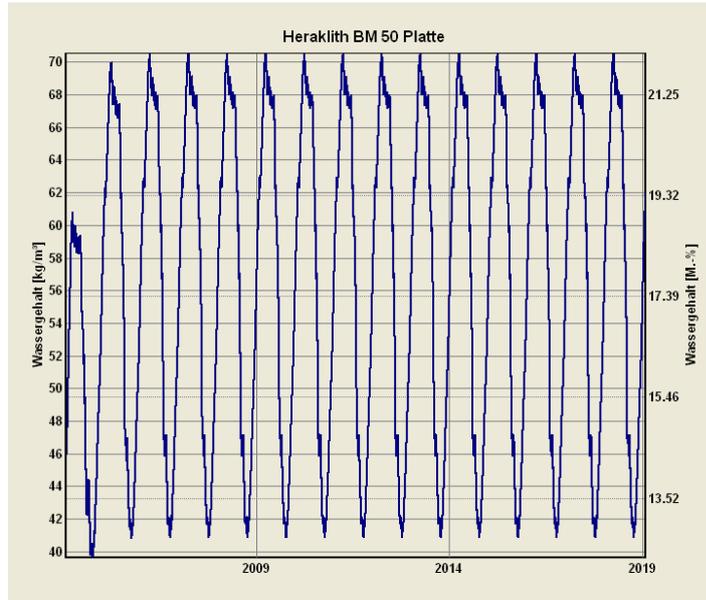


Abbildung 108 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 (außen)

Anhand Abbildung 108 erkennt man, dass die Heraklith BM 50 Platte in den ersten Jahren aufweicht und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 13,0 (Sommer) und 22,0 M.-% (Winter) einpendelt. Da die zur Bildung von holzerstörenden Pilzen relevante maximale Obergrenze von 20 M.-% während eines Zeitraumes von drei Monaten im jeweiligen Jahresverlauf überschritten wird, kann eine feuchtebedingte Schädigung der involvierten Bauteilschichten sowie der Tragstruktur nicht ausgeschlossen werden. In Zuge der zukünftigen weiteren Entwicklungen sollte es jedoch möglich sein, durch eine entsprechende Modifizierung des Innenputzsystems den diffusiven Wasserdampftransport in die Konstruktion zu reduzieren, um feuchtebedingte Beeinträchtigungen zu vermeiden.

Verlauf des Wassergehaltes der Heraklith BM 50 Platte (innen)

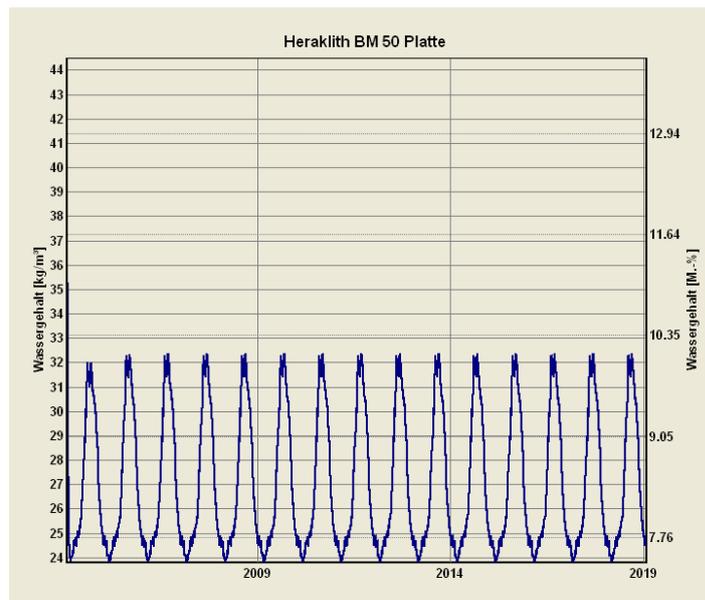


Abbildung 109 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (innen)

Anhand Abbildung 109 erkennt man eindeutig, dass die Heraklith BM 50 Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Die massebezogenen Feuchtegehalte überschreiten nie die 10 M.- % Marke und deshalb ist eine Schädigung dieser Schichte nicht zu erwarten.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Heraklith BM50 und Mineralfaser und die Übergangsschicht zwischen Mineralfaser und Heraklith BM50. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter Pkt. 3.4 angegebenen Grenzwerte (80% relative Feuchte, 5°C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Heraklith BM50 (außen) – Mineralfaser

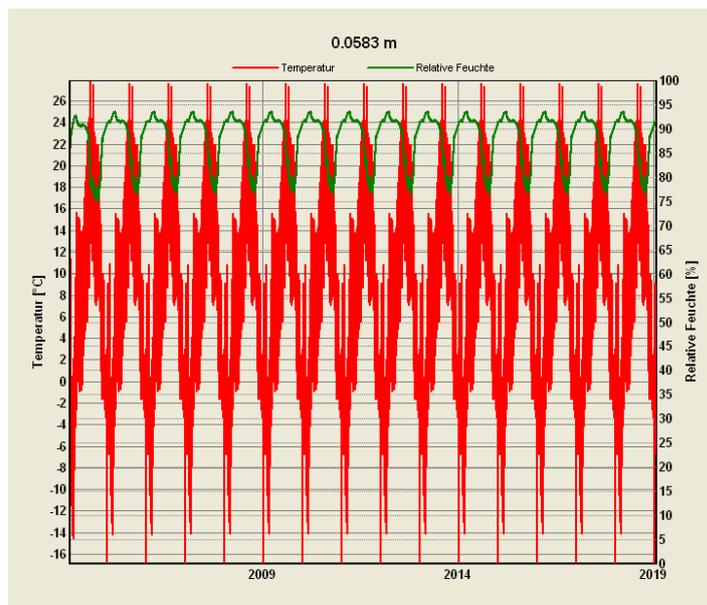


Abbildung 110 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM50 - Mineralfaser

In Abbildung 110 erkennt man, dass die Grenzwerte von 80 % relativer Feuchte und 5 °C über mehrere Monate hinweg überschritten sind und Maximalwerte von bis zu ~ 93 % erreicht werden. Dies kann bei entsprechender Nahrunggrundlage für die Schimmelsporen zu Schimmelwachstum führen.

Obwohl, wie unter Pkt. 3.4 Anmerkung 3 zu lesen, die HWL-Platte als beständig gegen Schimmelbildung einzustufen ist, kann aufgrund der lang andauernden hohen Feuchtebelastung jedoch ein Schimmelbefall der betroffenen Grenzschicht sowie insbesondere der angrenzenden, statisch wirksamen Holztragstruktur nicht ausgeschlossen werden.

Übergangsschicht Mineralfaser – Heraklith BM50 (innen)

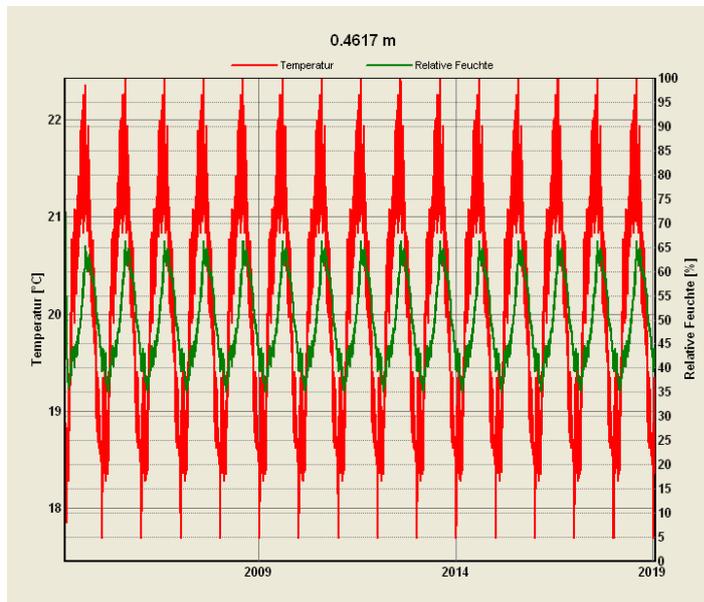


Abbildung 111 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser – Heraklith BM 50

In Abbildung 111 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80% im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Beurteilung der Innenoberfläche

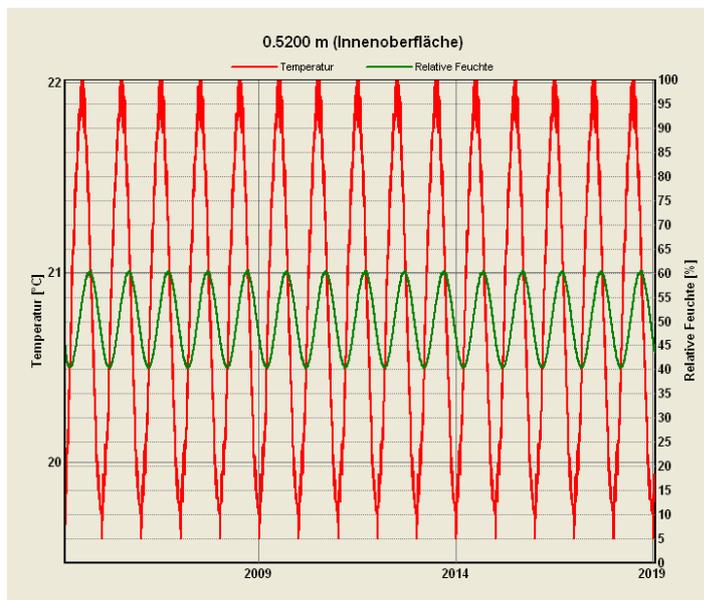


Abbildung 112 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 112 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80% im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.7 Bauteil 8

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 8 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

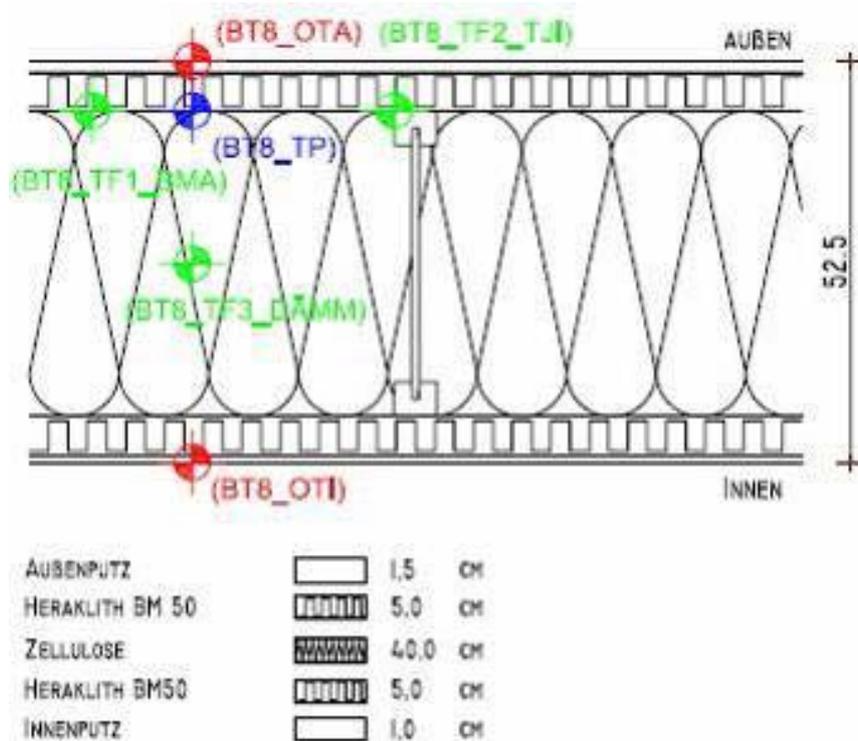


Abbildung 113 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipsinnenputz	1,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• Zellulose- Einblasdämmung Isocell zwischen TJI – Trägern	30,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• Außenputz ausgeführt als Dickputz	0,5

Tabelle 33 - Wandaufbau Bauteil 8

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 113 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT8_OTA	Außenoberfläche	°C
BT8_TF1_BMA	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT8_TF2_TJI	Anschluss TJI-Träger – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT8_TP	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 50	°C; Kondensat
BT8_TF3_DÄMM	Mitte der Zellulosedämmung	°C; % r.F.
BT8_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 34 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 8. Abbildung 114 und Abbildung 115 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 114 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 115 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 8 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Pkt. 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Heraklith BM 50 (in BM 50)
3	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Zellulose (in BM 50)
4	Grenzschicht Heraklith BM 50 - Zellulose (in Zellulose)
5	Mitte Zellulose
6	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 50 (in Zellulose)
7	Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM 50 (in BM 50)
8	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Gipsinnenputz (in BM 50)
9	Innenoberfläche

Tabelle 35 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

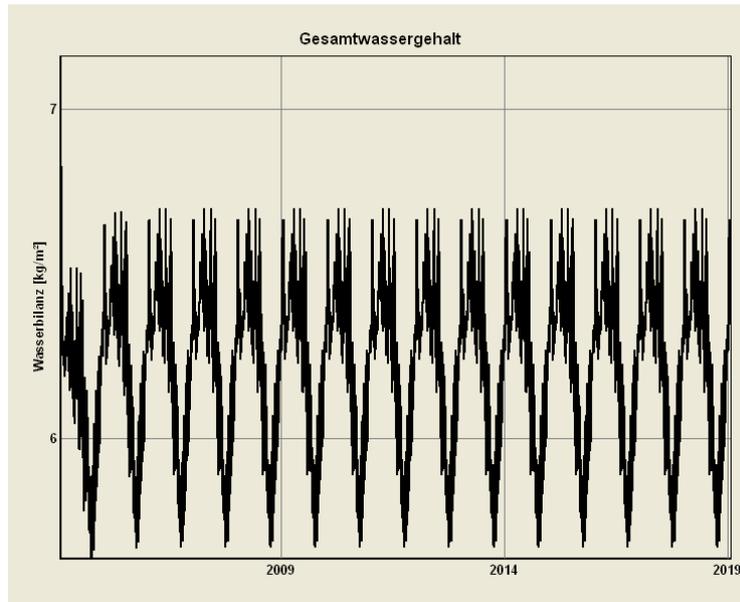


Abbildung 116 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre aufweicht und der Gesamtwassergehalt der Konstruktion steigt. Die Aufweitung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Gleichgewichtszustand befindet. Dieses Kriterium wurde somit nicht erfüllt, zur vollständigen Beurteilung des Bauteils ist jedoch auch eine Analyse der Wassergehalte der einzelnen Bauteilschichten erforderlich.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 8 – folgende Bauteilschichten:

- Heraklith BM 50 (außen)
- Heraklith BM 50 (innen)

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (außen)

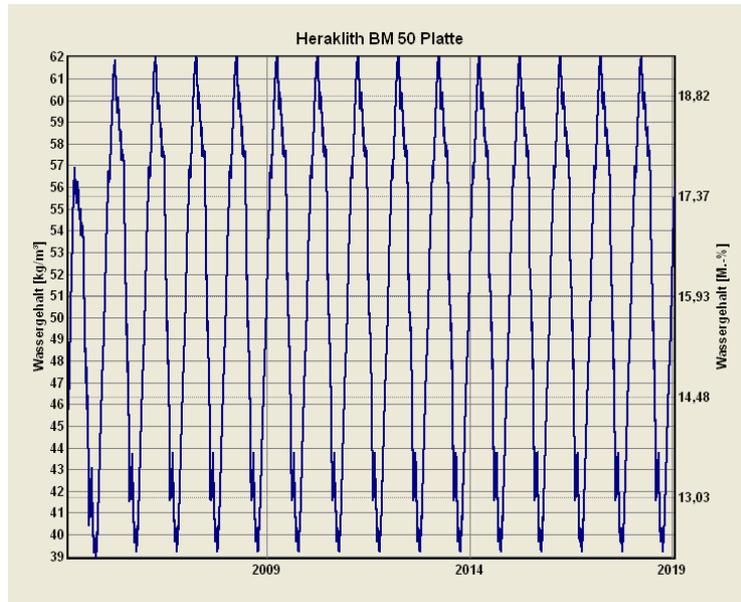


Abbildung 117 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 (außen)

Anhand Abbildung 117 erkennt man, dass die Heraklith BM 50 Platte in den ersten Jahren auffeuchtet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 12,0 (Sommer) und 19,0 M.-% (Winter) einpendelt. Die für schimmel- bzw. insbesondere holzerstörende Pilzbildung kritische Grenze von ≤ 20 M.-% wird somit nicht überschritten, sodass dieses Risiko eher ausgeschlossen werden kann.

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (innen)

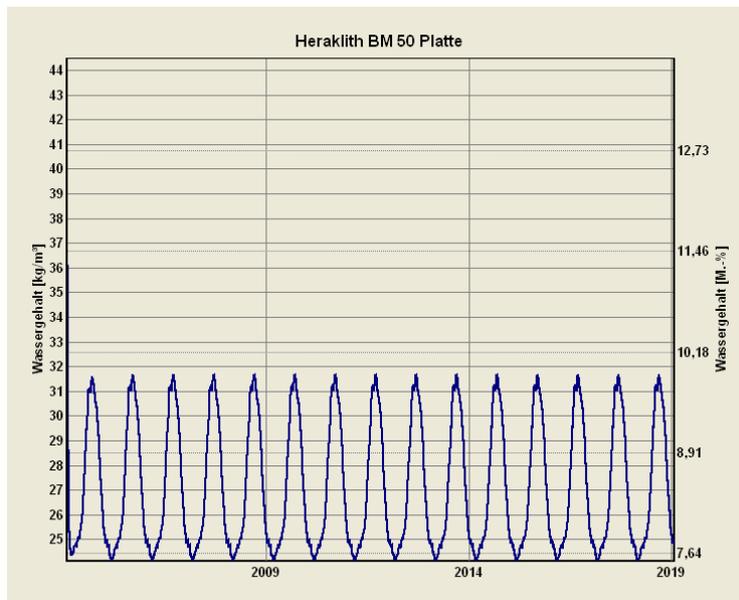


Abbildung 118 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (innen)

Anhand Abbildung 118 erkennt man eindeutig, dass die innenseitige Heraklith BM 50 Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im

Ausgleichszustand ist. Die massebezogenen Feuchtegehalte überschreiten zu keinem Zeitpunkt 10 M.-%, sodass eine Schädigung dieser Schichte nicht zu erwarten ist.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Heraklith BM50 und Zellulose und die Übergangsschicht zwischen Zellulose und Heraklith BM50. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter Pkt. 3.4 angegebenen Grenzwerte (80% relative Feuchte, 5°C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Heraklith BM50 (außen) – Zellulose

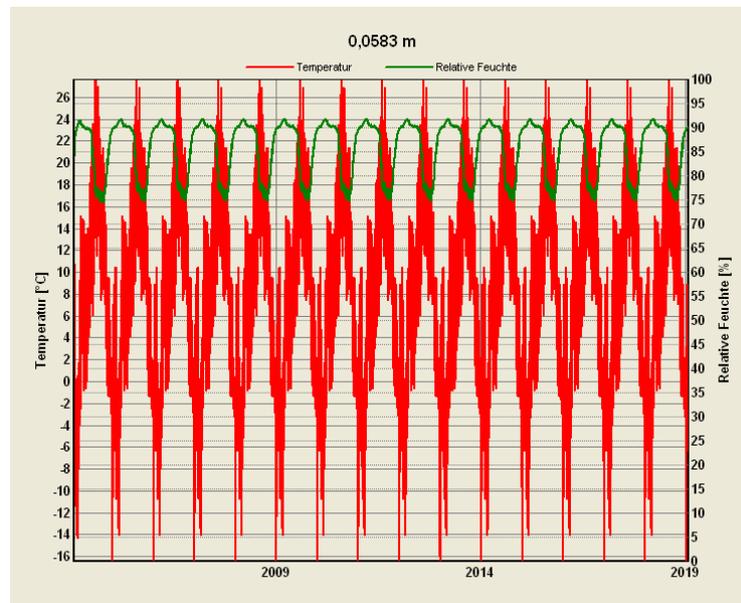


Abbildung 119 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschiicht Heraklith BM50 - Zellulose

In Abbildung 119 erkennt man, dass die Grenzwerte von 80 % relativer Feuchte und 5 °C über mehrere Monate hinweg überschritten sind. Dies kann bei entsprechender Nahrungsgrundlage für die Schimmelsporen zu Schimmelwachstum führen. Es ist jedoch, wie unter Pkt. 3.4 Anmerkung 3 vermerkt, dass die HWL-Platte aufgrund des hohen PH Wertes als beständig gegen Schimmelbildung einzustufen ist. Im Normalfall sollte, da auch der eingesetzte Isocell Zellulose Dämmstoff als schimmelresistent [22] gilt, kein Befall der Bepunktung stattfinden. Zu berücksichtigen wäre jedoch, dass die durchgehenden TJI-Träger an der Grenze zur äußeren Heraklith BM 50 Platte ebenfalls dieser hohen Feuchtebelastung ausgesetzt sind, sodass hier feuchtebedingte Beeinträchtigungen nicht vollständig auszuschliessen sind.

Übergangsschicht Mineralfaser – Heraklith BM50 (innen)

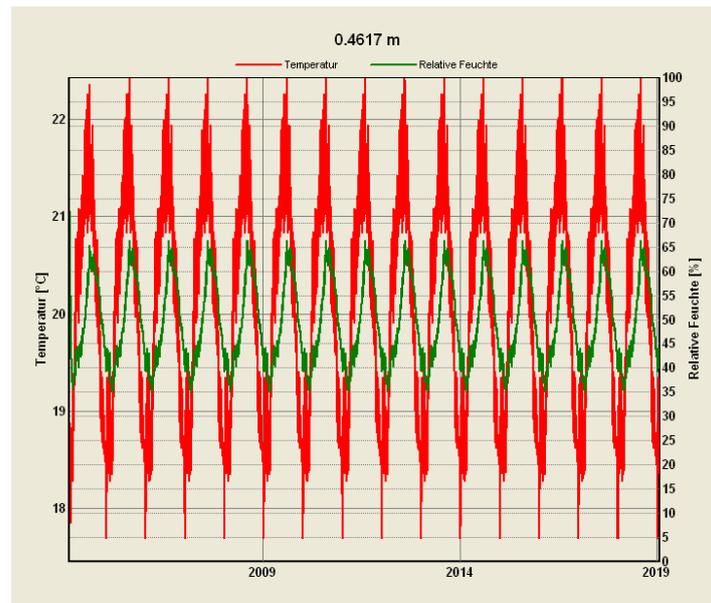


Abbildung 120 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Zellulose - OSB

In Abbildung 120 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Beurteilung der Innenoberfläche

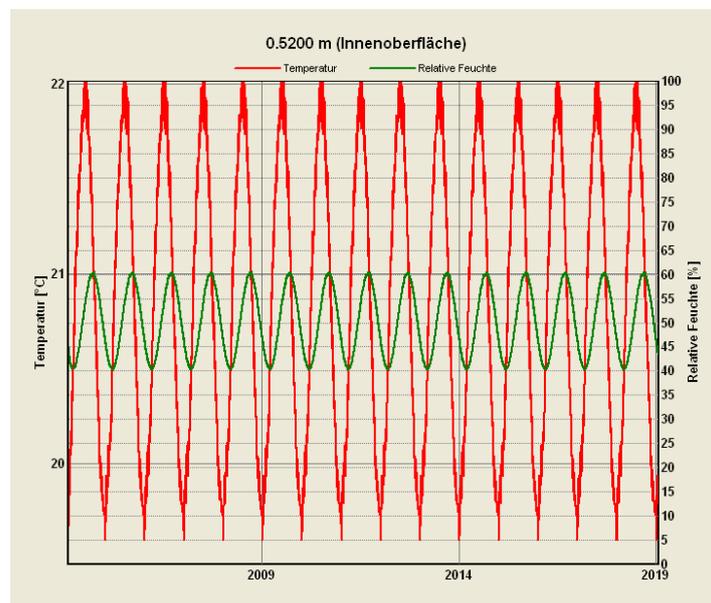


Abbildung 121 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 121 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an Innenoberfläche ist mit keinem Schimmelbefall zu rechnen.

4.8 Bauteil 9

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 9 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

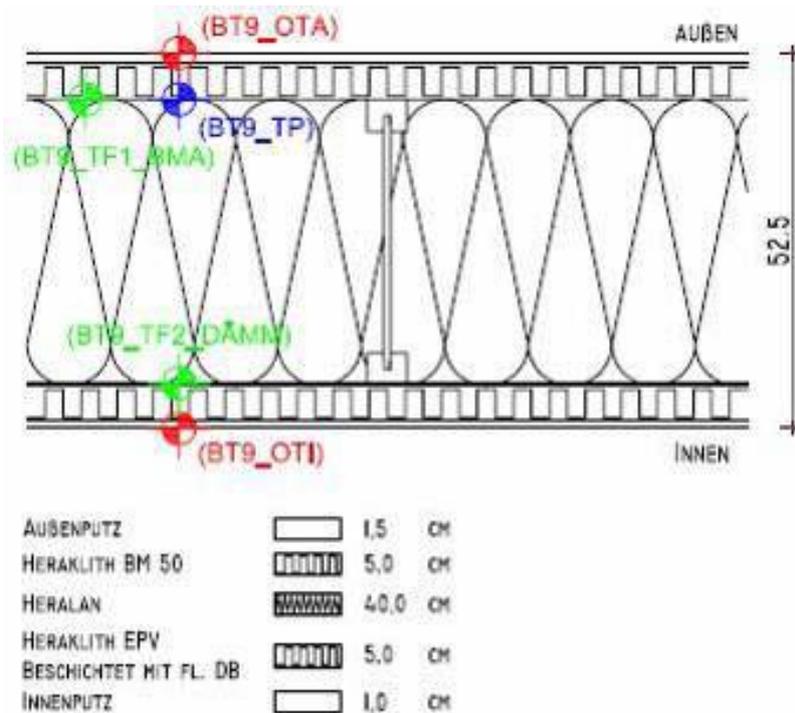


Abbildung 122 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipsinnenputz	1,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith EPV 50 beschichtet mit StoPrep Vapor (=“flüssiger“ Dampfbremsanstrich)	5,0
• Mineralfaserdämmung Heralan FP zwischen TJI – Trägern	40,0
• Holzwoleleichtbauplatte Heraklith BM 50	5,0
• Außenputz ausgeführt als Dickputz	0,5

Tabelle 36 - Wandaufbau Bauteil 9

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 122 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT9_OTA	Außenoberfläche	°C
BT9_TF1_BMA	Grenzschicht Heralan FP – Heraklith BM 50	°C; % r.F.
BT9_TP	Grenzschicht Heralan FP – Heraklith BM 50	°C; Kondensat
BT9_TF2_DÄMM	Grenzschicht Heraklith EPV beschichtet – Heralan FP	°C; % r.F.
BT9_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 37 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentemperatursensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 9. Abbildung 123, Abbildung 124 und Abbildung 125 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 123 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 124 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor



Abbildung 125 - Verkleben der beschichteten Heraklith EPV Platten

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 9 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Pkt. 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Heraklith BM 50 (in BM 50)
3	Grenzschicht Heraklith BM 50 – Zellulose (in BM 50)
4	Grenzschicht Heraklith BM 50 - Zellulose (in Zellulose)
5	Mitte Zellulose
6	Grenzschicht Zellulose – flüssige Dampfbremse (in Zellulose)
7	Grenzschicht flüssige Dampfbremse – Heraklith EPV (in EPV)
8	Grenzschicht Heraklith EPV – Gipsinnenputz (in EPV)
9	Innenoberfläche

Tabelle 38 - Lage der Monitore im Modell

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

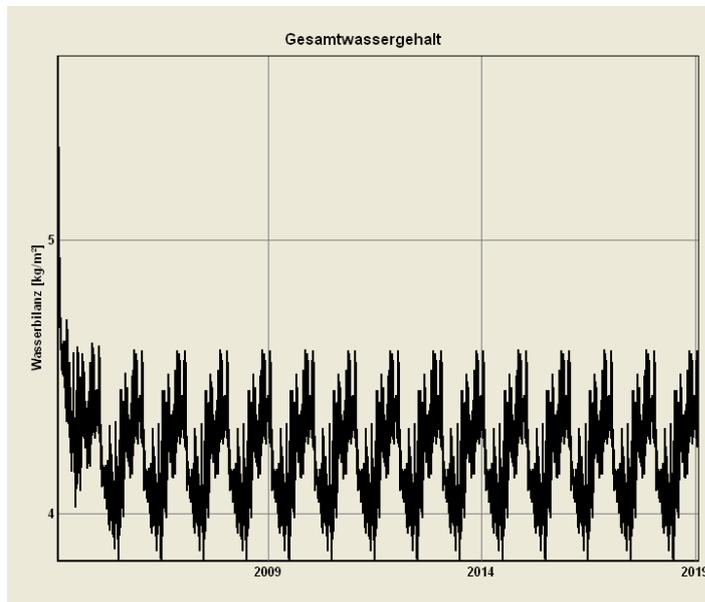


Abbildung 126 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Ausgleichszustand befindet. Die Konstruktion erfüllt somit dieses Kriterium.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 9 – folgende Bauteilschichten:

- Heraklith BM 50 (außen)
- Heraklith EPV (beschichtet)

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (außen)

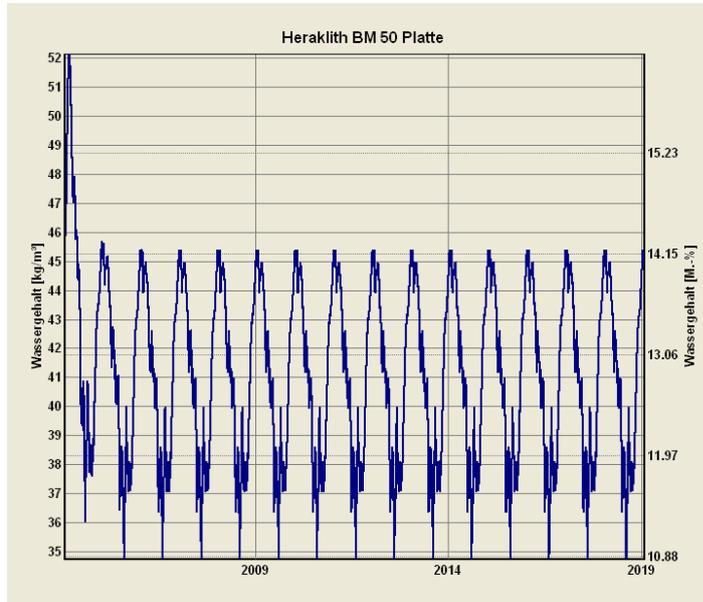


Abbildung 127 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 (außen)

Anhand Abbildung 127 erkennt man eindeutig, dass die Heraklith BM 50 Platte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen, aus feuchtetechnischer Sicht, unbedenklichen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 11,0 und 14,5 M.- % einpendelt, sodass eine Schädigung durch Pilzbefall eher auszuschliessen ist.

Verlauf des Wassergehaltes in der Heraklith EPV (beschichtet)

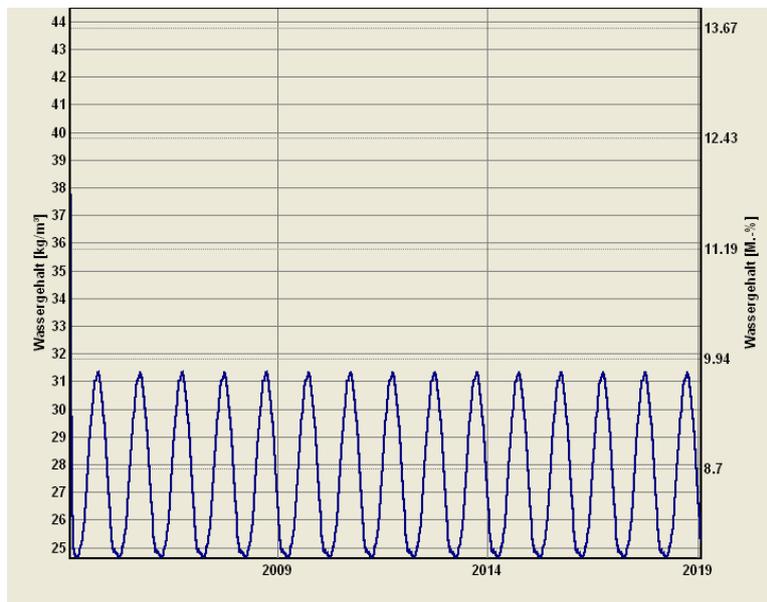


Abbildung 128 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith EPV Platte

Anhand Abbildung 128 erkennt man eindeutig, dass die Heraklith EPV Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Die

massebezogenen Feuchtegehalt überschreitet zu keinem Zeitpunkt die Grenze von 10 M.- % Marke sodass eine feuchtebedingte Beeinträchtigung dieser Schichte nicht wahrscheinlich ist.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Heraklith BM50 und Mineralfaser und die Übergangsschicht zwischen Mineralfaser und Beschichtung (flüssige Dampfbremse). An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter Pkt. 3.4 angegebenen Grenzwerte (80% relative Feuchte, 5°C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Heraklith BM50 – Mineralfaser

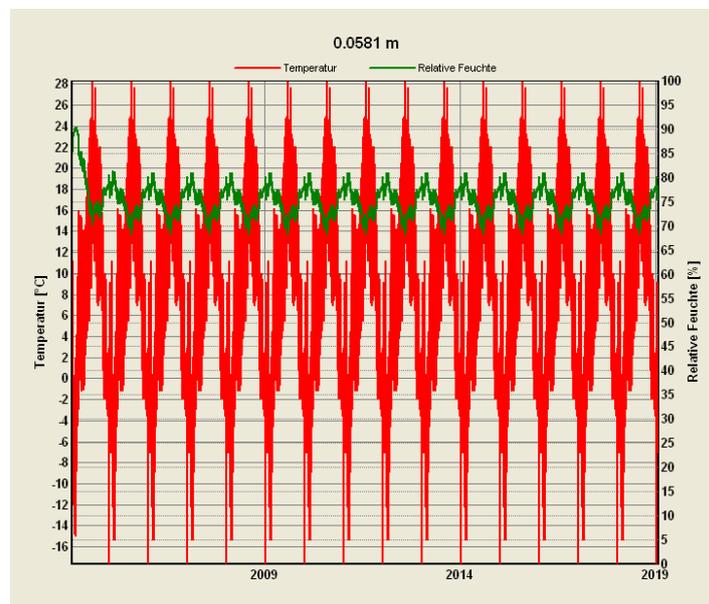


Abbildung 129 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM50 - Mineralfaser

In Abbildung 129 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nur sehr kurzzeitig (~10 Tage) im Winter überschritten wird. Die entsprechenden Temperaturen befinden sich zu diesen Zeitpunkten ebenfalls knapp über den erforderlichen 5 °C. Die für das Schimmelwachstum erforderliche gemeinsame Überschreitung der angegebenen Grenzwerte tritt jedoch nur sehr kurz im Jahresrhythmus auf. Es erfolgt daraufhin immer eine sofortige Unterschreitung der Grenzwerte die ein mögliches Schimmelwachstum wiederum eindämmt bzw. ausschließt. Durch die unter Pkt. 3.4 Anmerkung 3 erwähnte hohe Schimmelresistenz der Holzwoleplatte sollte ein Schimmelbefall höchstwahrscheinlich auszuschliessen sein.

Übergangsschicht Mineralfaser – Beschichtung

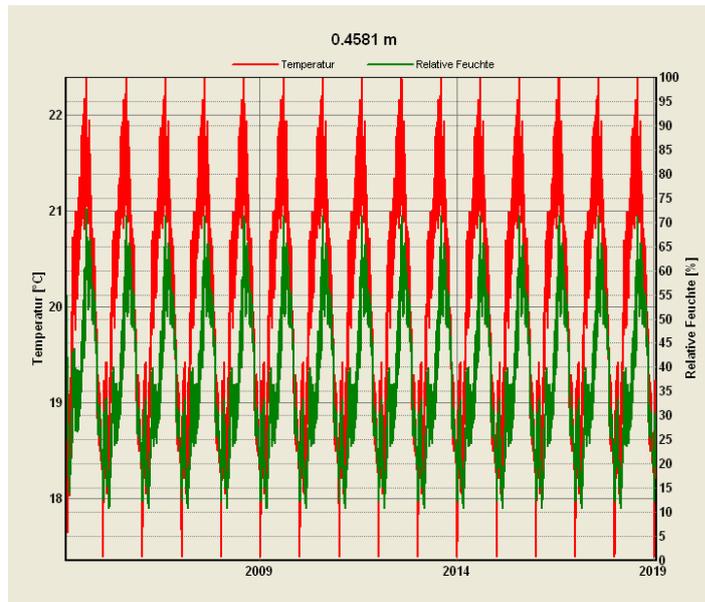


Abbildung 130 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - Beschichtung

In Abbildung 130 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. Eine Schimmelbildung kann an dieser Schicht bei optimaler Ausführung somit ausgeschlossen werden.

Beurteilung der Innenoberfläche

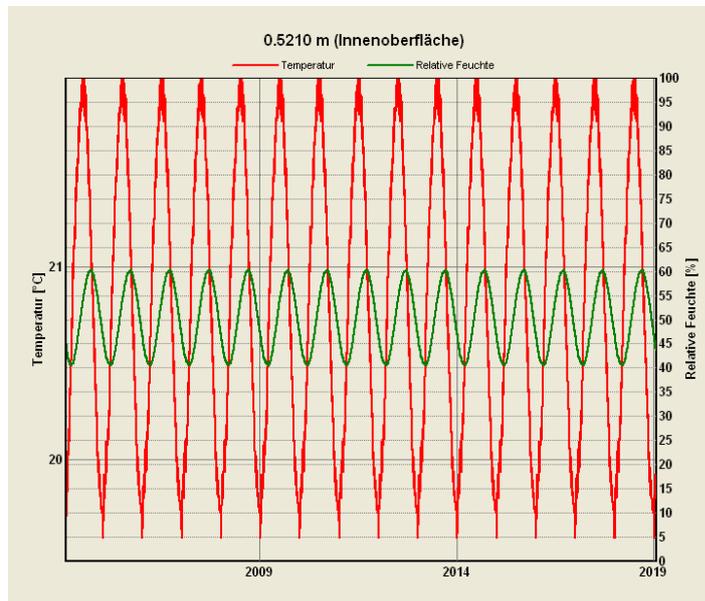


Abbildung 131 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 131 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird, sodass eine Schimmelbildung an der Innenoberfläche auszuschliessen ist.

4.9 Bauteil 10

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 10 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

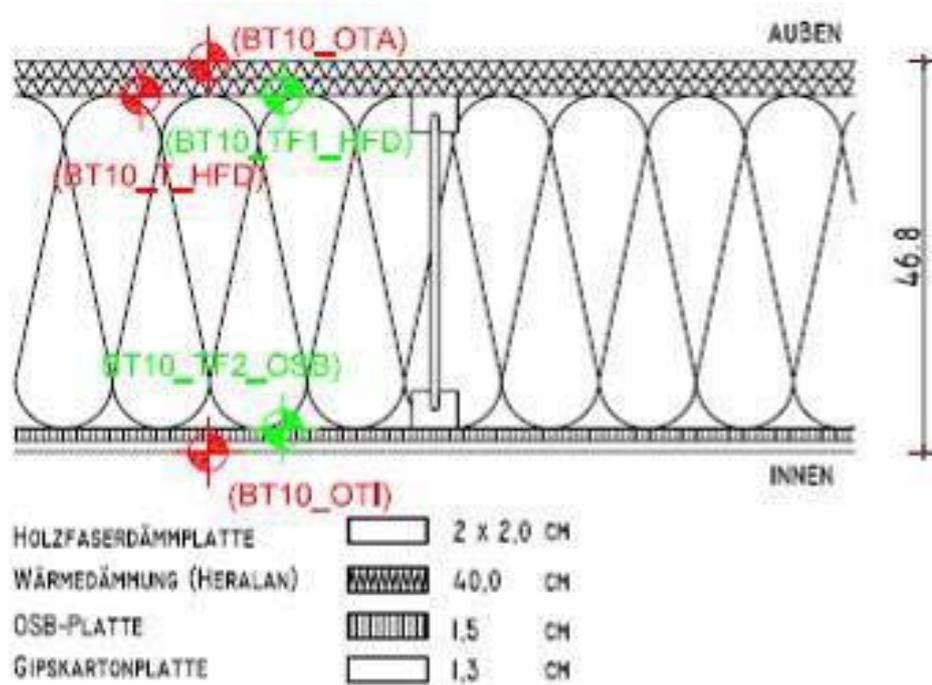


Abbildung 132 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipskartonplatte	1,25
• OSB – Platte als Wind- und Dampfbremse	1,5
• Mineralfaserdämmung Heralan FP zwischen TJI – Trägern	40,0
• Holzfaserdämmplatte	2x 2,0
• Außenputz ausgeführt als Dünnputz	0,5

Tabelle 39 - Wandaufbau Bauteil 10

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 132 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT10_OTA	Außenoberfläche	°C
BT10_TF1_HFD	Grenzschicht Heralan FP – Holzfaserdämmplatte	°C; % r.F.
BT10_T_HFD	Grenzschicht Heralan FP – Holzfaserdämmplatte	°C
BT10_TF2_OSB	Grenzschicht OSB-Platte – Heralan FP	°C; % r.F.
BT10_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 40 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 10. Abbildung 133 und Abbildung 134 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 133 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 134 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 10 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Pkt. 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Holzweichfaserplatte (in HWF)
3	Mitte Holzweichfaserplatte
4	Grenzschicht Holzweichfaserplatte – Mineralfaser (in HWF)
5	Grenzschicht Holzweichfaserplatte – Mineralfaser (in Mineralfaser)
6	Mitte Mineralfaser
7	Grenzschicht Mineralfaser – OSB (in Mineralfaser)
8	Grenzschicht Mineralfaser – OSB (in OSB)
9	Grenzschicht OSB – Gipskartonplatte (in OSB)
10	Innenoberfläche

Tabelle 41 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

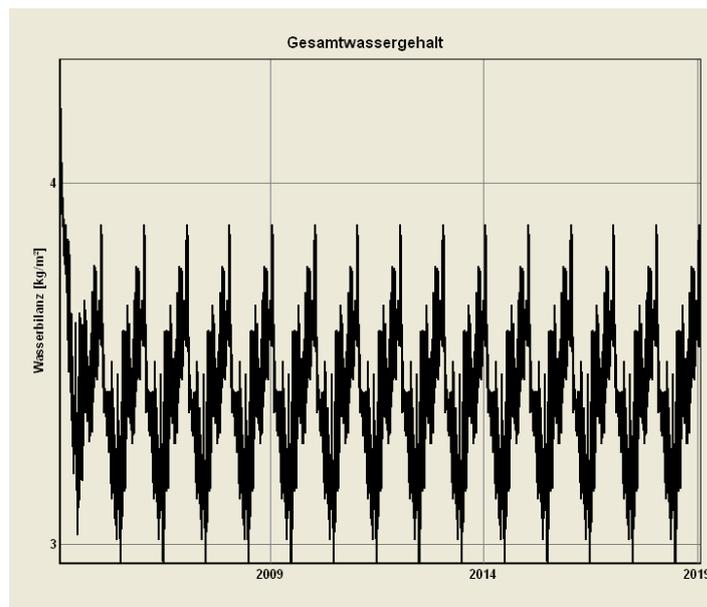


Abbildung 135 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis eine Einpendelung stattfindet und sich die Konstruktion in einem Gleichgewichtszustand befindet. Die Konstruktion erfüllt somit dieses Kriterium.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 10 – folgende Bauteilschichten:

- Holzweichfaserplatte (Schicht 1)
- Holzweichfaserplatte (Schicht 2)
- OSB-Platte

Verlauf des Wassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 1)

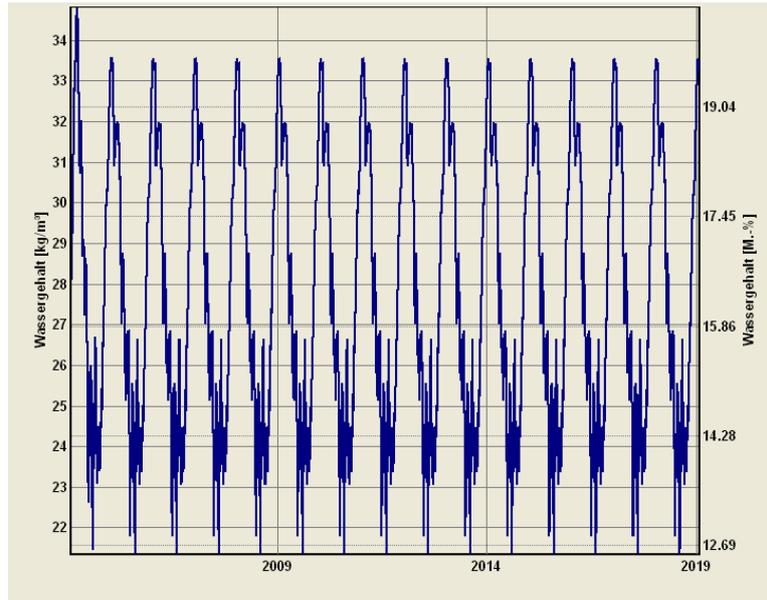


Abbildung 136 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 1)

Anhand Abbildung 136 erkennt man eindeutig, dass die Holzweichfaserplatte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 12,5 und 19,5 M.- % einpendelt. Dieser Wert liegt unter den für Holz- bzw. Holzwerkstoffe relevanten Grenze von ≤ 20 M.- %, sodass eine Beeinträchtigung durch Pilzbefall höchstwahrscheinlich auszuschliessen ist.

Verlauf des Wassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 2)

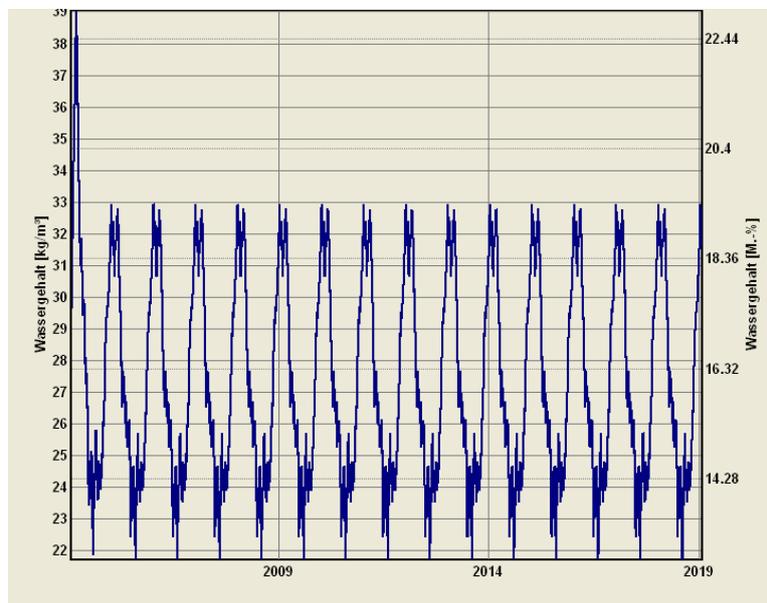


Abbildung 137 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 2)

Anhand Abbildung 137 erkennt man, dass auch die zweite Schicht der Holzweichfaserplatte in den ersten Jahren sehr schnell austrocknet und sich auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 13,0 und 19,0 M.- % einpendelt. Dieser Wert liegt unter den für Holz- bzw. Holzwerkstoffe bedrohlichen 20 M.- % und deshalb kann eine Schädigung durch Pilzbefall ausgeschlossen werden.

Verlauf des Wassergehaltes in der OSB-Platte

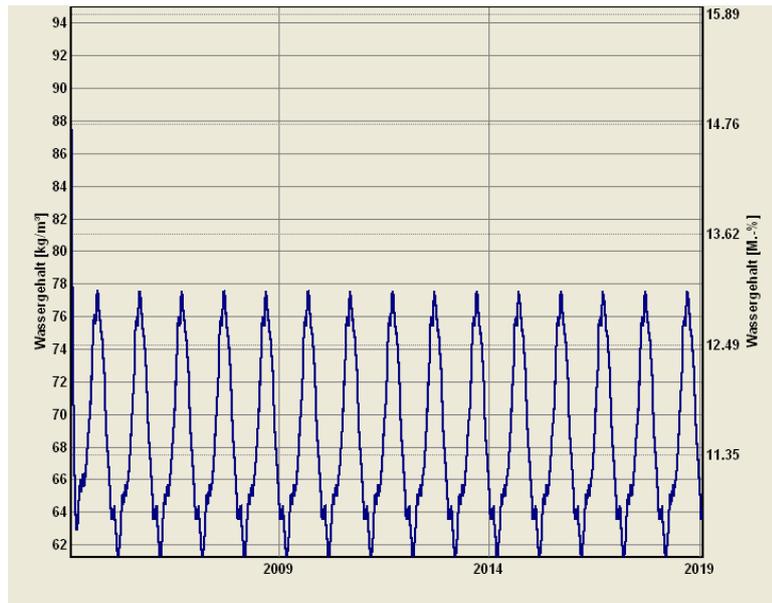


Abbildung 138 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte

Anhand Abbildung 138 erkennt man eindeutig, dass die OSB-Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und bereits nach 1 Jahr im Ausgleichszustand ist. Der massebezogene Feuchtegehalt bleibt unter 13 M.-%, sodass eine feuchtebedingte Schädigung der Bauteilschicht ausgeschlossen werden kann.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Holzweichfaserplatte (Schicht 2) und Mineralfaser bzw. die Übergangsschicht zwischen Mineralfaser und OSB-Platte. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter Pkt. 3.4 angegebenen Grenzwerte (80 % relative Feuchte, 5 °C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Holzweichfaserplatte (Schicht 2) - Mineralfaser

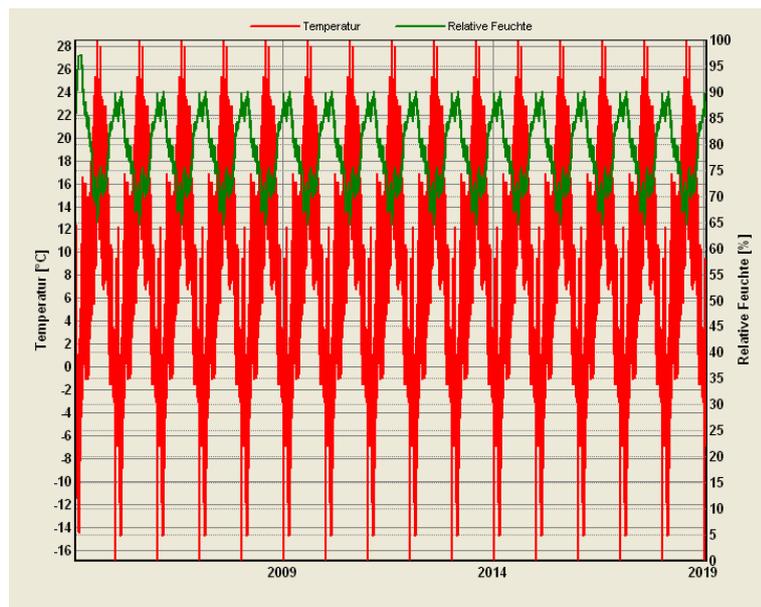


Abbildung 139 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Holzweichfaserplatte - Mineralfaser

In Abbildung 139 erkennt man, dass die Grenzwerte von 80 % relativer Feuchte im Verlauf der Jahre jeweils während der Wintermonate überschritten werden. Während dieser Zeiten bewegen sich die entsprechenden Temperaturen zwar $< 10\text{ °C}$, da jedoch die zur Bewertung eines möglichen Schimmelbefalls relevante Temperaturgrenze von 5 °C überschritten wird, kann das potentielle Risiko einer Pilzbildung daher nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Hierbei sei jedoch erwähnt, dass eine Pilzbildung wesentlich neben den klimatischen Bedingungen und dgl. auch wesentlich vom jeweiligen Untergrund abhängt. Diesbezgl. durchgeführte eingeschränkte Laboranalysen seitens der FH Kärnten [23] haben gezeigt, dass die Sporenkeimung auf unterschiedlichen Untergründen aus Massivholz sowie Holzwerkstoffprodukten zeitlich gesehen höchst differenziert von Statten geht. Nähere Erkenntnisse zur Beurteilung dieses Risikos sind durch weitere, derzeit laufende Analysen sowie im Speziellen auch durch die Begutachtung der Bauteile nach deren Öffnung zu erwarten.

Übergangsschicht Mineralfaser – OSB-Platte

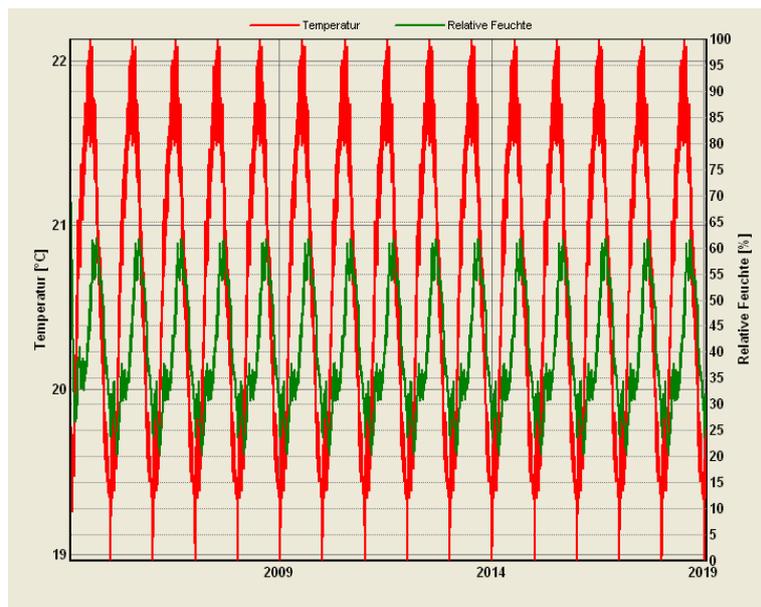


Abbildung 140 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser – OSB-Platte

In Abbildung 140 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. D.h. an dieser Schicht ist bei optimaler Ausführung nicht mit Schimmelbildung zu rechnen.

Beurteilung der Innenoberfläche

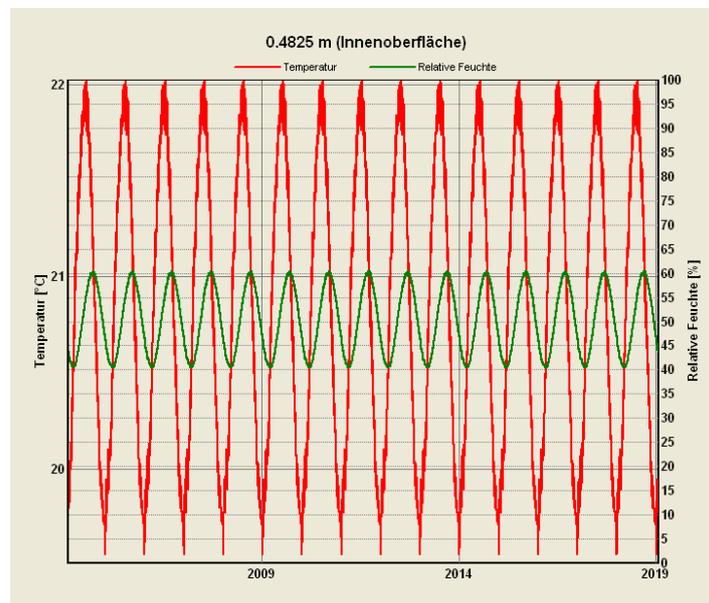


Abbildung 141 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

In Abbildung 141 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. Eine Schimmelbildung an der Innenoberfläche ist daher auszuschliessen.

4.10 Bauteil 11

Im Folgenden wird der untersuchte Wandaufbau - Bauteil 11 - beschrieben, der Einbau der Messtechnik dokumentiert und die Resultate der Langzeitsimulationen vorgestellt.

Bauteilbeschreibung

Folgende Abbildung zeigt den untersuchten Aufbau mit allen eingesetzten Materialien und die Lage der einzelnen Sensorpositionen im Wandquerschnitt.

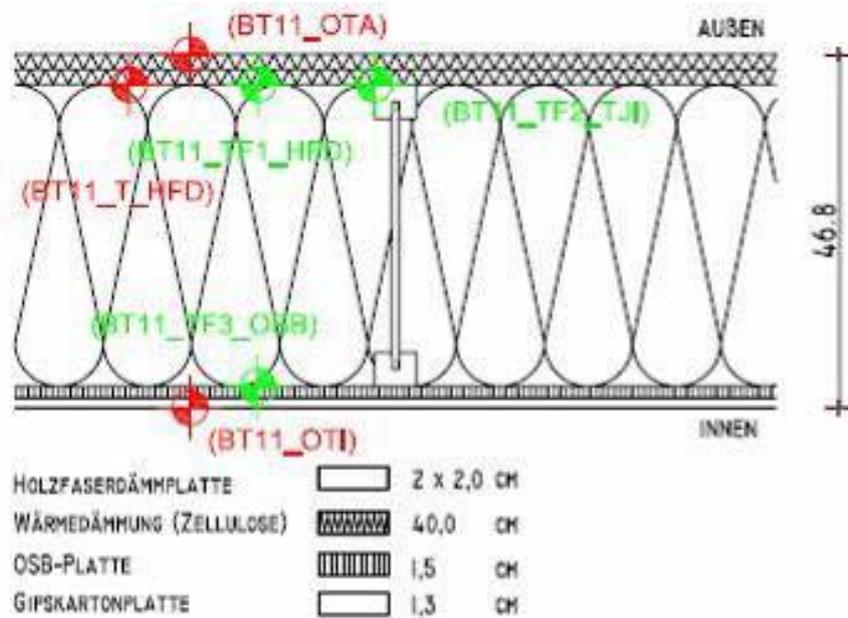


Abbildung 142 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren

Der Aufbau als solcher gliedert sich wie folgt: (von Innen nach Außen)

Material	Dicke [cm]
• Gipskartonplatte	1,25
• OSB – Platte als Wind- und Dampfbremse	1,5
• Isocell Zellulose- Einblasdämmung zwischen TJI – Trägern	40,0
• Holzfaserdämmplatte	2x 2,0
• Außenputz ausgeführt als Dünnputz	0,5

Tabelle 42 - Wandaufbau Bauteil 11

Die einzelnen Sensoren wurden, wie in Abbildung 142 dargestellt, in folgenden Punkten des Wandaufbaues gesetzt:

Sensor	Lage	Messwerte
BT11_OTA	Außenoberfläche	°C
BT11_TF1_HFD	Grenzschicht Zellulose – Holzfaserdämmplatte	°C; % r.F.
BT11_TF2_TJI	Anschluss TJI-Träger - Holzfaserdämmplatte	°C; % r.F.
BT11_T_HFD	Grenzschicht Zellulose – Holzfaserdämmplatte	°C
BT11_TF3_OSB	Grenzschicht OSB-Platte – Zellulose	°C; % r.F.
BT11_OTI	Innenoberfläche	°C

Tabelle 43 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt

Die Lage der eingebauten Sensoren wurde aufgrund der durchgeführten Vorabsimulationen bestimmt. Ergänzend wurden für die Vergleichsrechnung zwischen Realität und Simulation weitere Sensoren, wie z.B. die Oberflächentempersensoren, installiert.

Folgende Abbildungen zeigen die eingebaute Messtechnik im untersuchten Wandquerschnitt Bauteil 11. Abbildung 143 und Abbildung 144 zeigen den Wandaufbau während der Fertigung im Werk.



Abbildung 143 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren



Abbildung 144 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor

Langzeitberechnung

Im Folgenden wird der Wandaufbau – Bauteil 11 – hinsichtlich seiner Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit beschrieben und beurteilt.

Die angesetzten Randbedingungen entnehmen Sie bitte unter Pkt. 3.3.

Um eine Beurteilung der Konstruktion zu ermöglichen wurde eine 15 Jahresberechnung mit WUFI durchgeführt und in verschiedenen Schichten des Bauteils Monitore gesetzt. Diese Monitore zeichnen Temperatur und Feuchte über den genannten Zeitraum auf und ermöglichen auf diese Weise eine Aussage über das zukünftige Bauteilverhalten unter den gegebenen Randbedingungen.

Lage der Monitore im Modell:

Monitor Nr.	Lage im Bauteil
1	Außenoberfläche
2	Grenzschicht Außenputz – Holzweichfaserplatte (in HWF)
3	Mitte Holzweichfaserplatte
4	Grenzschicht Holzweichfaserplatte – Zellulose (in HWF)
5	Grenzschicht Holzweichfaserplatte – Zellulose (in Zellulose)
6	Mitte Zellulose
7	Grenzschicht Zellulose – OSB (in Zellulose)
8	Grenzschicht Zellulose – OSB (in OSB)
9	Grenzschicht OSB – Gipskartonplatte (in OSB)
10	Innenoberfläche

Tabelle 44 - Lage der Monitore im Bauteil

Beurteilung des Wassergehaltes der Konstruktion:

Dieses Kriterium wird mit Hilfe des in WUFI berechneten Gesamtwassergehaltes der Konstruktion untersucht. Begleitend dazu wird auch eine Beurteilung der Anreicherung des Feuchtegehaltes in den einzelnen Schichten (insbesondere der Holz- und Holzwerkstoffe) durchgeführt.

Zeigt der Gesamtwassergehalt eine kontinuierliche Steigerung über die 15 Jahre so gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Findet eine Feuchteanreicherung in den ersten Jahren statt und kommt es dann zu einer Einpendelung des Feuchtegehaltes, so muss eine genauere Betrachtung der gesamten Konstruktion erfolgen.

Gesamtwassergehalt der Konstruktion:

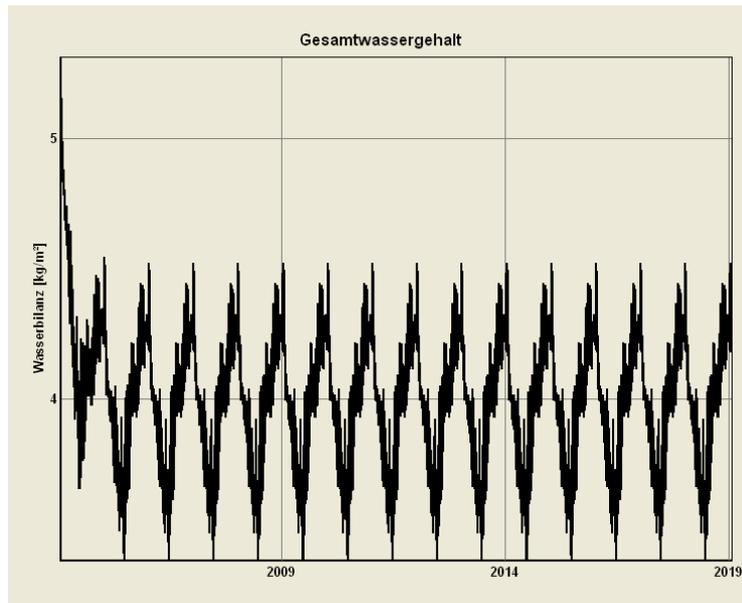


Abbildung 145 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren

In obenstehender Abbildung erkennt man deutlich, dass die Konstruktion im Laufe der 15 Jahre austrocknet und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Die Austrocknung ist in den ersten 2 Jahren am stärksten ausgeprägt bis sich der Feuchtehaushalt einpendelt und sich ein, abgesehen von jahreszeitlich bedingten Schwankungen, Ausgleichszustand einstellt. Die Konstruktion erfüllt somit dieses Kriterium.

Wassergehalte der Holz- bzw. Holzwerkstoffe:

Eingebautes Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten einen Feuchtegehalt von 20 Masse % nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Pilzwachstum und Verfaulung einstellen.

Dies betrifft im untersuchten Fall – Bauteil 11– folgende Bauteilschichten:

- Holzweichfaserplatte (Schicht 2)
- OSB-Platte

Verlauf des Wassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 2)

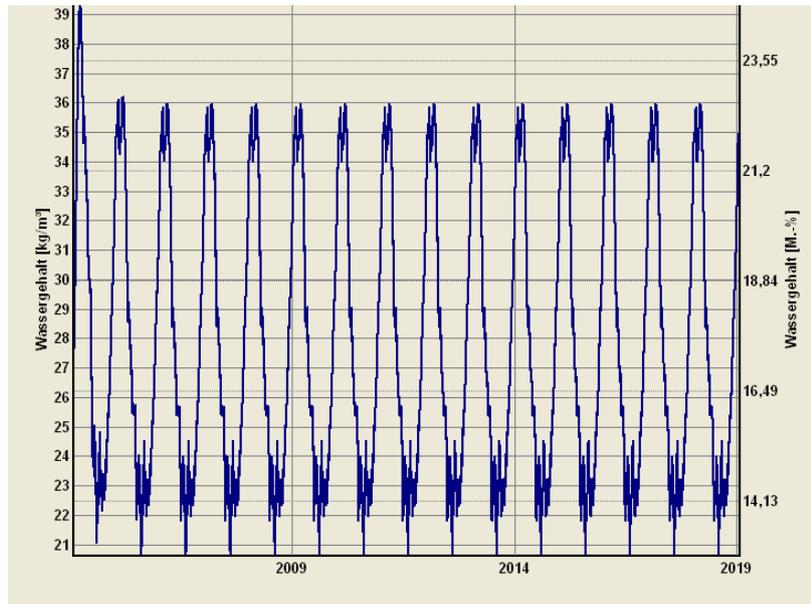


Abbildung 146 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 2)

Anhand Abbildung 146 erkennt man, dass die Holzweichfaserplatte innerhalb der erst zwei Jahre austrocknet und sich danach auf einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 13,0 (Sommer) und 23,0 (Winter) M.- % einpendelt. Da dieser Wert während der Wintermonate die zur kritische Grenze von 20 M.- % überschreitet, kann eine potentielle Schädigung der Bauteilschichte infolge Pilzbefall nicht mit gänzlicher Sicherheit ausgeschlossen werden. Aufgrund der schimmelresistenten Eigenschaften der Zellulose [21], [22] ist es jedoch wahrscheinlich, dass dieses Risiko bei entsprechendem Kontakt zwischen Zellulose und Holzfaserplatte reduziert werden sollte. Auch hier wird auf die zu erwartenden näheren Erkenntnisse nach erfolgter Bauteilöffnung am Testhaus bzw. aktuell laufende Laboruntersuchungen der FH Kärnten [23] verwiesen.

Verlauf des Wassergehaltes in der OSB-Platte

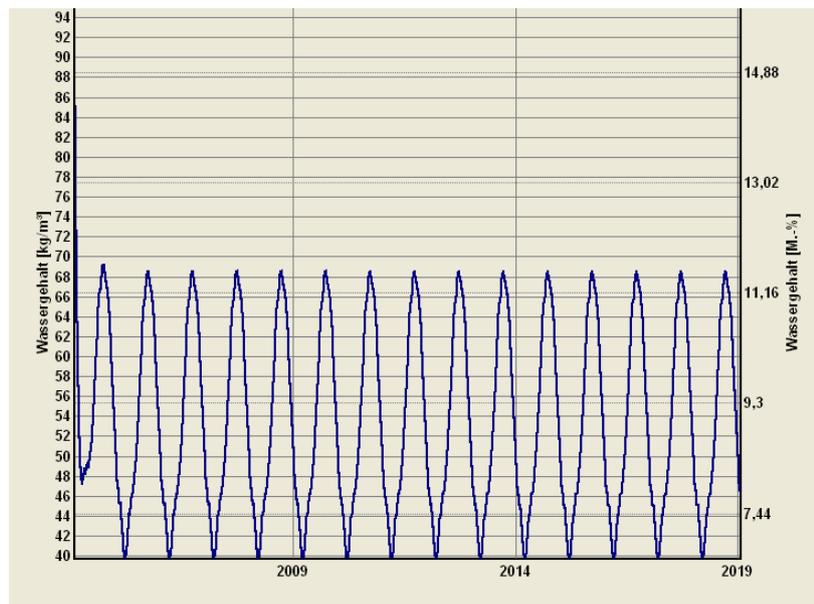


Abbildung 147 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte

Anhand Abbildung 147 erkennt man eindeutig, dass die OSB-Platte keine Feuchteanreicherung über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufweist und sich bereits nach 1 Jahr ein entsprechender Ausgleichszustand einstellt. Die jahreszeitlich bedingten Maximalwerte liegen unter 12 M.-%, sodass feuchtebedingte Beeinträchtigungen der Bauteilschichte ausgeschlossen werden können.

Beurteilung der Schädigung der Baustoffe hinsichtlich Schimmelbildung

Besonderes Augenmerk bei der Beurteilung des Schimmelrisikos wird hierbei auf die kritischen Übergangsschichten gelegt. Diese sind im konkreten Fall die Übergangsschicht zwischen Holzweichfaserplatte (Schicht 2) und Zellulose bzw. die Übergangsschicht zwischen Zellulose und OSB-Platte. An diesen Stellen könnte es unter ungünstigen Umständen zu Schimmelbildung kommen, da einerseits Substrat für ein Myzelwachstum vorhanden ist und andererseits auch die Temperaturen bzw. Feuchten in einen für das Schimmelwachstum förderlichen Bereich kommen können.

Das wichtigste Kriterium bei der Beurteilung einer möglichen Schimmelbildung sind die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an gefährdeten Bauteilschichten, die die unter Pkt. 3.4 angegebenen Grenzwerte (80 % relative Feuchte, 5 °C) nicht zeitgleich über einen längeren Zeitraum überschreiten dürfen.

Übergangsschicht Holzweichfaserplatte (Schicht 2) - Zellulose

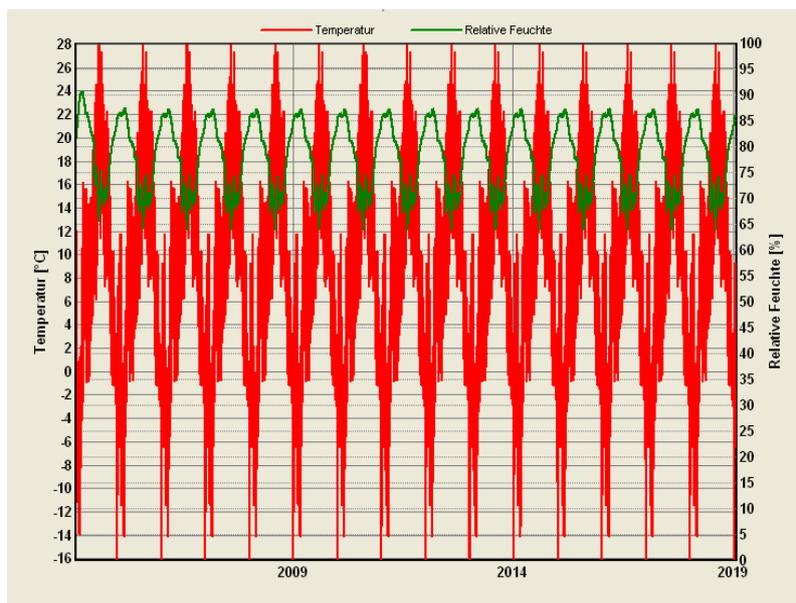


Abbildung 148 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Holzweichfaserplatte - Zellulose

In Abbildung 148 erkennt man, dass die zur Beurteilung des Schimmelwachstum relevante Grenze von 80 % relativer Feuchte während der Winterzeit mit Maximalwerten bis zu ~ 86 % überschritten wird. Da während dieses Zeitraumes auch Temperaturen von bis zu 12 °C vorliegen, kann das Risiko einer potentiellen Schimmelpilzbildung nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Aufgrund der schimmelresistenten Eigenschaften der Zellulose sollte jedoch, bei entsprechendem direktem Kontakt zur Holzfaserverplatte, dieses Risiko minimiert werden. Nähere Erkenntnisse hierzu sind infolge der visuellen Überprüfung des Bauteils nach Öffnung sowie die derzeit laufenden Laboruntersuchungen der FH Kärnten zu erwarten.

Übergangsschicht Zellulose – OSB-Platte

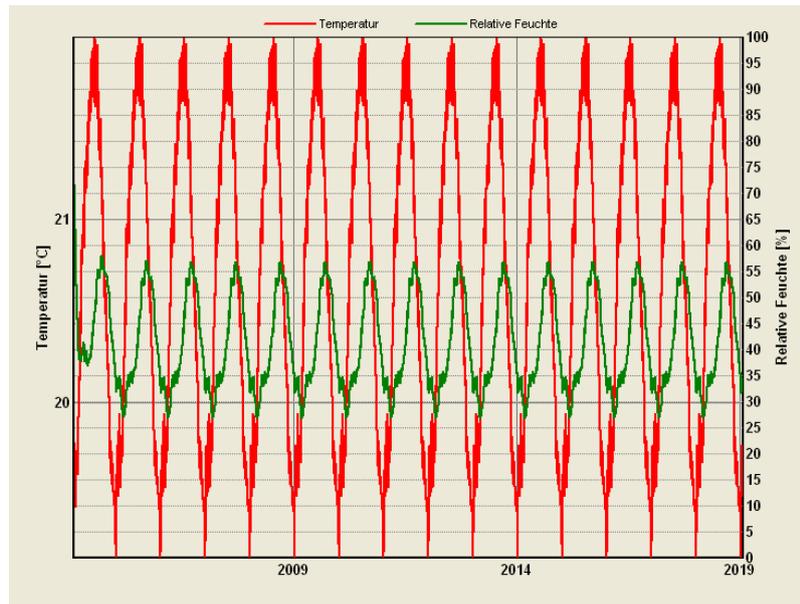


Abbildung 149 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Zellulose - OSB-Platte

In Abbildung 149 erkennt man, dass der kritische Grenzwert von 80 % im Laufe der 15 Jahre nie erreicht wird. Aufgrund sommerlicher Rückdiffusion [19] steigt die relative Feuchte an dieser Grenzschicht auf max. ~ 57 % an und sinkt während der kühleren Jahreszeit auf ~ 28 % ab. Schimmelwachstum ist daher unter den gegebenen Randbedingungen auszuschliessen.

Beurteilung der Innenoberfläche

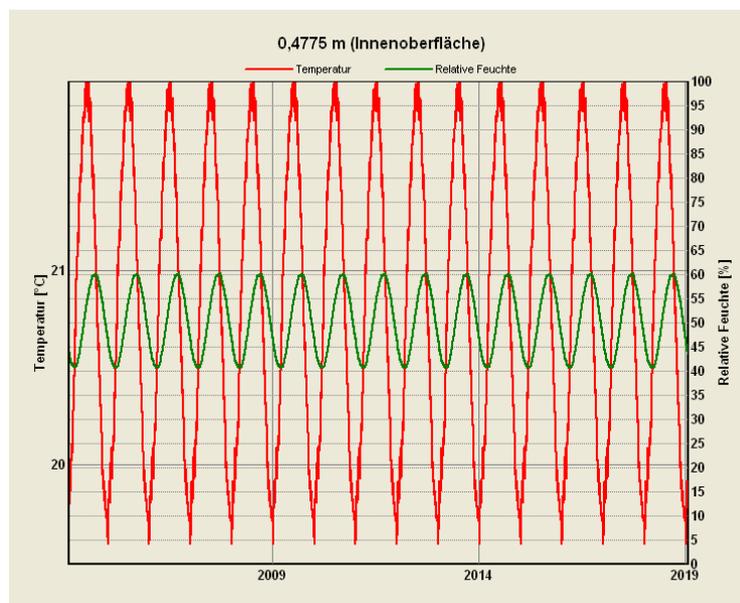


Abbildung 150 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche

Abbildung 150 veranschaulicht, dass auch an der Innenoberfläche mit Maximalwerten von ~ 60 % relativer Feuchte Schimmelbildung auszuschliessen ist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Grober Fertigungsablauf des Testgebäudes im Projekt NHHB	9
Abbildung 2 – Provisorisches Fundament des Testgebäudes	10
Abbildung 3 – Anlieferung des Boden- und Dachelementes	10
Abbildung 4 – Versetzen des Bodenelementes	11
Abbildung 5 – Einheben eines Wandbauteiles.....	11
Abbildung 6 – Versetzen eines Wandbauteiles.....	11
Abbildung 7 – Zusammenfügen zweier Wandbauteile	11
Abbildung 8 – Detailaufnahme der Verbindung zweier Wandelemente	11
Abbildung 9 – Abstützen der versetzten Wandelemente	11
Abbildung 10 – Versetzen eines Wandelementes	12
Abbildung 11 – Vorbereitungsarbeiten für das Versetzen des Dachelementes	12
Abbildung 12 – Versetzen des Dachelementes.....	12
Abbildung 13 - Versetzen des Dachelementes.....	12
Abbildung 14 – Innenansicht nach Versetzen der Decke.....	12
Abbildung 15 – Aufbringen der Ausgleichslage für die Flachdach- Abdichtungsbahn.....	12
Abbildung 16 - Ausgleichslage für die Flachdach- Abdichtungsbahn	13
Abbildung 17 – Verlegen der Flachdach- Abdichtung	13
Abbildung 18 – Dacheindeckung mit Kies- bzw. Foliendach	13
Abbildung 19 – Testgebäude nach Einbau der Fensterelemente	13
Abbildung 20 – Wohnraum- Lüftungsanlage	13
Abbildung 21 – Provisorisch verlegte Lüftungsrohre	13
Abbildung 22 - Innenansicht der Messwerterfassungsanlage	14
Abbildung 23 - Nahaufnahme eines Datenloggers	14
Abbildung 24 - Außenliegender Globalstrahlungsmesskopf und Differenzdruckmessschlauch.....	14
Abbildung 25 - Automatische Wetterstation	14
Abbildung 26 - Fertiggestelltes Testgebäude.....	14
Abbildung 27 - Bautafel.....	14
Abbildung 28 - Messwerterfassungsanlage mit Desktop PC.....	17
Abbildung 29 - Datenlogger	17
Abbildung 30 - Netzwerkverteiler	17
Abbildung 31 - Eingebauter Oberflächentempersensoren	17
Abbildung 32 - Globalstrahlungssensoren an der Fassade	17
Abbildung 33 - Kabelführung an der Innenseite der Westwand.....	17
Abbildung 34 - Außenliegende Oberflächentempersensoren der Westfassade	18
Abbildung 35 - Differenzdruckmessmodul.....	18
Abbildung 36 - Raumtemperatur- und Feuchtesensoren	18
Abbildung 37 – Automatische Wetterstation	18
Abbildung 38 – Detailansicht des Datenloggers und des Schutzgehäuses der Wetterstation	18
Abbildung 39 - Globalstrahlungsmesskopf	19
Abbildung 40 - Druckmodul	19
Abbildung 41 - Windrichtungsgeber	20
Abbildung 42 - Windgeschwindigkeitsgeber.....	20
Abbildung 43 – Feuchte- und Temperaturtransmitter.....	20
Abbildung 44 - Datenlogger	20

Abbildung 45 - Darstellung des Temperaturverlaufes durch ein beliebiges Bauteil inklusive Anordnung der verwendeten Messtechnik.....	21
Abbildung 46 - Wärmeflussplatte inklusive Temperatursensoren und Datenlogger.....	23
Abbildung 47- Messaufbau zur Wärmefluss- Analyse	23
Abbildung 48 – Temperatursensoren- Aussenoberfläche	23
Abbildung 49 - Flussdiagramm für das Berechnungsmodel WUFI.....	31
Abbildung 50 - Außenklima am Testhaus (Weissensee) für den Vergleichszeitraum.....	33
Abbildung 51 - Innenklima Spittal an der Drau für den Vergleichszeitraum.....	34
Abbildung 52 - Klimavergleich Holzkirchen – Weissensee.....	36
Abbildung 53 – Ansichten Süd- & Nordfassade mit Elementteilung der untersuchten Aufbauten.....	42
Abbildung 54 - Ansicht Westfassade mit Elementteilung der untersuchten Aufbauten	43
Abbildung 55 - Innenansicht Nordfassade mit untersuchten Wandaufbauten im Bauzustand	43
Abbildung 56 - Innenansicht der Westfassade mit untersuchten Wandaufbauten im Bauzustand.....	44
Abbildung 57 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	45
Abbildung 58 – Ansicht des Wandelementes nach Einbau der Messtechnik	46
Abbildung 59 – Eingebauter Taupunkt-detektor und kombinierter Temperatur- und Feuchtesensor	46
Abbildung 60 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	48
Abbildung 61 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte	49
Abbildung 62 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Streuschalung.....	49
Abbildung 63 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht EPS - OSB	50
Abbildung 64 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht OSB - Mineralfaser.....	51
Abbildung 65 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - Streuschalung.....	51
Abbildung 66 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	52
Abbildung 67 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	53
Abbildung 68 – Einbau der Messtechnik.....	54
Abbildung 69 – Eingebauter Taupunkt-detektor und kombinierter Temperatur und Feuchtesensor in der Ansicht mit Kabelführung	54
Abbildung 70 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	56
Abbildung 71 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte	57
Abbildung 72 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Streuschalung.....	57
Abbildung 73 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht EPS - OSB	58
Abbildung 74 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht OSB - Zellulose	59
Abbildung 75 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Zellulose – Heraklith BM	60
Abbildung 76 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	60
Abbildung 77 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	62
Abbildung 78 – Ansicht Massivholzelement mit gefrästem Schlitz für die Messtechnik.....	63
Abbildung 79 – Eingebauter Taupunkt-detektor und Temperaturfühler.....	63
Abbildung 80 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	65
Abbildung 81 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Massivholzplatte	65
Abbildung 82 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht EPS - Massivholzplatte	66
Abbildung 83 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	67
Abbildung 84 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	68
Abbildung 85 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	69
Abbildung 86 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren	69
Abbildung 87 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	71
Abbildung 88 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 35	72
Abbildung 89 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte	72
Abbildung 90 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte	73

Abbildung 91 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM35 - Mineralfaser.....	74
Abbildung 92 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - OSB.....	74
Abbildung 93 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	75
Abbildung 94 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	76
Abbildung 95 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	77
Abbildung 96 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren	77
Abbildung 97 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	79
Abbildung 98 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 35	79
Abbildung 99 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte	80
Abbildung 100 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte	80
Abbildung 101 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM35 - Zellulose	81
Abbildung 102 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - OSB... ..	82
Abbildung 103 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	82
Abbildung 104 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	83
Abbildung 105 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	84
Abbildung 106 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor.....	84
Abbildung 107 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	86
Abbildung 108 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 (außen)	87
Abbildung 109 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (innen).....	87
Abbildung 110 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM50 - Mineralfaser.....	88
Abbildung 111 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - OSB... ..	89
Abbildung 112 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	89
Abbildung 113 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	90
Abbildung 114 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	91
Abbildung 115 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor.....	91
Abbildung 116 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	93
Abbildung 117 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 (außen)	94
Abbildung 118 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 Platte (innen).....	94
Abbildung 119 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM50 - Mineralfaser.....	95
Abbildung 120 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - OSB... ..	96
Abbildung 121 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	96
Abbildung 122 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	97
Abbildung 123 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	98
Abbildung 124 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor.....	98
Abbildung 125 - Verkleben der beschichteten Heraklith EPV Platten	99
Abbildung 126 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	100
Abbildung 127 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith BM 50 (außen)	101
Abbildung 128 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Heraklith EPV Platte	101
Abbildung 129 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Heraklith BM50 - Mineralfaser.....	102
Abbildung 130 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser - Beschichtung	103
Abbildung 131 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche	103
Abbildung 132 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	104
Abbildung 133 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	105
Abbildung 134 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor.....	105

Abbildung 135 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	107
Abbildung 136 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 1).....	108
Abbildung 137 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 2).....	108
Abbildung 138 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte	109
Abbildung 139 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Holzweichfaserplatte - Mineralfaser.....	110
Abbildung 140 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Mineralfaser – OSB- Platte.....	111
Abbildung 141 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche.....	111
Abbildung 142 – Wandaufbau inklusive Lage der einzelnen Sensoren.....	112
Abbildung 143 – Einbau der kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren	113
Abbildung 144 – Eingebaute Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Taupunkt-detektor.....	113
Abbildung 145 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der untersuchten Konstruktion in 15 Jahren.....	115
Abbildung 146 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Holzweichfaserplatte (Schicht 2).....	116
Abbildung 147 - Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der OSB-Platte	116
Abbildung 148 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Holzweichfaserplatte - Zellulose	117
Abbildung 149 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Grenzschicht Zellulose - OSB-Platte	118
Abbildung 150 - Verlauf der relativen Feuchten und Temperaturen an der Innenoberfläche.....	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Verwendete Messgeräte, angeschlossen an automatische Messdatenerfassung (alle Angaben lt. Hersteller)	16
Tabelle 2: Materialkennwerte EPS - Dämmung	25
Tabelle 3: Materialkennwerte Mineralischer Außenputz	25
Tabelle 4: Materialkennwerte Massivholzplatte ROTH / WIGO	26
Tabelle 5: Materialkennwerte Gipskartonplatte.....	26
Tabelle 6: Materialkennwerte Isocell Einblasdämmung	26
Tabelle 7: Materialkennwerte Mineralfaser Heralan FP.....	27
Tabelle 8: Materialkennwerte Heraklith BM50 und BM35	27
Tabelle 9: Materialkennwerte Innenputz Gips.....	27
Tabelle 10: Materialkennwerte OSB Platte.....	28
Tabelle 11: Materialkennwerte StoPrep Vapor	28
Tabelle 12: Materialkennwerte Holzweichfaserplatte.....	28
Tabelle 13: Materialkennwerte Fichtenholz	29
Tabelle 14 - Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchten und Temperaturen	37
Tabelle 15 - Wandaufbau Bauteil 1.....	45
Tabelle 16 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	46
Tabelle 17 - Lage der Monitore im Bauteil.....	47
Tabelle 19 - Wandaufbau Bauteil 2.....	53
Tabelle 20 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	54
Tabelle 21 - Lage der Monitore im Bauteil.....	55
Tabelle 23 - Wandaufbau Bauteil 4.....	62
Tabelle 24 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	63
Tabelle 25 - Lage der Monitore im Bauteil.....	64
Tabelle 27 - Wandaufbau Bauteil 5.....	68

Tabelle 28 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	69
Tabelle 29 - Lage der Monitore im Bauteil	70
Tabelle 31 - Wandaufbau Bauteil 6	76
Tabelle 32 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	77
Tabelle 33 - Lage der Monitore im Bauteil	78
Tabelle 35 - Wandaufbau Bauteil 7	83
Tabelle 36 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	84
Tabelle 37 - Lage der Monitore im Bauteil	85
Tabelle 39 - Wandaufbau Bauteil 8	90
Tabelle 40 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	91
Tabelle 41 - Lage der Monitore im Bauteil	92
Tabelle 43 - Wandaufbau Bauteil 9	97
Tabelle 44 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	98
Tabelle 45 - Lage der Monitore im Modell	99
Tabelle 47 - Wandaufbau Bauteil 10	104
Tabelle 48 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	105
Tabelle 49 - Lage der Monitore im Bauteil	106
Tabelle 51 - Wandaufbau Bauteil 11	112
Tabelle 52 – Lage und Messgrößen der einzelnen Sensoren im Wandquerschnitt	113
Tabelle 53 - Lage der Monitore im Bauteil	114

Literaturverzeichnis

- [1] WUFI Pro 4.0 Online Hilfe, 2005
- [2] SCHAUNIG, N.: Diplomarbeit FH Technikum Kärnten, Thermische Sanierung durch Einsatz von HWL-Platten, Spittal an der Drau, 2003
- [3] MASEA Materialdatenbank, <http://www.masea-ensan.com/masea/faces/categories/intro.jsp>, abgerufen am 03.12.2007
- [4] REYER, E., SCHILD, k., VÖLKNER, S.: Bauphysikkalender, Berlin: Ernst & Sohn, 2003
- [5] KÜNZEL, H. M., HOLM, A.: Bauphysikkalender, Feuchtetransport durch Bauteile – Rechnerische Simulation mit Hilfe des Modells WUFI, Berlin: Ernst & Sohn, 2003
- [6] ÖNORM B 8110 – Teil 2: Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2003
- [7] WUFI Pro 3.3.1 Online Hilfe, 2003
- [8] SCHAUNIG, N.: Diplomarbeit FH Technikum Kärnten, Thermische Sanierung durch Einsatz von HWL-Platten, Spittal an der Drau, 2003
- [9] ÖNORM B 8110 – Teil 2 Beiblatt 4: Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2003
- [10] WUFI Pro 4.1 Online Hilfe, 2007
- [11] ÖNORM B 3802 – Teil 1: Holzschutz im Hochbau - Baulicher Schutz des Holzes, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 1995
- [12] ÖNORM B 2215 – Zimmermeister- und Holzbauarbeiten – Werkvertragsnorm, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 1998
- [13] ÖNORM B 8110 – Teil 2 Beiblatt 4: Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Hinweise zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden durch raumklimatische Einflüsse, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2003
- [14] MORISKE, H. J., SZEWZYK, R.: Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen, Umweltbundesamt, Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Berlin: KOMAG GmbH, 2002
- [15] SCHÖNELL, H., HÖHR, H.P.: Holzwohle Aktuell, Heidelberg: Bundesverband der Leichtbauplattenindustrie, Ausgabe 2, Februar 2004
- [16] KÜNZEL, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Dissertation Universität Stuttgart, 1994
- [17] Karagiozis, A.: Applied moisture engineering, Conference Proceedings Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII, Clearwater Beach, Florida, 1998
- [18] Weiß, B., Wagenführ, A., Kruse, A.: Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen, 2000
- [19] Straube, J.: The influence of low-permeance vapor barriers on roof and wall performance, Conference Proceedings Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings VIII, Clearwater Beach, Florida, 2001
- [20] ÖNORM EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2007

- [21] Küver, J., Peterschewski, J., Meinke, R.: Untersuchung zum Verhalten von konventionellen und ökologischen Dämmstoffen gegenüber mikrobiellen Befall unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und Bewertung der mikrobiellen Kontamination für die Wohnhygiene und Effizienz der Energieeinsparung, Amtliche Materialprüfanstalt Bremen, 2004
- [22] Rudolph, D., Pantke, M.: Laborbericht „Prüfung der Widerstandsfähigkeit von Zellulosedämmstoff mit den Handelsbezeichnungen Trendisol, climasuper bzw. isocell gegenüber Schimmelbefall“, BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin, 1999
- [23] Buxbaum, C.: Interner Forschungsbericht „Schimmelbildung auf Holz- und Holzwerkstoffprodukten“, Fachhochschule Kärnten, 2008
- [24] DIN 4108-4: Wärmeschutz und Energie- Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, Deutsches Institut für Normung, 1998
- [25] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie- Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Deutsches Institut für Normung, 2003
- [26] WTA Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München, 2002
- [27] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie- Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Deutsches Institut für Normung, 2001
- [28] ÖNORM EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2002
- [29] Künzel, H.M.: Feuchteverhalten von Holzständerkonstruktionen mit WDVS – Sind die Erfahrungen aus amerikanischen Schadensfällen auf Europa übertragbar?, wksb – Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz, 2007