

**Gefährdung von Holzkonstruktionen
bei Verzicht auf wasserableitende
Schichten in Außenwänden ohne vor-
beugenden chemischen Holzschutz
nach DIN 68800-2**

T 3117

T 3117

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006

ISBN-10: 3-8167-7175-0

ISBN-13: 978-3-8167-7175-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de

Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben

Gefährdung von Holzkonstruktionen bei Verzicht auf wasserableitende Schichten in Außenwänden ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz nach DIN 68800-2

gefördert von:

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30, D-10829 Berlin
AZ: ZP 52-5 13.160-1099/04

Forschungsinstitut: Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut – WKI
Bienroder Weg 54 E
D-38108 Braunschweig
Telefon: 0531-2155-0
Fax: 0531-351587
E-Mail: info@wki.fhg.de

Projektleitung: Johann W. Herlyn
Fachbereich Bauanwendung Holz / Holzwerkstoffe
Telefon: 0531-2155-448
E-Mail: johann.herlyn@wki.fhg.de

Braunschweig, 31.01.2006

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Abkürzungen.....	4
1. Ausgangssituation	5
2. Notwendigkeit des Vorhabens.....	6
3. Ziele des Vorhabens	8
4. Arbeitspakete	9
4.1 Erfassung und Auswertung von Materialkennwerten, Zusammenstellung und Aufbereitung von Bauteilquerschnitten für numerische Simulationen	9
4.1.1 Materialkennwerten.....	9
4.1.2 Bauteilquerschnitte	12
4.2 Rechnerische Simulation des Feuchteverhaltens von Konstruktionsvarianten, z.B. mit unterschiedlichen s_d -Werten der wasserableitenden Schicht unter variierten Klimabedingungen	13
4.2.1 Beschreibung des EDV-Programms zur numerischen Simulation.....	13
4.2.2 Ergebnisse der numerischen Simulation	14
4.3 Durchführung und Auswertung von Doppelklimakammerversuchen an Testwänden mit unterschiedlichen Querschnittsaufbauten, z.B. Einbau einer wasserableitenden Schicht oder Materialien mit zu untersuchenden funktionsgleichen Eigenschaften.....	22
4.3.1 Beschreibung der Klimakammern	22
4.3.2 Beschreibung der Testwände	23
4.3.3 Beschreibung der Messtechnik	26
4.3.4 Beschreibung des gewählten Klimas.....	29
4.3.5 Ergebnisse der künstlichen Bewitterung	33
4.4 Zusätzliche numerische Simulation des Feuchteverhaltens nach erfolgreicher Validierung der Klimasimulationsmodelle	49
4.4.1 Validierung der numerischen Simulation.....	49
4.4.2 Beschreibung der zusätzlichen Konstruktionsvarianten für die numerische Simulation	50
4.4.3 Ergebnisse der zusätzlich durchgeführten numerischen Simulationen.....	51
4.5 Beurteilung der Gefährdung bei Verzicht auf eine wasserableitende Schicht unter Beachtung konstruktiver und klimatischer Randbedingungen.....	55
4.5.1 Differenzierung der Gefährdungspotentiale.....	55
4.5.2 Beurteilung der Gefährdungspotentiale	57
4.6 Ableitung von Prüfkriterien.....	59
4.6.1 Prüfungen an kleinen Prüfkörpern.....	59
4.6.2 Prüfungen an großen Prüfkörpern.....	62
5. Zusammenfassung	64
6. Literatur	65

Vorwort

Mit dem Forschungsvorhaben sollten mehrere Fragestellungen geklärt werden. Zum einen sollte das Risiko für Gebäude abgeschätzt werden, die bisher abweichend von der DIN 68800-2 ohne wasserableitende Schicht hergestellt wurden. In diesem Zusammenhang wurden die Aufgaben und Wirkungsmechanismen einer wasserableitenden Schicht detailliert untersucht, um das Feuchteverhalten einer Beplankung aus einer Holzwerkstoffplatte ohne wasserableitende Schicht zu beurteilen und daraus die Gefährdung der Standsicherheit der Konstruktion und der Gesundheit der Bewohner eingrenzen zu können.

Zum zweiten sollte im Vorhaben unter Beachtung der derzeitigen Trends im Hochbau, wozu z. B. auch der Verzicht auf eine Dampfsperre gehört, die Notwendigkeit und der Effekt der derzeitigen Grenzwerte von 0,2 m und 1,0 m als wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke s_d der wasserableitenden Schicht für die Baupraxis untersucht werden.

Zusätzlich soll das Vorhaben zu einer Klärung eines möglichen Verzichts auf wasserableitende Schichten und eines damit verbundenen Risikopotentials im Hintergrund der europäischen Normung und Praxis beitragen.

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik, sowie durch die Holzwerkstoffindustrie gefördert. Vor allem der Verband Holzfasern Dämmstoffe e.V. und die Egger Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co. KG haben durch ihr Engagement zum Gelingen des Vorhabens beigetragen.

Besonderer Dank gilt auch der wissenschaftlichen Betreuungsgruppe: Herrn Dipl.-Ing. Hubertus Quitt (DIBt), Herrn Prof. Peter Glos (TU München), Herrn Prof. em. Horst Schulze und Herrn Baudirektor a.D. Borimir Radovic.

Herrn Prof. Stefan Winter und Herrn Dipl.-Ing. Daniel Kehl von der MFPA Leipzig sei ebenso besonders gedankt. An der MFPA Leipzig wurden Freilandbewitterungsversuche an Mauerwerkvorsatzschalen im Rahmen eines vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung geförderten Forschungsvorhabens durchgeführt. Durch eine enge Zusammenarbeit der MFPA Leipzig und des WKI konnten doppelte Untersuchungen vermieden, Ergebnisse abgeglichen und fehlende Fragestellungen bearbeitet werden.

Abkürzungen

Innerhalb dieses Berichtes werden folgende Abkürzungen und Vereinfachungen in der Terminologie verwendet, um die Verständlichkeit beim Lesen zu verbessern.

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis

FPY	Spanplatte P5 auf der Außenseite von Wand 6
WB	wasserableitende Schicht (Bahn) auf der Spanplatte von Wand 6
OSB	OSB/3 auf der Außenseite von Wand 5
MDF	bautechnische MDF auf der Außenseite von Wand 4
MDFI	„leichte bautechnische MDF“ auf der Außenseite von Wand 3
SB35	35 mm dicke Holzfaserdämmplatte auf der Außenseite von Wand 2
SB18	18 mm dicke Holzfaserdämmplatte auf der Außenseite von Wand 1
MW	Mineralfaserdämmung als Volldämmung in den Wänden 3, 6, A, B, C
WF160	Holzfaserdämmung mit einer Rohdichte von 160 kg/m ³ als Volldämmung in den Wänden 2 und 4
WF60	Holzfaserdämmung mit einer Rohdichte von 60 kg/m ³ als Volldämmung in den Wänden 1 und 5
VH	kammergetrocknetes Fichtenvollholz
PE	Polyethylen-Folie als Dampfsperre in allen Wänden
KS	Kalksandstein als Mauerwerkvorsatzschale der Wände A und B
VMz	Vollziegel als Mauerwerkvorsatzschale der Wände 1 bis 6
OFS	Oberflächensensor, der im Zuge des Vorhabens entwickelt worden ist
BBS	binärer Betauungssensor
DKK	Doppelklimakammer in der die Versuche mit künstlicher Bewitterung durchgeführt wurden
Beplankung	vereinfachend für Beplankung und Bekleidung
wasserableitende Schicht	wasserableitende Schicht gemäß der Definition nach DIN 68800-2: 1996-05

1. Ausgangssituation

Die DIN 68800-3, Holzschutz - Vorbeugender chemischer Holzschutz, nennt die Bedingungen für die Zuordnung von Bauteilen in verschiedene Gefährdungsklassen. Durch die Einordnung in eine Gefährdungsklasse wird die Notwendigkeit und die Art und Weise eines vorbeugenden chemischen Holzschutzes klassifiziert. Chemische Holzschutzmaßnahmen sind nach DIN 68800-3 nicht erforderlich im Bereich der Gefährdungsklasse 0. Ein wichtiger Gesichtspunkt für einen Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen ist das Feuchteverhalten von Holz oder Holzwerkstoffen in Bauteilen.

Um Schäden aus unzuträglichen Holzfeuchten zu verhindern, gibt DIN 68800-2, Holzschutz - Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, bestimmte bauliche Maßnahmen vor. Dies sind konstruktive Vorgaben und Zuordnungen zu der erforderlichen Holzwerkstoffklasse. Auf einen vorbeugenden chemischen Holzschutz darf nur verzichtet werden, wenn konstruktive Holzschutzmaßnahmen eingesetzt werden. Die Eignung dieser Maßnahmen wurde in mehreren Forschungsvorhaben nachgewiesen (s. Schulze 1989 – 1998).

Auf eine dieser, in der als technische Baubestimmung eingeführten Norm enthaltenen, konstruktiven Vorgaben wird seit längerer Zeit absichtlich verzichtet. Es handelt sich dabei um die sog. wasserableitende Schicht in Außenwänden mit Mauerwerkvorsatzschale mit hinterlüftetem Hohlraum, mit oder ohne zusätzlicher Dämmschicht aus Mineralfaser, und nicht hinterlüfteter Vorhangschale. Bei diesen Außenwänden ist nach DIN 68800-2 eine wasserableitende Schicht auf der äußeren Beplankung oder der Mineralfaserdämmung anzuordnen. Es sind somit zahlreiche Objekte erstellt worden, deren Ausführung gegen die technischen Baubestimmungen verstoßen und die ein nicht kalkulierbares Risiko hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Gesundheitsgefährdung der Bewohner darstellten.

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d soll z. B. bei einer Folie als wasserableitende Schicht bei nicht hinterlüfteten Vorhangschalen 0,2 m nicht überschreiten, bei Mauerwerkvorsatzschalen hingegen aber mindestens 1,0 m betragen. Aufgabe der wasserableitenden Schicht ist der Schutz von Beplankungen, z. B. aus Plattenwerkstoffen, vor Aufweichungen infolge Schlagregens, der durch Fugen oder Leckagen der äußeren als Wetterschutz dienenden Bauteilschicht eindringt.

Die wasserableitende Schicht soll ebenfalls verhindern, dass Oberflächentauwasser, das sich infolge einer Taupunktunterschreitung, z.B. bei hohen relativen Luftfeuchten in der Luftschicht und bei plötzlicher Abkühlung, bildet, zu einer Aufweichung der äußeren Beplankung führt. Die wasserableitende Schicht, z.B. als Folie, soll einerseits insbesondere eine Befeuchtung bei Stößen oder Durchdringungen der Beplankung, z.B. aus Verbindungsmitteln, verhindern. Andererseits darf die wasserableitende Schicht, z.B. beim

Einsatz einer Folie, nicht den Austrocknungsvorgang in der Holzkonstruktion durch einen erhöhten Wasserdampfdiffusionswiderstand nachteilig behindern.

Gleichzeitig soll die wasserableitende Schicht mit den nach DIN 68800-2 empfohlenen s_d -Werten von maximal 0,2 m oder mindestens 1,0 m eine verzögerte Auffeuchtung der äußeren Beplankung infolge Wasserdampfdiffusion und Sorption bewirken.

Die in Deutschland normativ geregelte Bauart mit wasserableitenden Schichten ist in europäischen Normen nicht zu finden. Es sind weder einzelne nationale Normen außerhalb Deutschlands bekannt, noch existieren europäische Normen, auch nicht als Entwurf, die den erforderlichen Einbau wasserableitender Schichten in Holzaußenbauteilen normativ regeln. Dies zeigt sich auch anhand der Praxis im europäischen Ausland, nach der die zuvor beschriebenen Konstruktionen mit wasserableitenden Schichten außerhalb Deutschlands nicht ausgeführt werden. Es ist somit im Zuge der europäischen Harmonisierung der Normen zu erwarten, dass Konstruktionen aus europäischen Ländern in Deutschland eingesetzt werden, die nicht den derzeitigen nationalen deutschen Bestimmungen entsprechen.

2. Notwendigkeit des Vorhabens

Ausgehend von der Forderung der als technische Baubestimmung eingeführten Norm DIN 68800-2 für Außenwandkonstruktionen aus Holz, außer bei direkt aufgetragenen WDVS und bei hinterlüfteten Vorhangschalen, die Beplankung der Wandbauteile durch eine wasserableitende Schicht, z.B. eine diffusionsoffene Folie, zu schützen, sollte untersucht werden, ob und unter welchen Gegebenheiten auf eben diese zusätzliche Schicht aus einer Folie verzichtet werden kann. Es bestand ein nicht bekanntes Sicherheitsrisiko bei Objekten, die entgegen den Vorgaben der DIN 68800-2 ohne eine wasserableitende Schicht ausgeführt worden sind. Es ist nicht auszuschließen, dass wegen des Verstoßes gegen die technische Baubestimmung Gefahr im Verzug besteht, entweder aufgrund einer Minderung der Tragfähigkeit infolge unzuträglicher Feuchteänderungen oder aufgrund einer Gesundheitsgefährdung der Bewohner durch Schimmelpilzbefall.

Diese Untersuchungen waren ebenso erforderlich, da der Trend zu einem „ökologischen“ Bauen gegenwärtig verstärkt dazu führt, dass Bauherren die Verwendung von Kunststoffen jeglicher Art, z. B. als Wärmedämmstoffe oder wasserableitende Schicht, ablehnen und deshalb weglassen wollen.

Insbesondere bei Holzwänden mit Mauerwerkvorsatzschalen soll die wasserableitende Schicht bewirken, dass eindringende Feuchtigkeit oder Kondenswasser keinen schädigenden Einfluss auf die Beplankung haben kann. Aufgabe des Forschungsvorhabens war es deshalb, u.a. Prüfkriterien zu bestimmen, mit denen z.B. im Rahmen des Zulassungsverfahrens für Beplankungswerkstoffe festgestellt werden kann, inwieweit die in den letzten Jahren hinsichtlich der Oberflächengüte neuentwickelten oder wesentlich

verbesserten Beplankungswerkstoffe die Aufgabe der wasserableitenden Schicht übernehmen können, um die vorgegebenen bauaufsichtlichen Schutzziele zu erreichen.

Dieses Thema ist auf der Grundlage von Zulassungsanträgen Gegenstand von Beratungen im SVA „Holzwerkstoffe“ und in der Projektgruppe „Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) im Holzbau“ dieses SVA. Die gegenwärtigen Entscheidungsgrundlagen gegen einen möglichen Verzicht auf die wasserableitende Schicht stützen sich lediglich auf Erfahrungen im Holzhausbau und auf Schadenskenntnisse mit Materialien aus den 80er Jahren oder davor, nicht aber auf neuere wissenschaftliche Untersuchungen. In diesem Sinne orientierend durchgeführte Untersuchungen anderer Forschungseinrichtungen zeigen das große Praxisinteresse an diesem Thema (Marquardt u. a. 2001). Diese Forschungen haben jedoch die spezifischen Bedingungen der feuchteempfindlichen Systeme im Holzbau nicht ausreichend berücksichtigt, sodass eine unmittelbare Verwertung der Ergebnisse in der Baupraxis nicht möglich ist.

Eine weitere Aufgabe wurde in der Tatsache gesehen, dass als wasserableitende Schicht häufig Folien mit einem deutlich geringerem s_d -Wert als dem derzeit empfohlenen von 0,2 m oder 1,0 m verwendet werden. Oft werden in der Praxis Bahnen mit einem s_d -Wert in der Größenordnung von 0,02 m als wasserableitende Schichten eingesetzt, obwohl die Umsetzung der Vorgaben nach DIN 68800-2 in der einschlägigen Fachliteratur zu finden ist (z. B. Küttinger 2000). In diesem Zusammenhang stellte sich die Frage, ob ein deutlich unter dem derzeit empfohlenen liegender s_d -Wert zum gewünschten Effekt einer verzögerten Wasserdampfdiffusion und reduzierten Auffeuchtung einer Holzwerkstoffplatte führt. Weiterhin muss der s_d -Wert einer wasserableitenden Schicht auch auf die Wasserdampfdiffusionswiderstände der raumseitigen Schichten abgestimmt sein, um Feuchteschäden infolge Wasserdampfdiffusion aus dem Raum zu verhindern. Nähere Kenntnisse über die gewünschte Wirkung der wasserableitenden Schicht unter verschiedenen Randbedingungen, z.B. auch der Einfluss von unterschiedlichen s_d -Werten einer Dampfsperre oder –bremse, erschienen notwendig, um unterschiedliche Anwendungsfälle unter variierten Klimabelastungen beurteilen zu können.

Es besteht außerdem eine Diskrepanz zwischen der deutschen und europäischen Normung. Die konstruktiven Vorgaben nach DIN 68000-2 sind nicht in den entsprechenden europäischen Normen, z. B. DIN EN 335-3, aufgenommen worden, und es bestehen Diskussionen darüber, inwieweit vorbeugende bauliche Holzschutzmaßnahmen in der europäischen Normung geregelt werden sollen. Daher sollte die Gefährdung von Holzkonstruktionen bei einem Verzicht auf wasserableitende Schichten auch hinsichtlich des Risikos ermittelt werden, das entsteht, wenn aus dem europäischen Ausland Konstruktionen ohne wasserableitende Schichten nach Deutschland importiert werden. Das Vorhaben ist ebenfalls notwendig, um die Erfahrungen aus dem Vorhaben für eine europäische Normung verwenden zu können.

3. Ziele des Vorhabens

Das Forschungsvorhaben beinhaltete mehrere Ziele. Zum einen sollte das Risiko für Gebäude abgeschätzt werden, die bisher abweichend von der DIN 68800-2 ohne wasserableitende Schicht hergestellt wurden. Zu diesem Zweck wurde die Funktionsweise einer wasserableitenden Schicht in der Art untersucht, dass die Folgen eines Verzichts auf eine wasserableitende Schicht insbesondere in Außenwänden mit Mauerwerkvorsatzschale bei ausgesuchten Holzwerkstoffplatten, z. B. OSB oder bautechnische MDF, ermittelt wurden.

Zum zweiten sollte im Vorhaben unter Beachtung der derzeitigen Trends im Hochbau, wozu z. B. auch der Verzicht auf eine Dampfsperre oder –bremse gehört, die Notwendigkeit und der Effekt der derzeitigen Grenzwerte von 0,2 m und 1,0 m als wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke s_d der wasserableitenden Schicht für die Baupraxis untersucht werden. Dabei wurde ermittelt, unter welchen Voraussetzungen von der derzeitigen Empfehlung abgewichen werden darf oder auch abgewichen werden muss und welcher s_d -Wert zu beachten ist.

Zusätzlich soll das Vorhaben zu einer Klärung eines möglichen Verzichts auf wasserableitenden Schichten und eines damit verbundenen Risikopotentials im Hintergrund der europäischen Normung und Praxis beitragen.

4. Arbeitspakete

4.1 Erfassung und Auswertung von Materialkenndaten, Zusammenstellung und Aufbereitung von Bauteilquerschnitten für numerische Simulationen

4.1.1 Materialkenndaten

Bei der Auswahl der Materialien wurde versucht, die wichtigsten im Markt verwendeten Materialien zu berücksichtigen. Weiterhin sollten so viel Varianten wie möglich untersucht werden. Die im Folgenden aufgeführten Materialien mit den entsprechenden Kenndaten sind in Zusammenarbeit mit der begleitenden Projektgruppe aus Forschung und Industrie zusammengetragen worden. Die Kenndaten entstammen in der Regel aus den technischen Unterlagen der Hersteller. Teilweise mussten einzelne Daten in Versuchen ermittelt werden.

Mauerwerkvorsatzschale

Der Handformziegel für die Hauptversuche ist als Material für die Mauerwerkvorsatzschale verwendet worden, da dieser durch die hohe mögliche Wasseraufnahme als kritisch betrachtet wurde. Die begleitende Projektgruppe "Forschung" hat diesen Ziegel sowohl zur Verwendung in diesem Forschungsvorhaben, als auch für das parallel laufende Forschungsvorhaben an der MFPA Leipzig ausgewählt.

Der Kalksandstein für die Vorversuche wurde als Gegensatz zum Handformziegel gewählt. Der Kalksandstein hat einen wesentlich geringeren w-Wert, ist aber ansonsten von den in diesem Vorhaben relevanten bauphysikalischen Werten vergleichbar mit dem Handformziegel.

Tabelle 2: Materialkenndaten der Mauerwerkvorsatzschale

	Kurzbezeichnung innerhalb dieses Berichtes	w-Wert	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	μ -Wert
		[kg/ (m ² *h ^{-0,5})]	[kg/m ³]	[W/(m*K)]	[-]
Kalksandstein	KS	8	1400	0,70	5/10
Handformziegel	VMz	25	1600	0,68	5/10

Äußere Beplankung – wasserableitende Schicht

Bei der Wahl der äußeren Beplankung wurde sehr eng mit der begleitenden Projektgruppe "Industrie" zusammen gearbeitet. Neben der Normbeplankung aus einer Spanplatte mit zusätzlicher Folie als wasserableitende Schicht sollten unterschiedliche, vom verarbeitenden Gewerbe bevorzugte, Holzwerkstoffe untersucht werden. Weiterhin ist mit der leichten bautechnischen MDF ein vergleichsweise neues Produkt untersucht worden.

Tabelle 3: Materialkennndaten der äußeren Beplankung / der wasserableitenden Schicht

	Kurzbezeichnung innerhalb dieses Berichtes	Kennzeichnung	Dicke	kurzzeitige Wasseraufnahme	Wärmeleitfähigkeit Nennwert	Rohdichte	μ-Wert
			[mm]	[kg/m ²]	[W/(m*K)]	[kg/m ³]	[-]
Spanplatte P5 + Bahn	FPY	P5 EN 312	16		0,13	650	50/100
	WB		1,2			670	600
OSB/3	OSB	OSB/3 EN 300	15		0,13	600	200/400
bautechnische MDF	MDF	gemäß AbZ	15		0,10	625	11
leichte bautechnische MDF	MDFI	WF – EN 13171 – T4 – TR7,5 – WS1,0 – AF100 – E1	30	WS 1,0	0,051	260	3
dicke Holzfaserdämmplatte	SB35	WF – EN 13171 – T4 – DS(70,-)2 – CS(10\Y)100 – TR30 – WS1,0 – AF100 EN 622-4 – SB.H – E1	35	WS 1,0	0,049	270	5
dünne Holzfaserdämmplatte	SB18	WF – EN 13171 – T4 – DS(70,-)2 – CS(10\Y)100 – TR30 – WS1,0 – AF100 EN 622-4 – SB.H – E1	18	WS 1,0	0,049	270	5

Vollholz

Als Vollholz sollte ausschließlich getrocknetes Fichtenvollholz verwendet werden. Dies stellt mittlerweile den Stand der Technik dar. Weitere Variationen erschienen nicht sinnvoll.

Tabelle 4: Materialkenndaten des Vollholzes

	Kurzbezeichnung innerhalb dieses Berichtes	Einbaufeuchte
		[M.-%]
Fichte	VH	14 bis 17

Dämmung

Bei der Auswahl der Dämmung wurde die Mineralwolle gewählt, da diese in DIN 68800-2:1996-05 entsprechend erwähnt wird. Die Holzfaserdämmungen unterscheiden sich teilweise gravierend von der Mineralwolle in der Rohdichte, der Wärmespeicherefähigkeit und im Sorptionsverhalten. Während die Mineralwolle relativ leicht ist und nur sehr wenig Feuchtigkeit sorptiv aufnehmen kann, kann die Holzfaserdämmung teilweise über 10 Masseprozent zusätzlich zur Einbaufeuchtigkeit an Wasser aufnehmen, ohne dass sich freies Wasser bildet.

Tabelle 5: Materialkenndaten der Dämmung

	Kurzbezeichnung innerhalb dieses Berichtes	Kennzeichnung	Dicke	kurzzeitige Wasseraufnahme	Wärmeleitfähigkeit Nennwert	Rohdichte	μ -Wert
			[mm]	[kg/m ²]	[W/(m*K)]	[kg/m ³]	[-]
Mineralwolle	MW		160		0,038	25	1
Holzfaserdämmung schwer	WF160	WF – EN 13171 – T3 – CS(10Y)40 – TR2,5-AF100	2*80	WS 2,0	0,040	160	5
Holzfaserdämmung flex	WF60	WF-EN 13171-T2-TR1-AF5	160		0,039	60	1/2

Innere Bekleidungen

Bei allen Wänden wurde zur Vermeidung von Einflüssen aus der Warmkammer der Doppelklimakammer (DKK) auf der Innenseite der Dämmung eine PE-Folie als Dampfsperre angebracht. Die zusätzlich zur Raumseite hin angeordnete OSB diente hauptsächlich dazu, die Konstruktion robuster gegenüber mechanischen Einwirkungen zu gestalten.

Tabelle 6: Materialkenndaten der inneren Bekleidung

	Kurzbezeichnung innerhalb dieses Berichtes	Dicke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	μ -Wert
		[mm]	[kg/m ³]	[W/(m*K)]	[-]
PE-Folie	PE	0,2			150000
OSB/3	OSBi	15	600	0,13	200/400

4.1.2 Bauteilquerschnitte

Tabelle 7: Bauteilquerschnitte für die Versuche

			Klima 2						Klima 1		
			Wand 1	Wand 2	Wand 3	Wand 4	Wand 5	Wand 6	Wand A	Wand B	Wand C
Vor-mauer-schale	KS	mit Mörtelbrücken							x		
		ohne Mörtelbrücken								x	
	„Acrylglas“										x
	VMz alle ohne Mörtelbrücken		x	x	x	x	x	x			
äußere Beplanung	FPY + Folie							x			
	OSB						x				
	MDF					x			x	x	x
	MDFI				x						
	SB35			x							
	SB18		x								
Dämmung	MW				x			x	x	x	x
	WF160			x		x					
	WF60		x				x				

4.2 Rechnerische Simulation des Feuchteverhaltens von Konstruktionsvarianten, z.B. mit unterschiedlichen s_d -Werten der wasserableitenden Schicht unter variierten Klimabedingungen

4.2.1 Beschreibung des EDV-Programms zur numerischen Simulation

Mit dem am WKI entwickelten Computerprogramm TUN wurden die Zustandsgrößen Temperatur, Materialfeuchte und rel. Luftfeuchte in den Luft- und Materialschichten numerisch simuliert. Das Computerprogramm TUN berechnet gekoppelte instationäre Wärme- und Feuchteströme auf der Basis der Finite-Differenzen-Methode. Nach Einteilung eines Bauteils in rechteckförmige Elemente werden für jedes Element bei jedem Rechenzeitschritt eine Wärmebilanz und eine Feuchtebilanz aufgestellt. Bei der Wärmebilanz muss die zeitliche Änderung der Enthalpie gleich der räumlichen Änderung des Wärmestroms sein, bei der Feuchtebilanz muss die Änderung der Feuchtekonzentration der räumlichen Änderung des Diffusionsstroms entsprechen. Aus dem Wärmestrom wird infolge des Temperaturgefälles die Zustandsgröße Materialtemperatur und aus dem Diffusionsfeuchtestrom wird infolge des Partialdampfdruckgefälles über die Beziehung zwischen Sorptionsisotherme und Partialdampfdruck die Zustandsgröße Materialfeuchte berechnet. Für die Kapillarleitung wird infolge des Konzentrationsgefälles über die Rohdichte ebenfalls die Zustandsgröße Materialfeuchte berechnet. Das Rechenprogramm TUN kann ein-, zwei- und dreidimensionale Wärme- und Feuchteströme berechnen.

Für die Berechnung ist die Eingabe der Materialkennwerte und der Klimarandbedingungen erforderlich. Zu den Materialkennwerten zählt die Rohdichte, die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität, die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, die Kapillarleitzahl sowie die Sorptionsisotherme. Das Programm berücksichtigt die Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit und der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl.

Die Klimarandbedingungen Lufttemperatur, Taupunkttemperatur oder Luftfeuchte können entweder als Sinusfunktion vorgegeben oder aus Datensätzen eingelesen werden. Strahlungslufttemperaturen aus Sonnenstrahlung sowie Auffeuchtungen infolge Schlagregens können ebenfalls als Klimalasten generiert werden. Zur Berechnung der Zustandsgrößen Materialtemperatur und -feuchte in den Randelementen des Bauteils werden die in der Bauphysik gebräuchlichen Wärme- und Feuchteübergangskoeffizienten verwendet.

Das Berechnungsprogramm kann in der hier eingesetzten Version die Belüftung einer Luftschicht nur in der Art berechnen, dass in der Luftschicht die gleichen absoluten Feuchtegehalte wie in der Außenluft angesetzt werden und dann die rel. Luftfeuchte in Abhängigkeit von der berechneten Temperaturverteilung in der Luftschicht ermittelt wird. Strömungsvorgänge z. B. aus Konvektion werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Mit dem Programm können auch keine nichtlinearen Einwirkungen wie Abtropfen von Wasser an einzelnen Mörtelbrücken berücksichtigt werden, wie es in den Bewitterungssimulationen beobachtet wurde.

4.2.2 Ergebnisse der numerischen Simulation

Die Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen exemplarisch die gemessenen und berechneten Temperaturen in den Luftschichten der Wände A und B (siehe Abschnitt 4.3.2). Als Temperaturrandbedingungen wurden die in den entsprechenden Abschnitten der Doppelklimaanlage gemessenen Temperaturen angesetzt, so dass bei den numerischen Simulationen auch Störungen oder andere Unregelmäßigkeiten bei der Temperaturregelung berücksichtigt wurden. Bei den Berechnungen wurde die Lage der Messstellen nicht unterschieden. Die besten Übereinstimmungen werden sowohl bei der Wand A als auch bei der Wand B in Wandmitte und am Wandfuß erzielt. Die höheren Abweichungen zwischen Messung und Rechnung im Wandkopf sind gegebenenfalls auf den Einfluss konvektiver Strömungsvorgänge in der Luftschicht zurückzuführen, die im Berechnungsprogramm nicht berücksichtigt werden. Die gemessenen und berechneten Temperaturen stimmen sowohl während der ersten Versuchsphase mit geöffneten als auch während der zweiten Phase mit geschlossenen Fugen der Mauerwerkvorsatzschalen recht gut überein. Durch eine Parametervariation, z. B. der Wärmeleitfähigkeit des Mauerziegels, kann die Übereinstimmung noch verbessert werden.

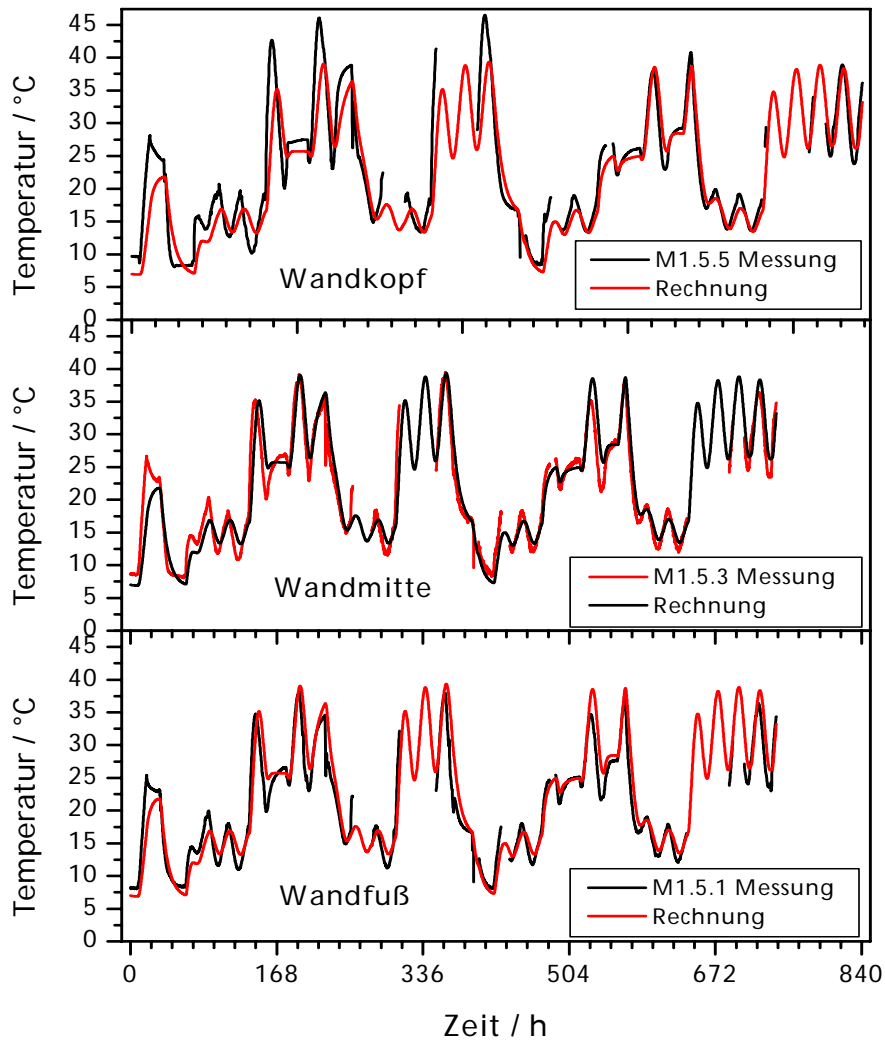


Abbildung 1: Gemessene und berechnete Temperaturen in der Luftschicht der Wand A

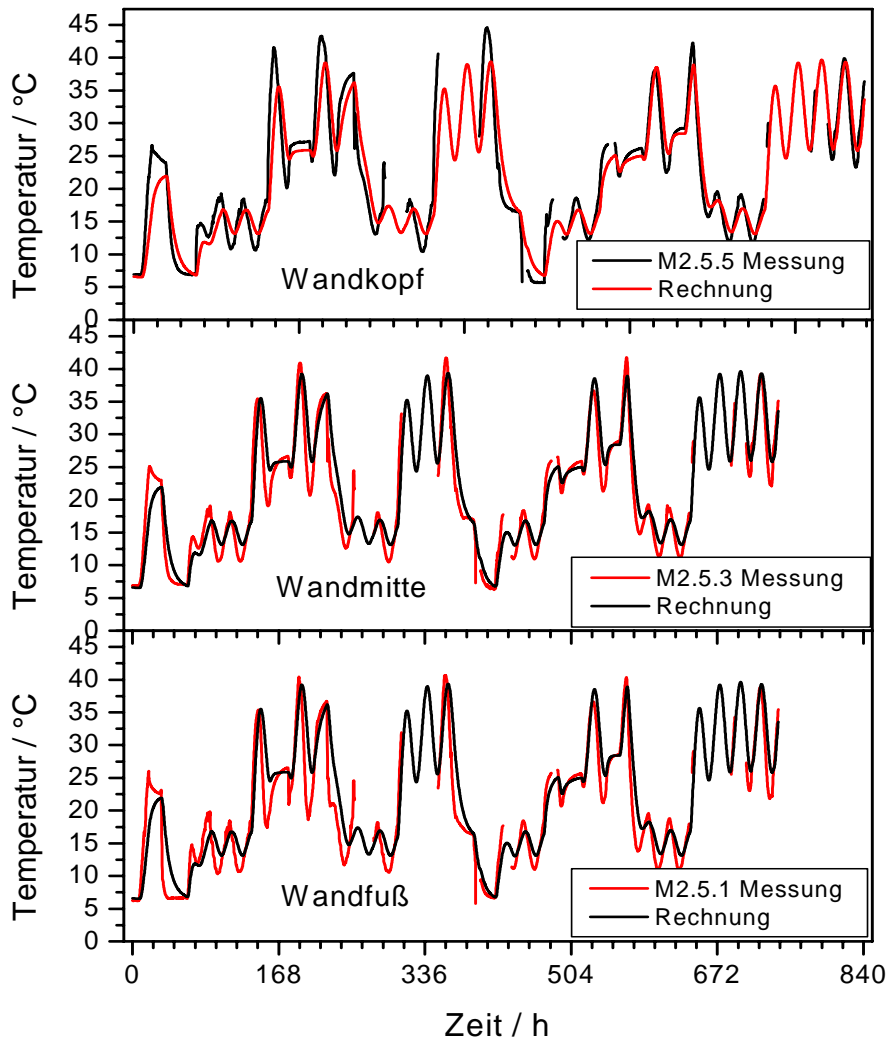


Abbildung 2: Gemessene und berechnete Temperaturen in der Luftschicht der Wand B

Bei einem Vergleich der gemessenen mit den berechneten Luftfeuchten fallen zuerst die Abweichungen zwischen Messung und Rechnung während der zweiten Versuchsphase mit geschlossenen Fugen auf (s. Abbildung 3 und Abbildung 4). Während zumindest zeitweilig in der ersten Versuchsphase mit geöffneten Fugen Übereinstimmungen zwischen Rechnung und Messung hinsichtlich des Eintritts von Feuchtmaxima oder -minima vorhanden sind, werden in der numerischen Simulation deutlich geringere Luftfeuchten während der zweiten Phase berechnet als gemessen. Eine Erklärung hierfür kann möglicherweise in einer rechnerischen zu schnellen Austrocknung der Mauerwerkvorsatzschale liegen. Eine Hinterlüftung der Mauerwerkvorsatzschale mit offenen Fugen während der ersten Versuchsphase führt zu schnelleren Änderungen in der Messung als

in der Berechnung. Eine Ursache hierfür kann in der rechnerischen Berücksichtigung einer Belüftung im Programm TUN liegen, in der Luftkonvektion nicht strömungsmechanisch erfasst wird.

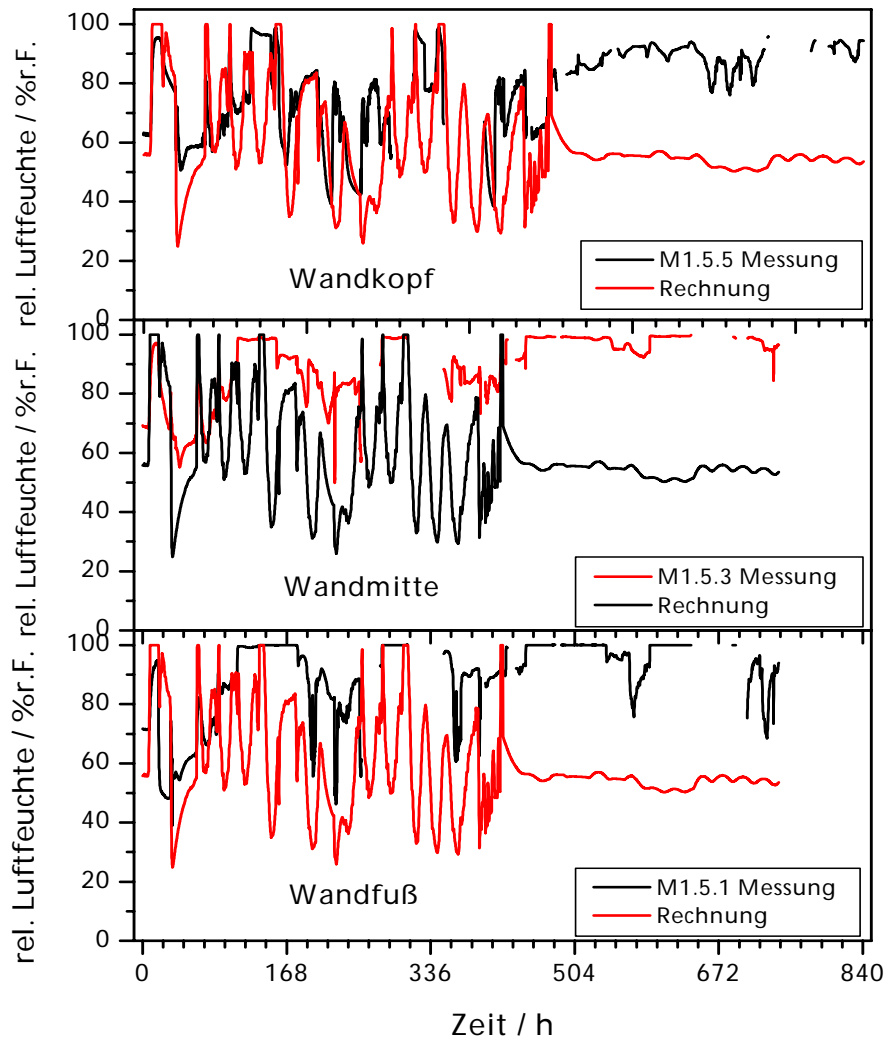


Abbildung 3: Gemessene und berechnete rel. Luftfeuchten in der Luftschicht der Wand A

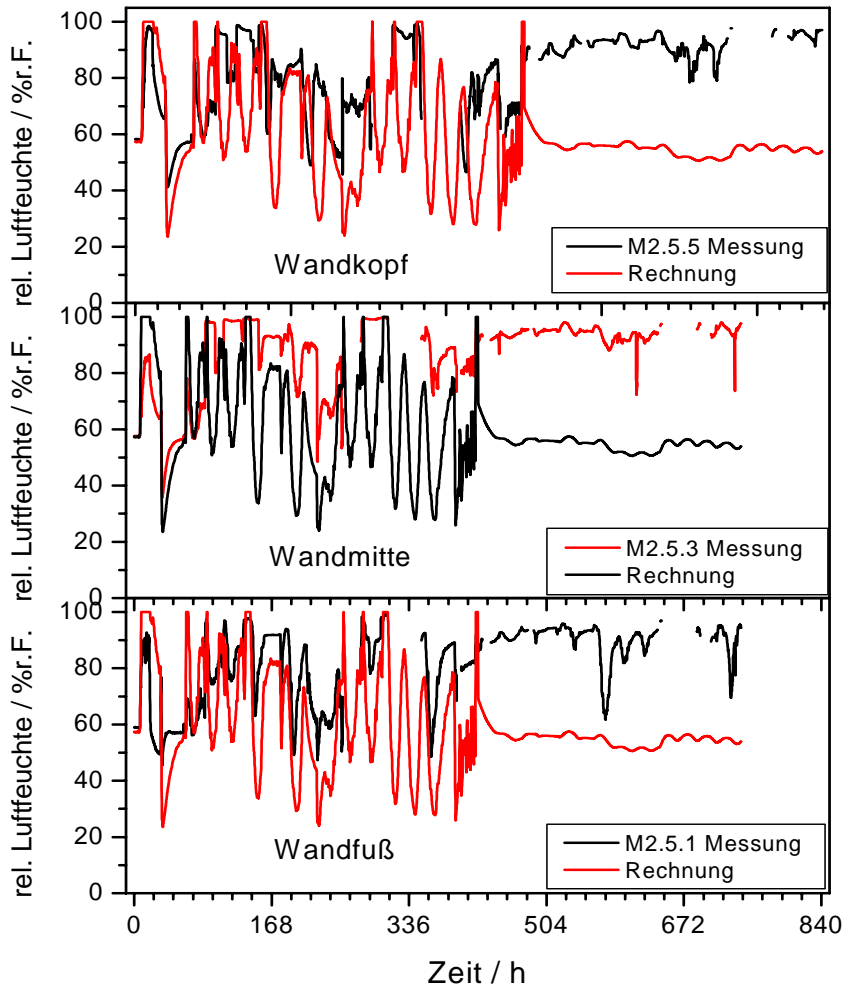


Abbildung 4: Gemessene und berechnete rel. Luftfeuchten in der Luftschicht der Wand B

Im Gegensatz zu den Lufttemperaturen ist hinsichtlich der Lage der Feuchtemessstellen weder einer besonders gute, noch eine besonders schlechte Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung vorhanden. Bei der Wand A können die Abweichungen in Wandmitte und Wandfuß auch auf eine Auffeuchtung der Messfühler durch von den Mörtelbrücken abtropfendes Wasser zurückgeführt werden.

Für weitere Berechnungen müssen Ansätze gefunden werden, die die hohen Auffeuchtungen bei geschlossenen Fugen der Mauerwerkvorsatzschale erfassen.

Neben einem Vergleich von gemessenen mit berechneten Zustandsgrößen wurde mit dem Programm TUN auch das Feuchteverhalten einer Holztafelwand mit einer Mauerwerkvorsatzschale und einer Folie auf der Außenbeplankung aus einer phenolharzgebundenen Spanplatte berechnet, die unterschiedliche wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicken s_d aufweist. Die Abbildung 5 zeigt die für die Berechnungen zugrunde

gelegten Klimarandbedingungen für die Strahlungslufttemperatur und die rel. Luftfeuchte, die einem repräsentativen Sommerklima mit Regenereignissen entsprechen. Die Abbildung 5 enthält ebenfalls die berechneten Zustandsgrößen in der Luftschicht direkt vor der Außenbeplankung. Für die Berechnungen wurde die Luftschicht als nicht belüftet angenommen. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich vor der Spanplatte häufig hohe rel. Luftfeuchten, zeitweilig bis zum Sättigungszustand, einstellen. Die berechneten Verläufe der Materialfeuchten in der Mauerwerkvorsatzschale und in der Spanplatte, vor der sich eine Folie mit $s_d = 1,0$ m befindet, zeigt die Abbildung 6.

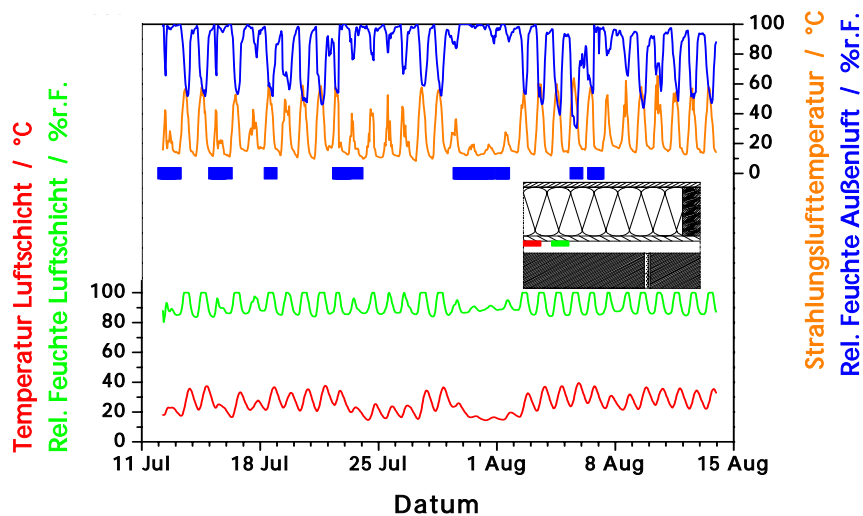


Abbildung 5: Klimarandbedingungen für numerische Simulationen und daraus berechnete Zustandsgrößen in einer Luftschicht hinter einer Mauerwerkvorsatzschale

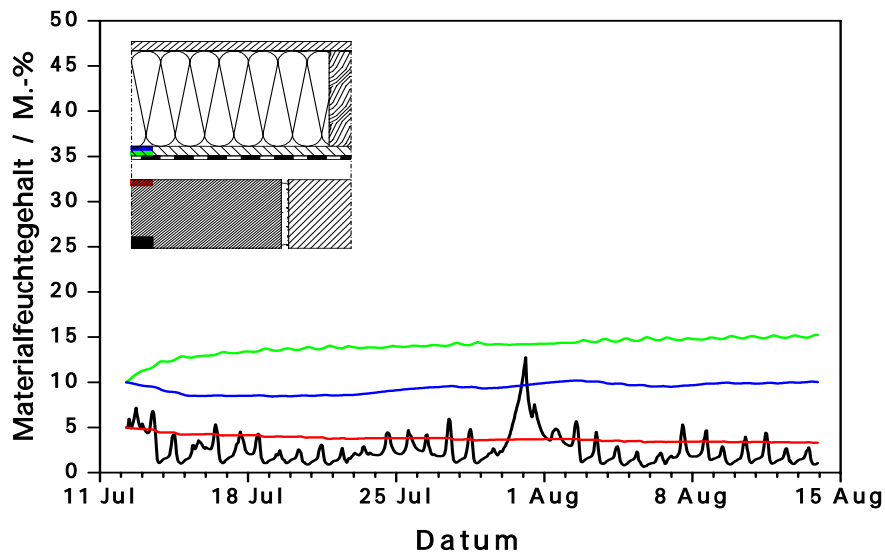


Abbildung 6: Berechnete Materialfeuchten einer Mauerwerkvorsatzschale und einer Außenbeplankung mit einer Folie mit $s_d = 1,0$ m

Nach Ende des Berechnungszeitraums liegen die Materialfeuchten in der Spanplattenzone zur Luftschicht bei etwa 15,0 M.-%, in derjenigen zur Wärmedämmung bei etwa 10,0 M.-%. Der Verzicht auf eine Folie mit einem Wert für s_d von 0 m führt rechnerisch zu einer Aufweitung der Spanplattenzone zur Luftschicht von maximal etwa 25,0 M.-% und der Zone zur Wärmedämmung von etwa 11,0 M.-% (s. Abbildung 7). Hier werden sowohl maximale Feuchtegehalte als auch insbesondere Feuchtegradienten über die Plattendicke berechnet, die schon als kritisch zu bezeichnen sind. Die Abbildung 8 stellt abschließend für Ergebnisse aus numerischen Simulationen die Verläufe der Materialfeuchten in der Spanplattenzone zur Luftschicht in Abhängigkeit unterschiedlicher s_d -Werte von 1,0 m, 0,5 m, 0,2 m und 0 m einer Folie gegenüber. Es ist zu erkennen, dass unter den hier zugrunde gelegten Randbedingungen eine Begrenzung der Materialfeuchte in der Spanplatte erst mit einer Folie als wasserableitende Schicht ab einem s_d -Wert von 0,5 m zu erreichen ist.

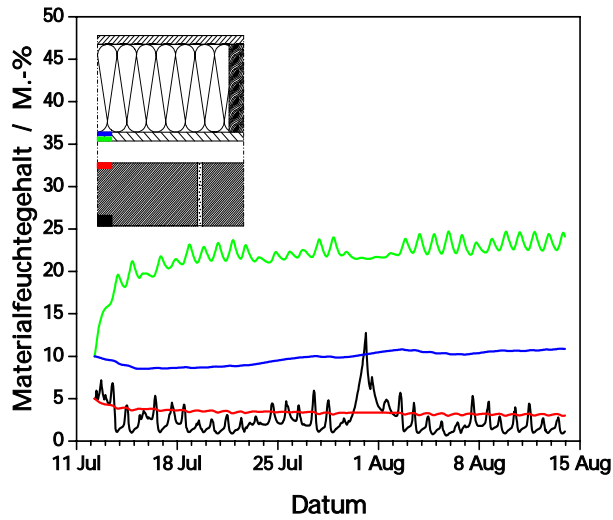


Abbildung 7: Berechnete Materialfeuchtegehalte einer Mauerwerkvorsatzschale und einer Außenbeplankung mit einer Folie mit $s_d = 0,0$ m

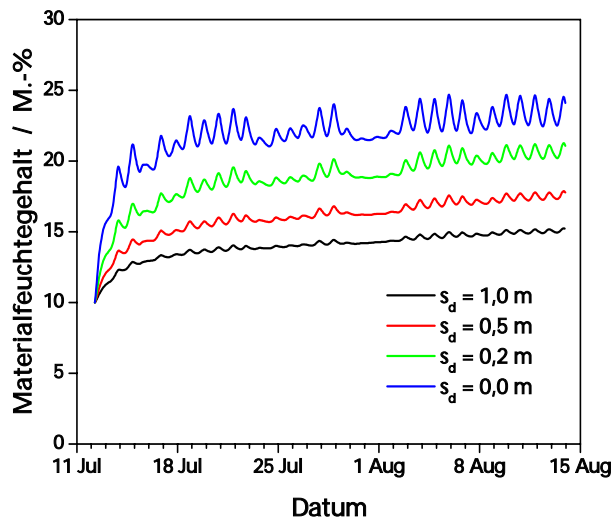


Abbildung 8: Berechnete Materialfeuchten einer Spanplatte hinter einer Mauerwerkvorsatzschale mit einer Folie mit unterschiedlichen s_d -Werten

4.3 Durchführung und Auswertung von Doppelklimakammerversuchen an Testwänden mit unterschiedlichen Querschnittsaufbauten, z.B. Einbau einer wasserableitenden Schicht oder Materialien mit zu untersuchenden funktionsgleichen Eigenschaften

4.3.1 Beschreibung der Klimakammern

Die Doppelklimaanlage besteht aus einer sog. Warm- und einer sog. Kaltseite, die jeweils in vier Kammern aufteilbar sind. In der hier beschriebenen künstlichen Bewitterung waren die Kammern nicht getrennt. Abbildung 9 zeigt das Schema der Doppelklimaanlage. Auf der Warmseite wird ein Nutzungsklima anhand regelbarer Lufttemperaturen und -feuchten nachgestellt, in diesem Forschungsvorhaben wurde die Warmseite konstant mit 20 °C und 65 % rel. LF klimatisiert. Auf der Kaltseite können zusätzlich zur Klimatisierung Prüfwände künstlich beregnet und bestrahlt werden. Die Temperaturen wurden bei den hier beschriebenen Versuchen nur durch Regelung der Kaltkammertemperaturen, nicht durch Bestrahlung, geändert. Die Beregnungsleistung liegt pro m² Wandfläche bei 1 mm Niederschlag je Minute.

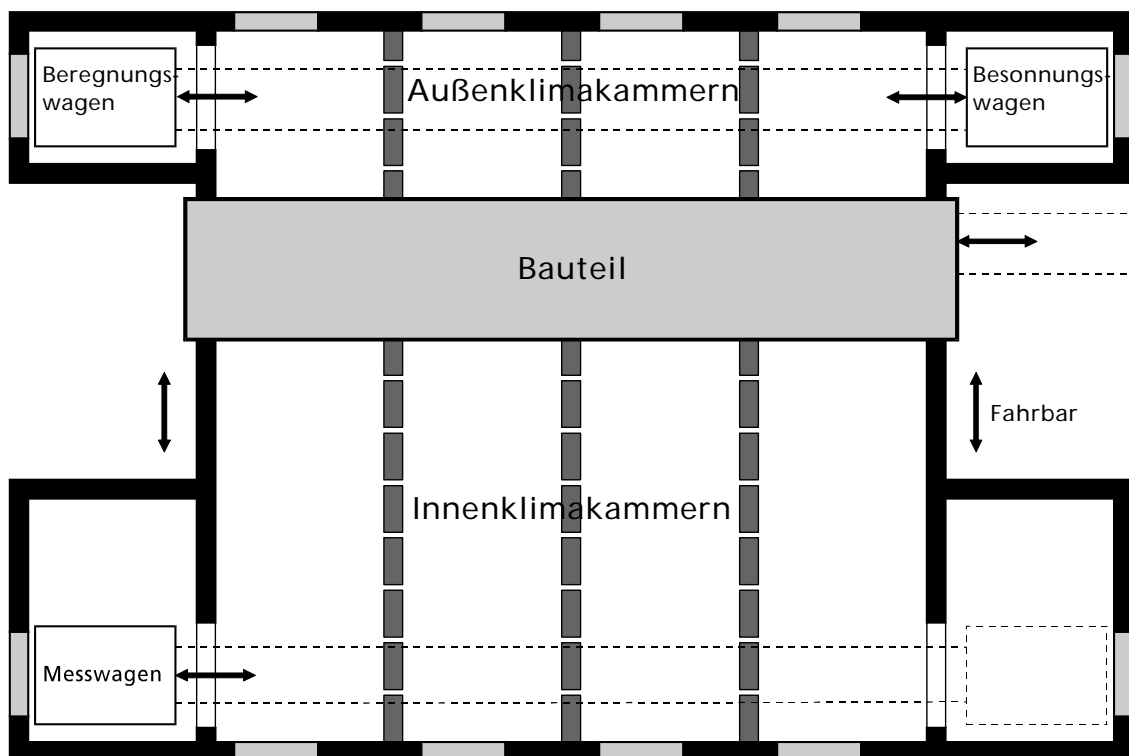


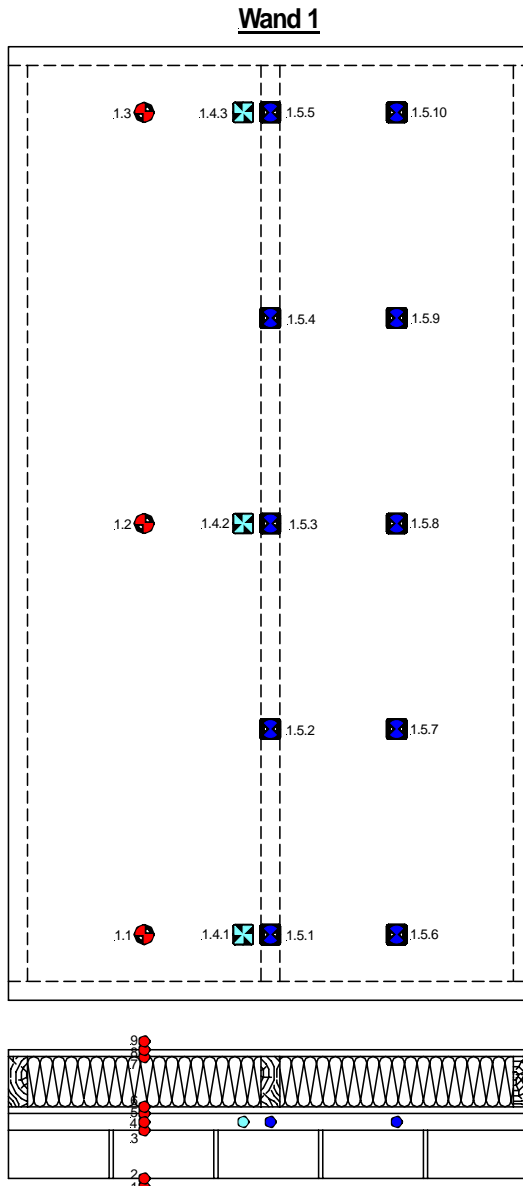
Abbildung 9: Schema der großen Doppelklimaanlage am WKI

4.3.2 Beschreibung der Testwände

Beschreibung der Testwände A, B und C für die Vorversuche

In den Vorversuchen sollte ermittelt werden, auf welche Art und Weise die Wandmodelle für die künstliche Bewitterung hergestellt sein müssen. So wurde der Einfluss der Fugenausbildung, ob mit oder ohne Mörtelbrücken, zur Luftschicht auf die Zustandsgrößen Temperatur und rel. Luftfeuchte in einer Luftschicht zwischen einer Mauerwerkvorsatzschale und einer Holztafelwand untersucht. Für die Ausführung der Wandmodelle zur Bewitterungssimulation sollte ebenfalls experimentell bestimmt werden, ob auf die aufwendig herstellbare Mauerwerkvorsatzschale entweder verzichtet werden kann, so dass die außenseitige Bepankung der Holztafelwand direkt dem nachgestellten Außenklima in der Doppelklimaanlage ausgesetzt ist, oder ob die Mauerwerkvorsatzschale z. B. durch eine Acrylglasplatte ersetzt werden kann.

Daher wurden drei getrennte Wandabschnitte in Holztafelbauart mit Mauerwerkvorsatzschalen hergestellt und in eine Prüfwand in eine Doppelklimaanlage eingebaut. Die Abbildung 10 zeigt den Querschnittsaufbau von Wand A und die installierte Messtechnik exemplarisch für die Wände A, B und C. In die Wände A und B wurden zusätzlich an zwei Bereichen paarweise Metallstreifen, auf die konstante Gleichstromspannungen zwischen 10 V und 20 V aufgelegt wurden, auf der Oberfläche der bautechnischen MDF hin zur Luftschicht montiert, um die Eignung dieser Ausführung zur Erfassung einer Betauung auf der Oberfläche zu testen. Bei der Wand A wurden die Mörtelbrücken auf der Rückseite der Mauerwerkvorsatzschale nicht entfernt, bei der Wand B wurden die Mörtelbrücken abgestrichen. Die Wände A und B hatten am Wandfuß und –kopf offene Stoßfugen, die je nach Bedarf geschlossen werden konnten. In der Acrylglasplatte der Wand C wurden ebenfalls oben und unten verschließbare Öffnungen eingebaut, um auch bei dieser Variante unterschiedliche Strömungszustände in der Luftschicht einstellen zu können.



Bezeichnung der Messstellen

- 1. Ziffer: Wand Nr. 1/2/3
- 2. Ziffer: Meßreihe (gezählt von unten nach oben und links nach rechts)
- 3. Ziffer: Meßstelle (gezählt von außen nach innen)

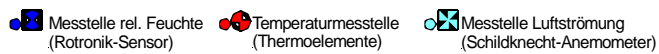


Abbildung 10: Querschnittsaufbau und Messtechnik der Wand A

Beschreibung der Testwände 1 bis 6 für die Hauptversuche

In den Hauptversuchen sollten unterschiedliche Materialien untersucht werden, bei denen die Industrie sich erhoffte, dass diese als wasserableitende Schicht Verwendung finden können. Als Referenzwand (Wand 6) sollte eine Wand gemäß den Vorgaben und den zum Zeitpunkt der Erstellung der DIN 68800-2:1996-05 üblichen Materialien mit einer äußeren Beplankung aus wasserfest verleimter Spanplatte, einer wasserableitenden Schicht aus einer Folie mit einem s_d -Wert größer einem Meter und einer Mineralwolldämmung als Volldämmung im Gefach erstellt werden. Neben dieser Referenzwand wurden fünf weitere Wände gefertigt, die alle unterschiedliche Beplankungsmaterialien aus Holzwerkstoffen und teilweise variierende Dämmung aufwiesen. Zudem wiesen alle anderen fünf Wände keine Folie als wasserableitende Schicht auf. Tabelle 6 gibt einen Überblick der verwendeten Varianten. Um den Einfluss von Stößen ohne Nut und Feder-Verbindung beobachten zu können, wurde in jeder Testwand ein stumpfer, nicht hinterlegter Plattenstoß ausgebildet.

Als Material für die Mauerwerksvorsatzschale wurde ein üblicher, aber stark saugender Handformziegel ausgewählt. Der gleiche Ziegel wurde auch im parallel laufenden Forschungsvorhaben an der FMPA Leipzig verwendet. Die Fugen der Mauerwerksvorsatzschale wurden im Luftspalt glatt gestrichen, so dass sich keine Mörtelbrücken bilden konnten. Die Mauerwerksvorsatzschale wurde über alle Holzkonstruktionen hinweg durchgehend gemauert. Die Luftschichten vor den einzelnen Holzkonstruktionen standen somit untereinander in Verbindung. Die Fugen im unteren und im oberen Bereich sind geöffnet gewesen.

4.3.3 Beschreibung der Messtechnik

Abbildung 11 zeigt eine Übersicht der verwendeten Messtechnik, die nachstehend näher beschrieben wird.

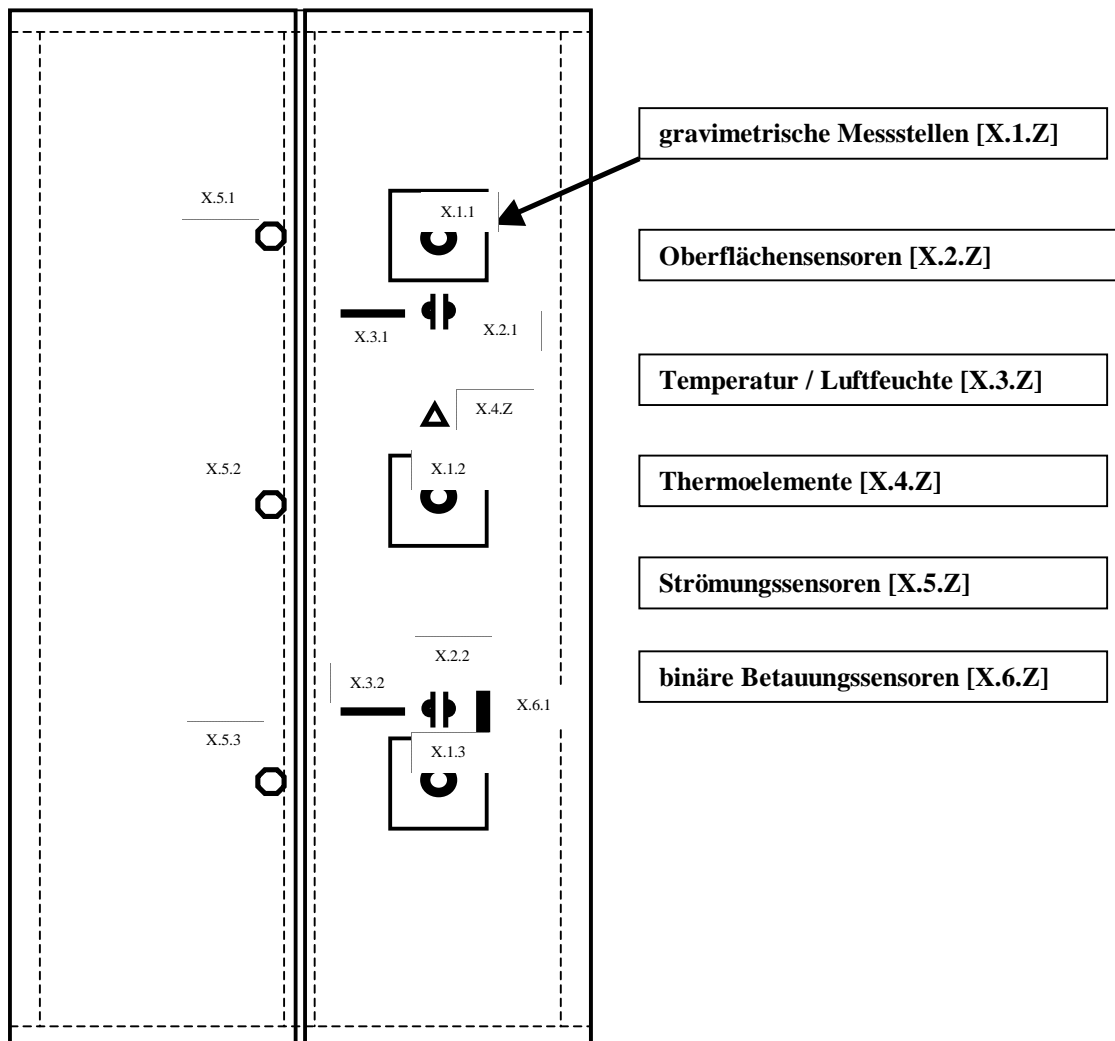


Abbildung 11: Prinzipielle Darstellung von Lage und Anordnung der Messtechnik der Wände 1 bis 6

Gravimetrische Dauermessstellen

Mit Hilfe sog. Stellvertretermessstellen, im Folgenden auch gravimetrische Dauermessstellen genannt, wurde das Feuchteverhalten der äußeren Beplankung und der Dämmung ermittelt. Zu diesem Zweck wurden geeignete Vorrichtungen in die Prüfwände eingebaut, mit deren Hilfe Materialabschnitte aus den Prüfwänden in bestimmten Intervallen entnommen, gewogen und ortgetreu wieder eingebaut werden konnten. Nach Versuchsende wurden die Feuchtegehalte durch Darrtrocknung bestimmt. Dabei wurden die Materialien bei einer Temperatur von 103 °C bis zur Massekonstanz getrocknet, die als erreicht gilt, wenn sich die Masse der Probe gegenüber der vorherigen Wägung im Abstand von sechs Stunden um nicht mehr als 0,1 % geändert hat. Die Lage der Messstellen ist Abbildung 11 zu entnehmen.

Betauungssensoren

In den Vorversuchen sollte auch die vorgesehene Messtechnik überprüft werden. Dabei sollte eine Methode entwickelt und eingesetzt werden, die eine messtechnische Erfassung einer Betauung auf der Oberfläche einer Holzwerkstoffplatte ermöglicht, deren Oberfläche zur Luftschicht hinter der Mauerwerkvorsatzschale weist. Die bei diesen Voruntersuchungen getesteten, selbst konstruierten Betauungssensoren beruhen sämtlich auf der Messung des elektrischen Widerstandes an der Werkstoffoberfläche. Als Elektroden kamen elektrisch leitende Materialien zum Einsatz, die paarweise in unterschiedlichen Breiten, Längen oder Abständen direkt auf die Materialoberfläche aufgebracht oder mit Druck auf die Oberfläche gepresst wurden. Die eingesetzten Sensoren bestanden zum einen aus Graphit in Form von Graphitspray, Graphitstift Härte 9B und einem handelsüblichen weichen Bleistift Härte 6b, die unmittelbar auf die Oberfläche appliziert wurden. Zum anderen kamen Nickelfolienstreifen zum Einsatz, die mit Kunststoffleisten und -schrauben auf die Oberfläche gepresst wurden. Mit jedem der genannten Materialien wurde ein Sensorpaar gebildet, das aus einer Mittelelektrode und zwei seitlichen Elektroden mit unterschiedlichem Abstand zur Mittelelektrode bestand. Zwischen den jeweiligen Sensorpaaren wurde eine Gleichstromspannung von 20 V aufgelegt. Diese Sensoren werden im Weiteren, wenn nicht die einzelne Messstelle angegeben ist, als Oberflächensensoren (OFS) bezeichnet. Es war geplant, mit Hilfe dieser Methode auch auf den Gehalt der Materialfeuchte zu schließen. Es sei hier aber vorweggenommen, dass mit diesen Oberflächensensoren dieses Ziel der quantitativen Bewertung nicht erreicht wurde. Dazu sind weitere Entwicklungen erforderlich. Es kann aber eine qualitative Abschätzung sehr gut vorgenommen werden. Eine ausführliche Beschreibung der Entwicklungen erfolgt im Anhang.

Weiterhin wurden an jeder äußeren Beplankung im unteren Bereich handelsübliche Betauungssensoren angebracht, die aber nur ein binäres An-Aus Signal senden. Eine Abschätzung der Menge des anfallenden Tauwassers ist mit diesen Fühlern nicht möglich, ebenso nicht des Feuchtegehalts des Materials. Diese Sensoren werden im Folgen-

den als binäre Betauungssensoren (BBS) bezeichnet. Abbildung 11 zeigt eine schematische Darstellung der Lage der Messstellen.

Thermoelemente

In der Mitte der Testwände wurden Thermoelemente an jeder Grenzschicht befestigt, um den Temperaturverlauf über den Wandquerschnitt ermitteln zu können. Die Temperaturen auf den Oberflächen und Grenzschichten der Prüfwände wurden mit Thermoelementen vom Typ T nach DIN EN 60584-2, Klasse 1, mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ °C gemessen. Die Lage der Temperaturmessstellen kann Abbildung 11 entnommen werden.

Temperatur und Luftfeuchtfühler

Bei den Fühlern für die Messgrößen Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit handelt es sich um einen speziell abgeglichenen und zertifizierten Klimafühler mit einer Genauigkeit von ± 1 % rel. LF und einem Messbereich von $- 40$ °C bis 85 °C sowie 0 % rel. LF bis 100 % rel. LF.

Strömungssensoren

Die Strömungssensoren dienten zur Erfassung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten im Luftspalt zwischen Mauerwerkvorsatzschale und Holzkonstruktion. Durch die integrierte Temperaturkompensation und den individuellen Abgleich mit dem herstellereigenen, akkreditierten SCS-Windkanal zeichnen sie sich durch eine hohe Genauigkeit aus. Sie haben einen Messbereich von $0,01$ m/s bis 1 m/s, umschaltbar auf einen Messbereich von $0,15$ m/s bis 5 m/s. In dem Messbereich von $0,01$ m/s bis 1 m/s hat der Fühler eine Messgenauigkeit von $\pm 1,0\%$ v.E. und $\pm 1,5\%$ v.M.

Die Fühler wurden im oberen und unteren Drittel der Testwände in der Nähe der Mittelrippe angebracht, um eine mögliche Strömungsdifferenz ermitteln zu können.

Visuelle Kontrollen hinsichtlich Schimmelpilze

Das Auftreten von Schimmelpilzen wurde visuell überprüft. Eine makroskopische Betrachtung erfolgte an den gravimetrischen Dauermessstellen bei jeder Entnahme. Gleichzeitig wurde mit einem Endoskop die Plattenoberfläche um den Bereich der Messstellen untersucht.

Um den Versuchsablauf und das Klima im Luftspalt nicht übermäßig zu stören, wurden Abklatschproben erst nach der dritten Bewitterungswoche und dann wöchentlich zu Beginn einer neuen Bewitterungswoche entnommen. Dazu wurde die Holztafelwand

abgeklappt, so dass zusätzlich eine visuelle Kontrolle der gesamten Wand erfolgen konnte. Die Abklatschproben wurden mikroskopisch hinsichtlich einer Myzelbildung untersucht. Eine Bestimmung der Art der Pilze erfolgte nicht.

4.3.4 Beschreibung des gewählten Klimas

Klima 1 für die Vorversuche

In den Vorversuchen sollte auch die Wirkung des ausgewählten Klimamodells auf Zustandsgrößenänderungen in der Luftschicht während der Bewitterungssimulationen beurteilt werden. Das Klimamodell für die orientierenden Bewitterungssimulationen zeigt die Abbildung 12. Es wurden fünf Zyklen mit repräsentativen Klimabedingungen für extreme vier aufeinander folgende Sommertage mit einer maximalen Strahlungslufttemperatur von 55 °C und rel. Luftfeuchten zwischen 25 % rel. LF. und 90 % rel. LF. gefahren. Zwischen diesen extremen Tagen wurden jeweils drei moderatere Tages-schwingungen mit Lufttemperaturen zwischen 10 °C und 20 °C bei einer konstanten rel. Luftfeuchte von 65 % rel. LF geregelt. In diesen Phasen wurde täglich mit einer Dauer von einer Stunde und einer Schlagregenleistung von 1 l/(m²min) beregnet, so dass die Prüfwände in jedem Zyklus mit einer Schlagregenmenge von 180 l/m² beansprucht wurden. Diese extreme Belastung wurde gewählt, um die Wirkung der Klimabelastung auf eine Mauerwerkvorsatzschale in einer künstlichen Bewitterung beurteilen zu können. In den Bewitterungssimulationen wurden vier Zyklen mit je einer dreitägigen Beregnungsphase und einer viertägigen Erwärmungsphase beaufschlagt. Am Ende des vierten Zyklus wurde die Wandoberfläche in zwei Phasen nicht über die Erwärmung der Luft sondern mit Hilfe einer künstlichen Bestrahlung mit einer Leistung von 1000 W/m² über eine Dauer von 30 min erwärmt. Vor der Bestrahlung wurde in einer Dauer von 30 min beregnet.

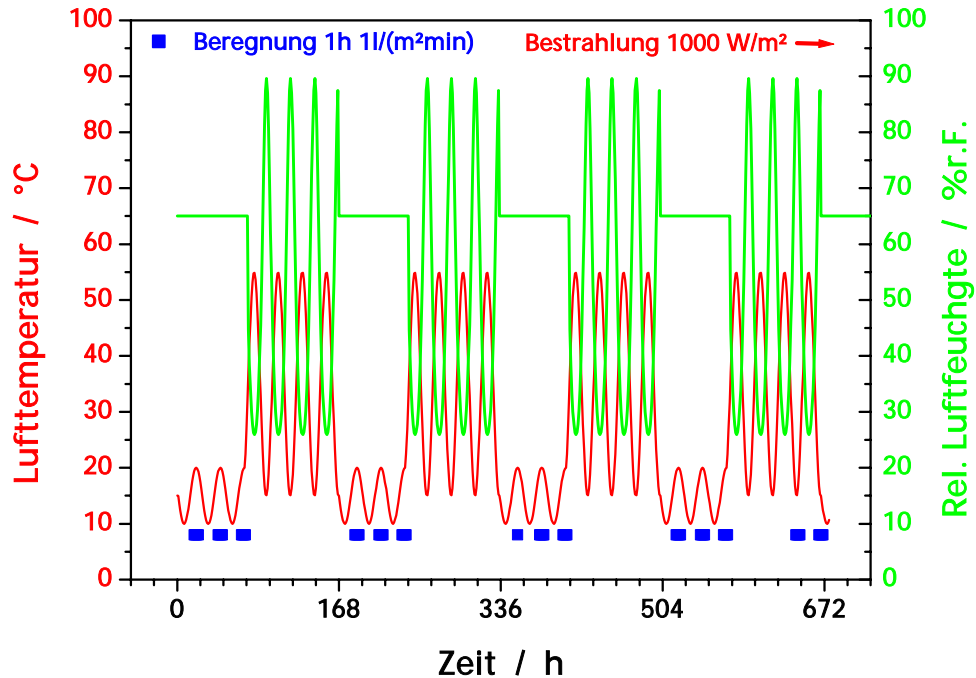


Abbildung 12: Klimamodell für orientierende Bewitterungssimulationen

Klima 2 für die Hauptversuche

Die Modellierung des Klimas für die künstliche Bewitterung sollte wie ursprünglich geplant so erfolgen, dass durch numerische Simulation mit Hilfe z.B. eines Testreferenzjahres die Beanspruchung der Holzkonstruktion ermittelt wird. Durch Überhöhungen und Straffungen sollte innerhalb von einer künstlichen Bewitterungsdauer von ca. 2 Monaten eine vergleichbare Beanspruchung realisiert werden. Die Berechnung des Feuchteverhaltens der Konstruktion mit der Vormauerschale und der dahinter liegenden Luftschicht stellte sich als nicht zufriedenstellend heraus. Besonders das Trocknungsverhalten der Vormauerschale erwies sich als überaus problematisch darstellbar. Da dieses Feuchteverhalten aber einen entscheidenden Einfluss auf das sich in der Luftschicht einstellende Klima und damit auch auf die Feuchtebeanspruchung der Holzkonstruktion hat, wurde das Klima für die künstliche Bewitterung nicht numerisch simuliert, sondern mit Hilfe bereits bestehender Klimamodelle entwickelt.

Bei der Wahl des Klimas für die Hauptversuche wurde berücksichtigt, dass ein zu scharfes Klima zu einem Versagen aller Konstruktionen führen, ein zu sanftes Klima eine mögliche Gefährdung nicht ausreichend darstellen würde. Daher wurde neben den Arbeiten von Schulze (1993) und Winter (2005) auch der Klimadatensatz von 1991 aus Holzkirchen zur Entwicklung eines geeigneten Klimas für die Prüfungen herangezogen. Das Klima aus der ETAG 004 und das sogenannte WKI-Klima zur Prüfung von Wärme-

dämmverbundsystemen wurde ebenso in die Betrachtung mit einbezogen, wobei diese Modelle eine für die in diesem Forschungsvorhaben erforderlichen Feuchtebeanspruchungen viel zu große Schlagregenmenge aufweisen. Jedoch erschien die Gesamtdauer der künstlichen Bewitterung von ca. 8 Wochen als geeignet. Neben einer angemessenen Schlagregenbeanspruchung musste eine Betauung der äußeren Bepflankungsoberfläche provoziert werden, die sich erfahrungsgemäß in den Übergangszeiten Herbst und Frühling bei größeren Temperaturschwankungen der Außenluft einstellt. Um möglichst alle relevant erscheinenden Klimaverhältnisse abzubilden, wurde der in Abbildung 13 dargestellte Klimaverlauf gewählt. Die Ergebnisse der Freilandbewitterungsversuche der MFPA Leipzig wurden dazu genutzt, das gewählte Klima mit in Freilandversuchen ermittelten Daten abzugleichen.

Es handelt sich bei dem gewählten Klima jeweils um 24-Stunden Zyklen, die jeweils sieben mal hintereinander gefahren werden. Von diesen als charakteristisch für die entsprechende Jahreszeit angesehenen Wochen wurden insgesamt acht, also zwei für jede Jahreszeit, gebildet. Die Maximal- und Minimalwerte von Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind vor allem an die Arbeiten von Prof. Winter und an das Testreferenzjahr von Holzkirchen angelehnt worden. Die Beregnungsdauer und somit auch die Schlagregenmenge ist vorrangig dem Klimadatensatz Holzkirchen entnommen worden und beträgt wie folgt:

Tabelle 8: Regenmenge während der Hauptversuche

Bewitterungswoche	Tag der Woche	Regenmenge
		[l/m ²]
1. Woche	1. Tag	15
	3. Tag	15
	4. Tag	7,5
	5. Tag	5
2. Woche	5. Tag	5
4. Woche	2. Tag	10
	3. Tag	10
5. Woche	2. Tag	10
	3. Tag	7,5
	4. Tag	2,5
	5. Tag	5
6. Woche	2. Tag	7,5
	Summe	100

über einen Zeitraum von 8 Wochen bzw. 56 Tagen

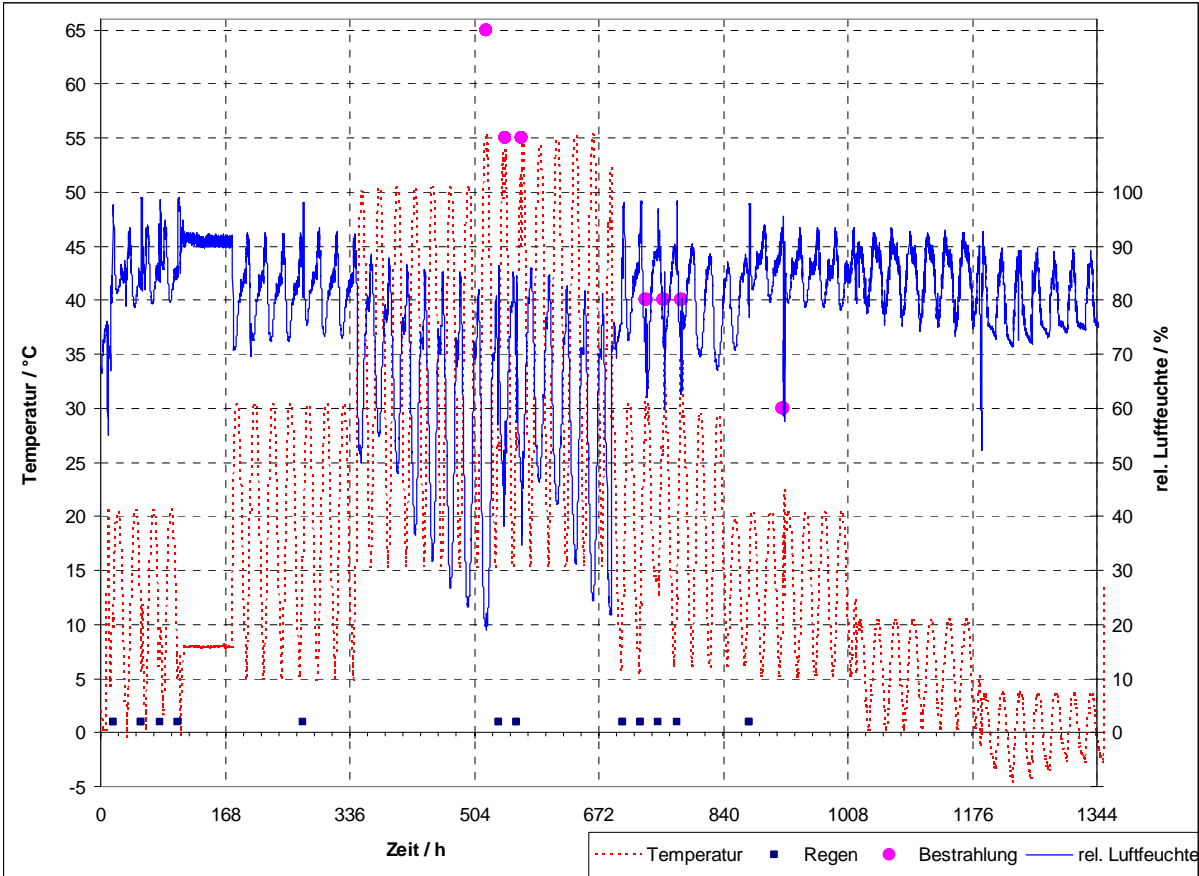


Abbildung 13: Testklima für die Hauptversuche

4.3.5 Ergebnisse der künstlichen Bewitterung

Ergebnisse der Vorversuche

Eines der wesentlichen Ergebnisse der Vorversuche ist in der Beobachtung einer schnellen Durchfeuchtung der Mauerwerkvorsatzschalen während der Beregnungen zu finden. So waren bei den Testwänden die Mörtelfugen bis zur Rückseite der Mauerwerkvorsatzschalen etwa nach 15 min durchfeuchtet und nach wenigen weiteren Minuten bildeten sich Tropfen oder Rinnsäle auf dem Mauerwerk (s. Abbildung 14). Nach insgesamt 30 min bis 40 min künstlicher Beregnung waren die Mörtelfugen vollständig durchnässt und die Mauerwerkziegel feuchteten sich im Bereich der Fugen ebenfalls deutlich sichtbar auf.



Abbildung 14: Durchfeuchtung der Mörtelfugen auf der Rückseite der Mauerwerkvorsatzschale in der Wand A

Ohne die Ergebnisse der künstlichen Bewitterung im Einzelnen vorzustellen, zeigt die Abbildung 15 die Strömungsgeschwindigkeiten in der Luftschicht der Wand A bei offenen oder geschlossenen Stoßfugen. Die Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit bei geschlossenen Stoßfugen ist deutlich zu erkennen. Die Abbildung 16 zeigt die Verläufe der Temperaturen und rel. Luftfeuchten in der Luftschicht der Wand A über den Bewitterungszeitraum. Auch hier stellen sich bei geschlossenen Stoßfugen erwartungsgemäß höhere, über eine längere Zeit andauernde rel. Luftfeuchten ein als bei offenen Stoßfugen. In der Abbildung 17 werden die rel. Luftfeuchten in den Luftschichten der Wände

A, B und C gegenübergestellt, um Effekte aus Mörtelbrücken oder aus einem Ersatz der Mauerwerkvorsatzschale durch eine Acrylscheibe beurteilen zu können. Während bei den Wänden A und B am Wandfuß keine deutlichen Unterschiede gemessen wurden, nehmen die Luftfeuchtedifferenzen zur Wandmitte und zum Wandfuß hin zu. Hierbei ist nicht auszuschließen, dass die Ursache hierfür in einer direkten Befeuchtung der Sensoren in der Wand A durch von den Mörtelbrücken abtropfendes Wasser zu finden ist. Dem Verlauf der rel. Luftfeuchte in der Luftschicht der Wand C ist eindeutig zu entnehmen, dass sich bei variierten Strömungsverhältnissen hinter einer Acrylscheibe nicht die Zustände in der Luftschicht einstellen wie hinter einer Mauerwerkvorsatzschale. In den folgenden künstlichen Bewitterungen darf nicht auf eine Mauerwerkvorsatzschale verzichtet werden, da zwar ein entsprechendes Klima auf der Kaltseite der Doppelklimaanlage regelbar wäre, aber nicht mit den sehr geringen Luftströmungsgeschwindigkeiten, die hinter einer Mauerwerkvorsatzschale vorhanden sind.

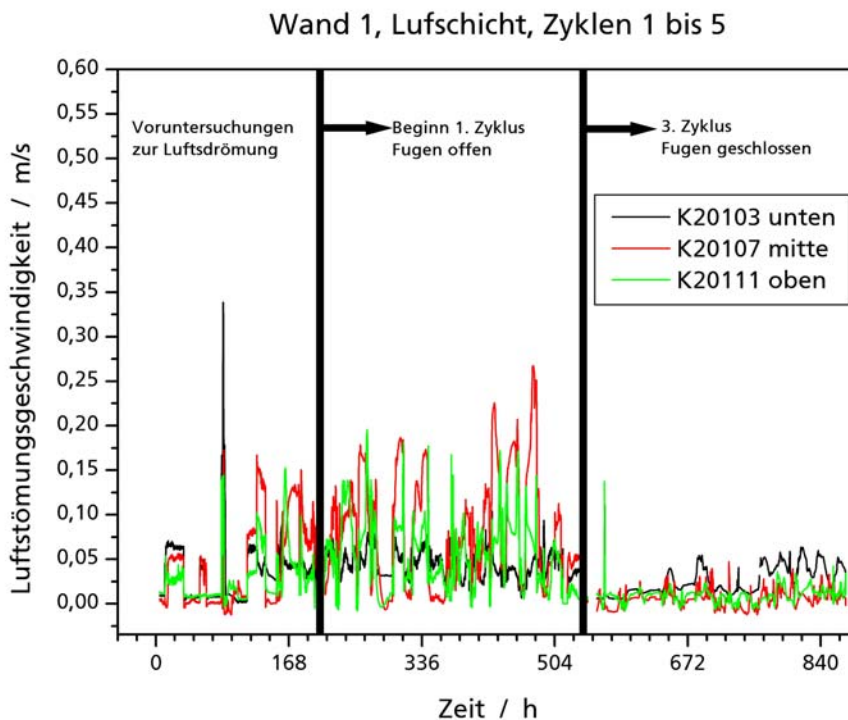


Abbildung 15: Strömungsgeschwindigkeiten in der Luftschicht der Wand 1 bei offenen oder geschlossenen Stoßfugen

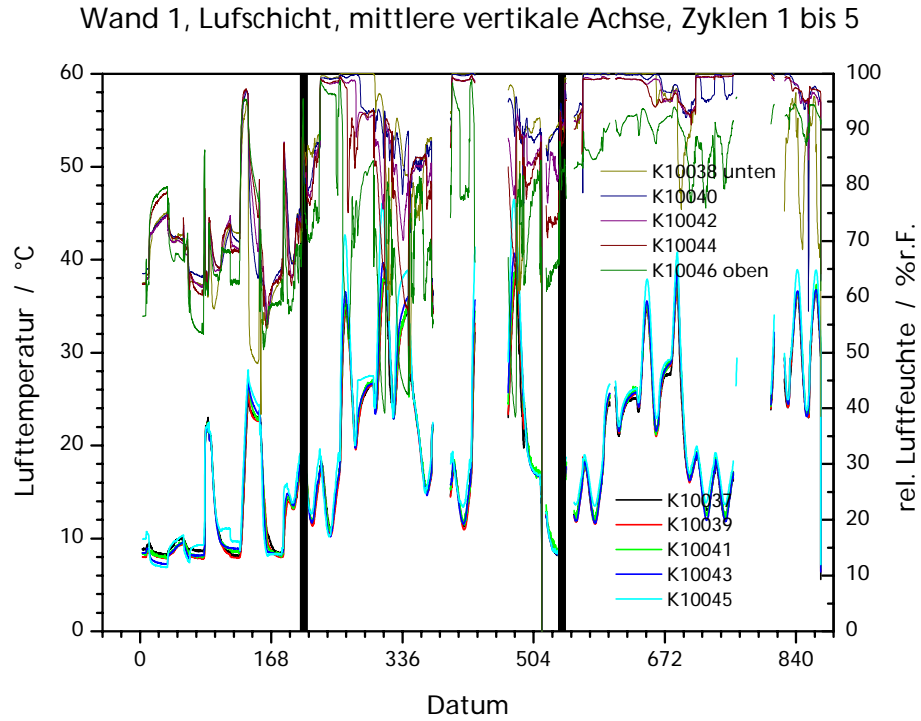


Abbildung 16: Verläufe der Temperaturen und rel. Luftfeuchten in der Luftschicht der Wand A in der mittleren vertikalen Achse

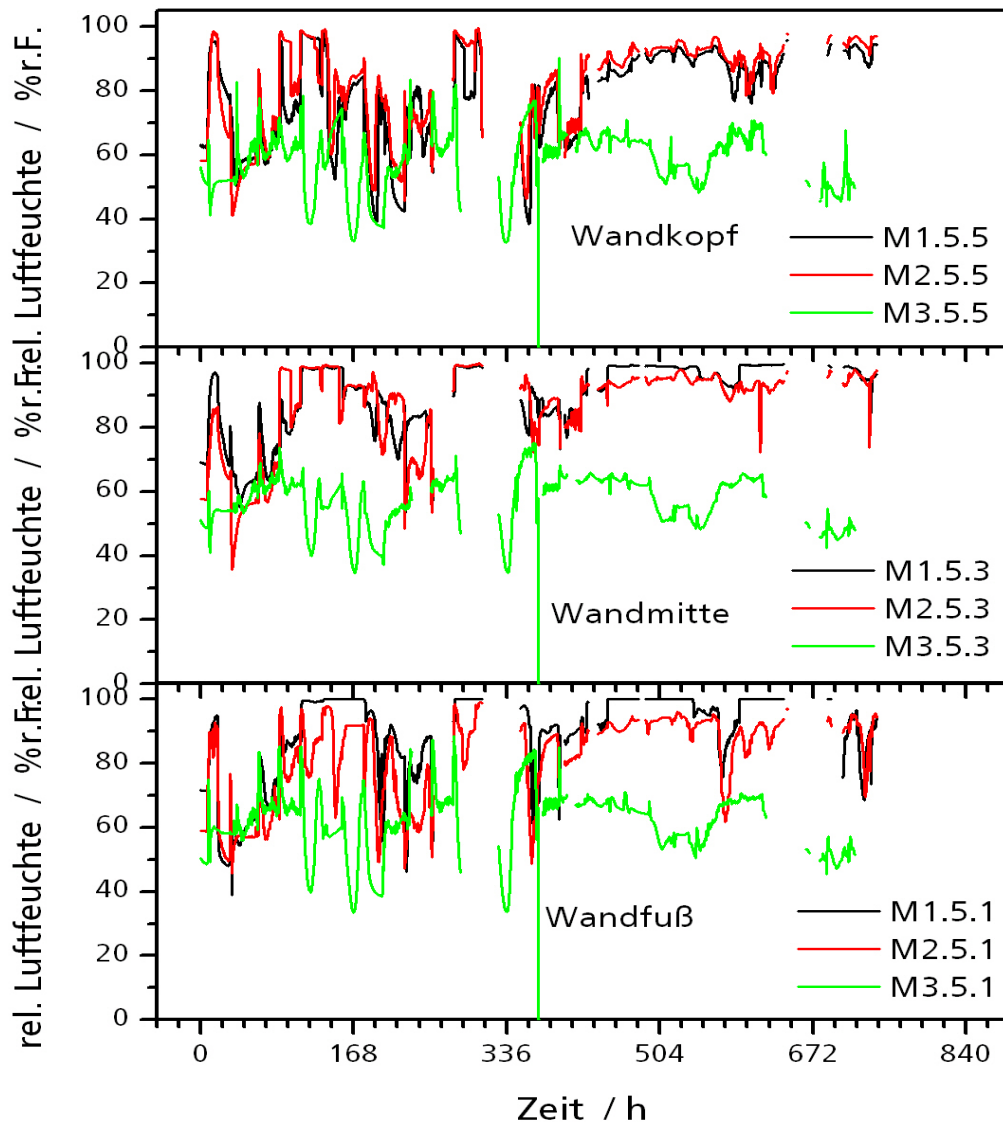


Abbildung 17: Rel. Luftfeuchten in den Luftschichten der Wände A, B und C

Abschließend zu den Messungen während der orientierenden Bewitterungssimulationen enthält die Abbildung 18 die aufgezeichneten Spannungsverläufe zwischen den Metallstreifen auf den Wänden A und C. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Betauungssensoren auf der Oberfläche der bautechnischen MDF in der Wand A mit Spannungsänderungen reagieren. Auch die Häufigkeit der Betauung bei offenen oder geschlossenen Stoßfugen ist unterscheidbar. Es ist ebenso deutlich zu erkennen, dass die Sensoren auf

der MDF in der Wand C, vor der eine Acrylglasplatte montiert war, nicht reagieren. Dies korreliert auch mit den Messungen der rel. Luftfeuchten in der Luftschicht der Wand C, die deutlich geringer als in den Wänden A und B waren. Dies belegt auch, dass es nicht möglich ist, in den Wandmodellen bei Bewitterungssimulationen auf eine Mauerwerkvorsatzschale zu verzichten. Bei einer Beregnung und Erwärmung der Luftschicht stellen sich nur bei einer Originalnachbildung die entsprechenden Zustandsgrößen in der Luftschicht ein.

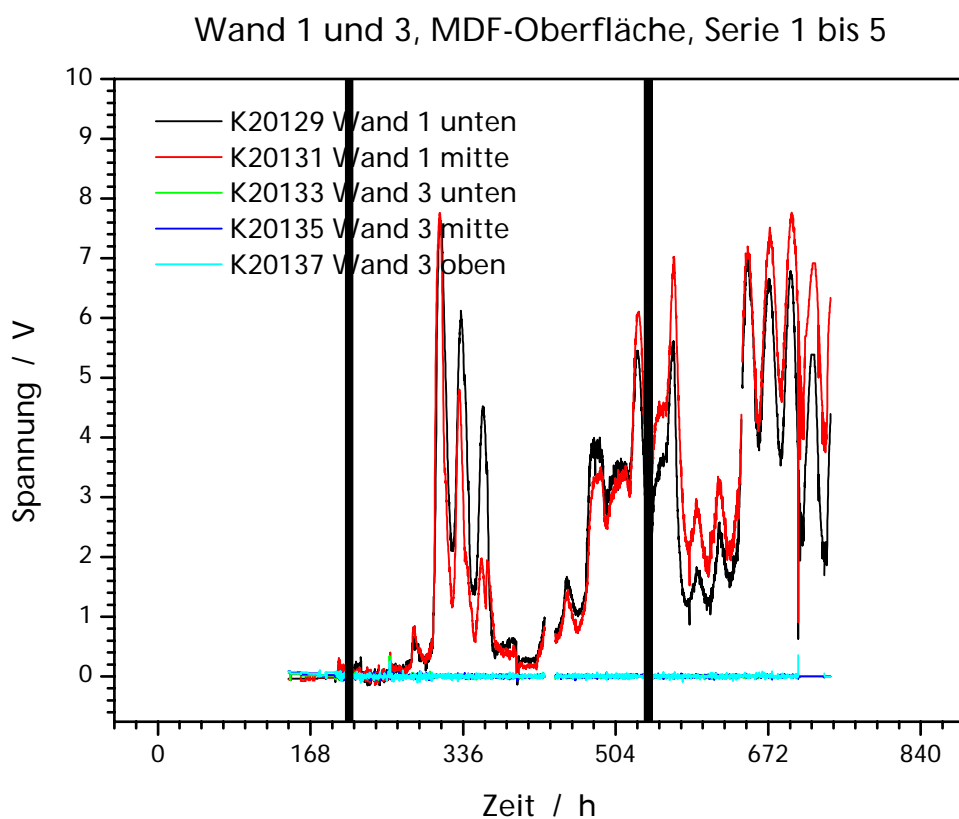


Abbildung 18: Spannungsverläufe zwischen den Metallstreifen zur Bautauungsmessung auf den Wänden 1 und 3

Zusammengefasst zeigten die Ergebnisse aus den Vorversuchen, dass mit künstlichen Bewitterungen einer Holztafelwand mit einer Mauerwerkvorsatzschale in der Doppelklimaanlage die gleichen Wirkungen erzeugt werden, die auch in der Realität zu beobachten sind. Bei der Herstellung der Prüfwände darf nicht auf eine Mauerwerkvorsatzschale verzichtet werden, da sich anderenfalls nicht die Zustandsgrößen und Strömungsgeschwindigkeiten vor der Außenbeplankung einstellen. Die Art der Belüftung beeinflusst eher die Zustandsgrößen und Strömungsgeschwindigkeiten in der Luftschicht als das Vorhandensein von Mörtelbrücken. Mörtelbrücken können dazu führen, dass Aufweich-

tungen durch Berechnungen in flüssiger Form bis an die Oberfläche der Außenbeplanung gelangen kann.

Ergebnisse der Hauptversuche

Temperatur und Luftfeuchte im Luftspalt

Während der künstlichen Bewitterung wurden die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Luftspalt an jeder Wand im oberen und unteren Drittelpunkt aufgezeichnet. Bei Wand 6 befand sich der Fühler zwischen der Folie als wasserableitende Schicht und der Spanplatte. Dadurch entsteht zwischen der wasserableitenden Schicht und der Spanplatte ein ca. 2 cm breiter Luftspalt, der in der Realität üblicherweise nicht auftritt.

Abbildung 19 zeigt den über alle Messfühler der Wände 1 bis 5 gemittelten Verlauf für den Versuchszeitraum, sowie vergleichend dazu die Daten des Fühlers von Wand 6 hinter der Folie als wasserableitende Schicht. Deutlich zeigt sich hier der Einfluss der Folie als Schutz vor der teilweise sehr hohen relativen Luftfeuchtigkeit in der Luftschicht zwischen Mauerwerkvorsatzschale und Holzkonstruktion. Die Werte der Temperaturfühler sind alle auf vergleichbarem Niveau, teilweise liegen die Kurven direkt übereinander. Hingegen sind die Werte der Feuchtigkeitsfühler von Wand 6 erwartungsgemäß durchgehend auf einem um ca. 15 Prozentpunkte niedrigerem Niveau, als die der anderen fünf Wände. Hier zeigt sich deutlich die Wirksamkeit der wasserableitenden Schicht als Schutz für die Holzkonstruktion vor höherer Luftfeuchtigkeit.

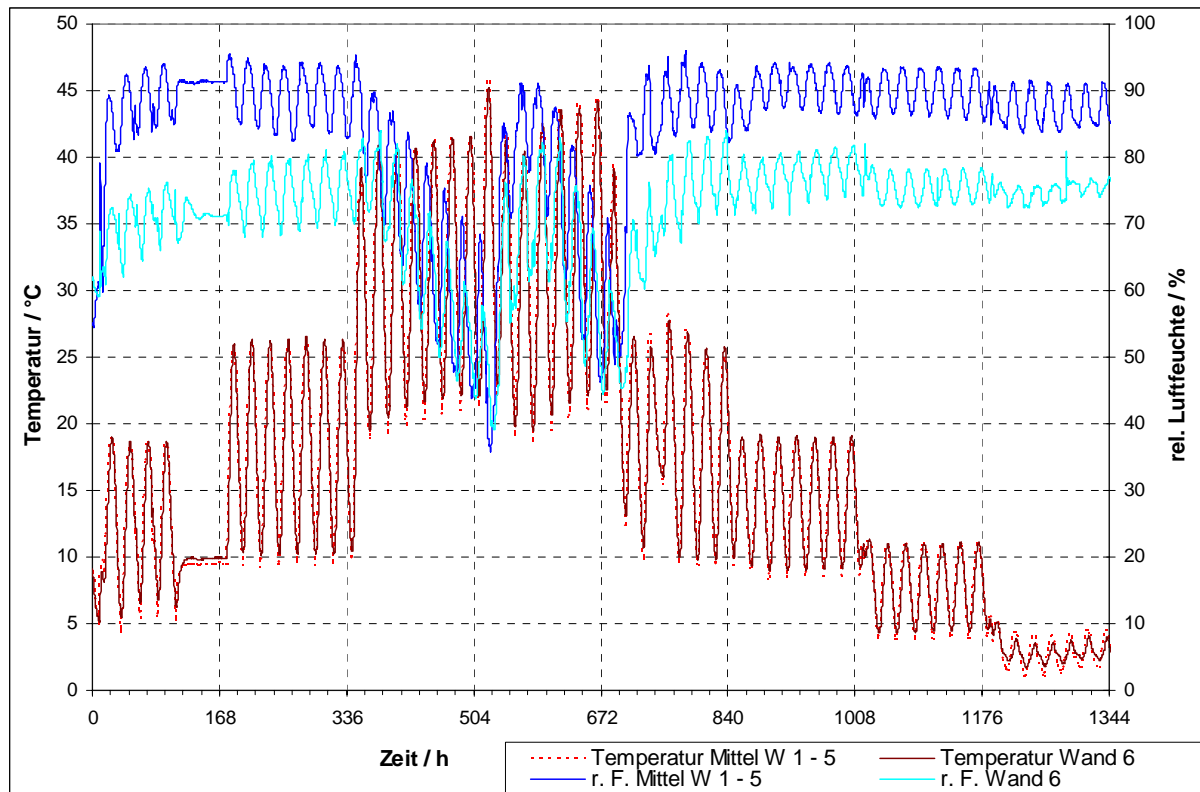


Abbildung 19: Temperatur und Luftfeuchte über den Versuchszeitraum im Luftspalt gemittelt über die Wände 1 bis 5 sowie vergleichend dazu die Werte zwischen der wasserableitenden Schicht und der Spanplatte von Wand 6

Abbildung 20 zeigt den Klimaverlauf im oberen Bereich des Luftspaltes und den des unteren Bereiches vor Wand 3 in der siebten Bewitterungswoche exemplarisch für alle Wände. Deutlich ist hierbei zu erkennen, dass sich sowohl bei der Temperatur, als auch bei der Luftfeuchtigkeit Differenzen in den Messwerten zwischen oben und unten einstellen. Die Höhe der Differenzen ist vor allem abhängig von der Außentemperatur und den Temperaturschwankungen innerhalb eines Tagesverlaufs.

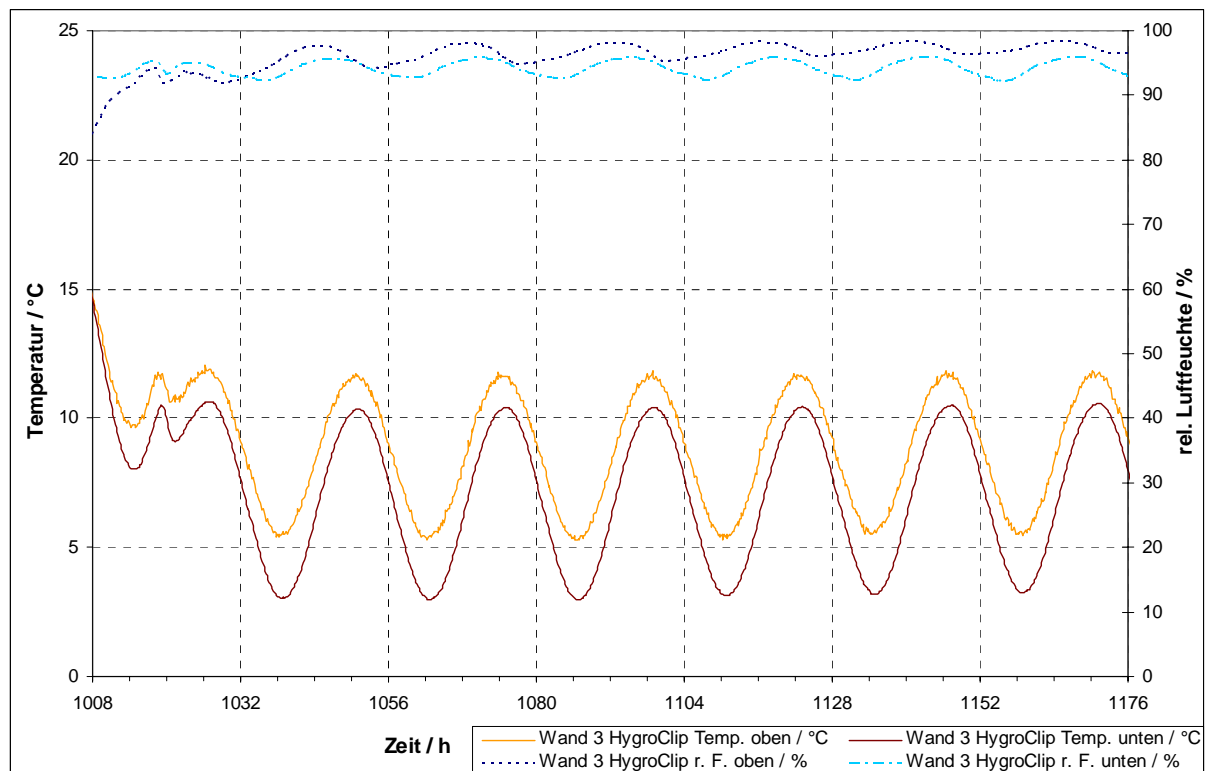


Abbildung 20: Klimaverlauf im oberen Bereich des Luftspaltes und den des unteren Bereiches vor Wand 3 in der siebten Bewitterungswoche

Luftströmung im Luftspalt

Um in der Klimakammer an möglichst allen Stellen ein weitestgehend gleiches Klima zu haben, wird die Luft in der Klimakammer verwirbelt. Die Be- und Entlüftungsöffnungen der Mauerwerkvorsatzschale werden dabei leider nicht alle gleichmäßig angeströmt. Dies erklärt, warum in den einzelnen Wandabschnitten unterschiedlich hohe Luftströmungen gemessen worden sind. Abbildung 21 zeigt vergleichend die gemessenen Luftströmungen exemplarisch für Wand 1 und Wand 5 in der sechsten Bewitterungswoche. Während bei Wand 1 Luftströmungen zwischen ca. 0,04 m/s und 0,09 m/s gemessen wurden, stellen sich bei Wand 5 Werte zwischen ca. 0,1 m/s und 0,2 m/s ein. Bei den an der MFPA Leipzig durchgeführten Untersuchungen in der Freibewitterung sind Werte der Luftgeschwindigkeit zwischen ca. 0,05 m/s und ca. 0,3 m/s hinter optimal belüfteten Mauerwerkvorsatzschalen an der Süd-West Seite ermittelt worden und bewegen sich somit in einer vergleichbaren Größenordnung.

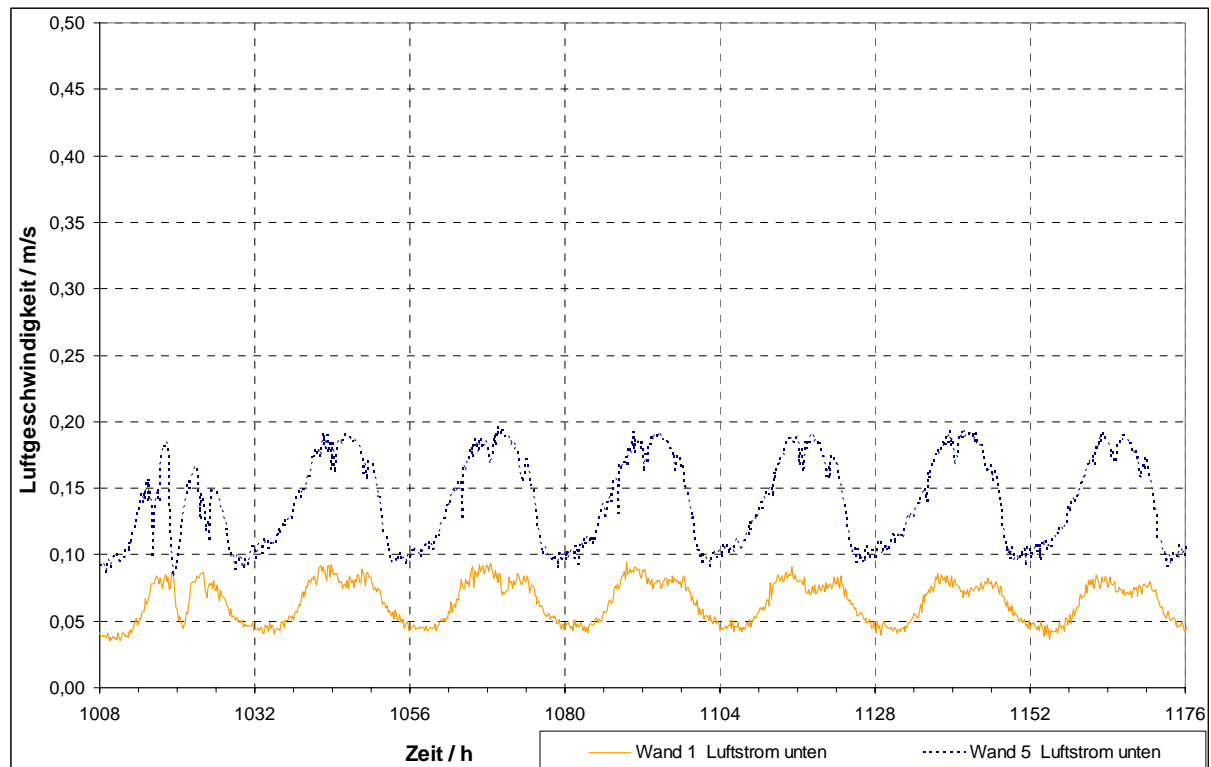


Abbildung 21: Gemessene Luftströmungen von Wand 1 und Wand 5 in der sechsten Bewitterungswoche

Im Anschluss an die eigentlichen Hauptversuche wurden die Lüftungsschlitze in der Mauerwerkvorsatzschale verschlossen, um zu untersuchen, ob und in welcher Größenordnung diese Lüftungsöffnungen Einfluss auf die Luftbewegung im Luftspalt haben. Bei planmäßig geschlossenen Be- und Entlüftungsöffnungen sind sowohl die tatsächlichen Werte der Luftgeschwindigkeit kleiner als bei geöffneten Lüftungsschlitzen. Es werden aber auch die gemessenen Differenzen zwischen den Luftströmungen der einzelnen Wandabschnitte nicht mehr so groß. Abbildung 22 zeigt die Messwerte von Wand 1 im Vergleich zu den Messwerten von Wand 5 jeweils drei Tageszyklen vor und nach dem Verschließen der Lüftungsschlitze. Es sind deutlich die niedrigeren Werte zu erkennen. Es konnten aber noch Strömungen gemessen werden. Dies lässt sich durch die unterschiedlichen Temperaturen im Wandabschnitt zwischen oben und unten erklären. Die 4 cm dicke Luftschicht ist, wie zu erwarten war, keine stehende Luftschicht.

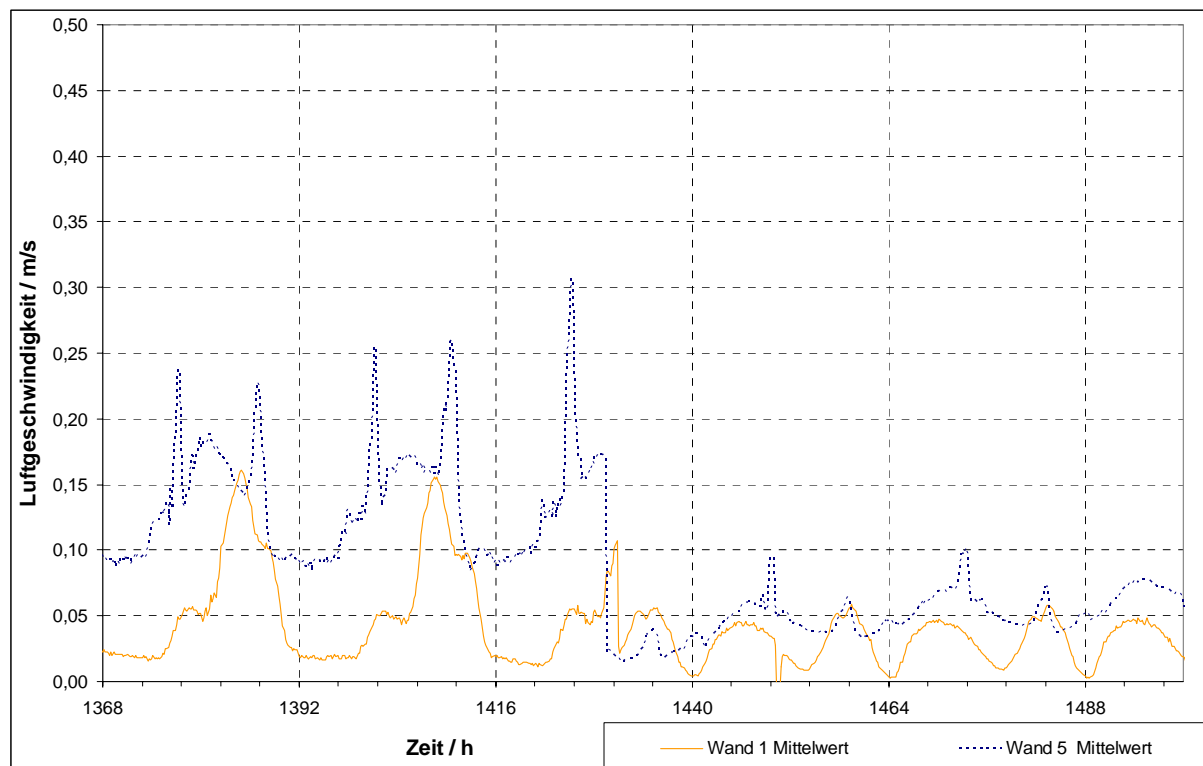


Abbildung 22: Messwerte der Luftströmungen von Wand 1 im Vergleich zu den Messwerten von Wand 5 jeweils drei Tageszyklen vor und nach dem Verschließen der Lüftungsschlitze

Gravimetrische Messstellen

Bei allen Wänden mit diffusionsoffener äußerer Beplankung erhöhte sich die Materialfeuchte der Dämmung in den Sommermonaten infolge der sogenannten Umkehrdiffusion. Dabei lassen sich auch erwartungsgemäß Unterschiede zwischen den einzelnen Dämmmaterialien feststellen. Aufgrund der höheren Rohdichte sind bei den Holzfaserdämmungen auch niedrigere Materialfeuchten im Vergleich zur mineralischen Faserdämmung ermittelt worden. Der im Vergleich zu den leichteren Dämmstoffen höhere μ -Wert der schweren Holzfaserdämmung sowie die hohe Rohdichte werden dazu beigetragen haben, dass sich die schwere Holzfaserdämmung am wenigsten auffeuchtet. Die äußeren Beplankungen feuchten sich infolge der hohen relativen Luftfeuchtigkeit in den Sommermonaten und infolge der Kondenswasserbildung in den Übergangszeiten auf. Dabei wurden bei den Beplankungen mit höherer Rohdichte um ca. 600 kg/m^3 mit ca. 16 M.-% bis 18 M.-% niedrigere Holzfeuchten ermittelt als bei den Holzfaserdämmplatten mit Rohdichten um ca. 230 kg/m^3 . Diese wiesen Feuchtigkeiten je nach Lage der Messstelle von bis zu über 22 M.-% auf. Abbildung 23 zeigt exemplarisch den Feuchtegehalt der Dämmung und Beplankung von Wand 6 mit der wasserableitenden Schicht über den Versuchszeitraum. Vergleichend dazu kann Abbildung 24 herangezogen werden in der der Feuchteverlauf der Dämmung und Beplankung von Wand 3 mit der sehr diffusionsoffenen Beplankung dargestellt ist. Deutlich ist hier die Auffeuchtung der

Mineralfaserdämmung in den Sommermonaten infolge Umkehrdiffusion zu erkennen. Wand 2 mit ähnlich diffusionsoffener Beplankung wie Wand 3, jedoch mit schwerer Holzfaserdämmung und nicht mit Mineralfaserdämmung zeigt im Materialfeuchteverlauf der Dämmung wesentlich ausgeglichene Werte als bei Wand 3 (Abbildung 25).

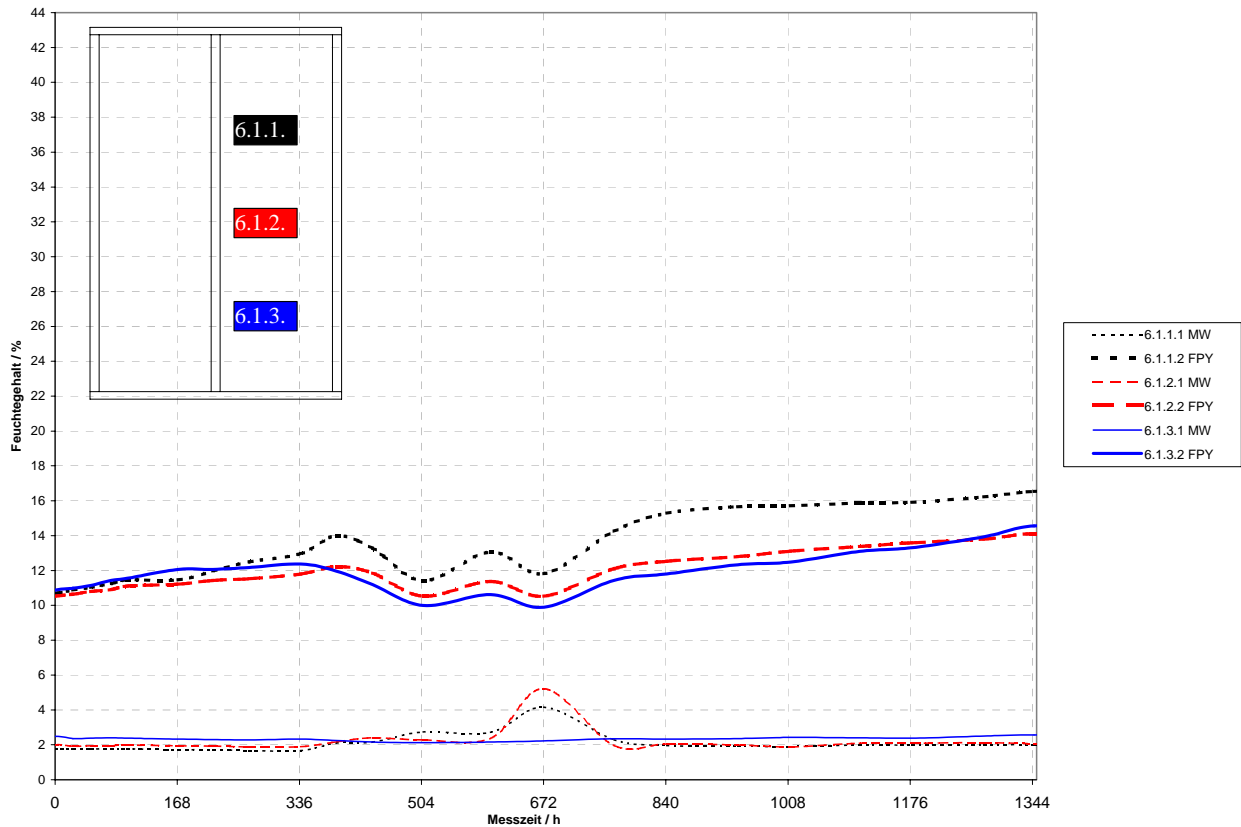


Abbildung 23: Feuchtegehalt der Dämmung und Beplankung von Wand 6 über den Versuchszeitraum

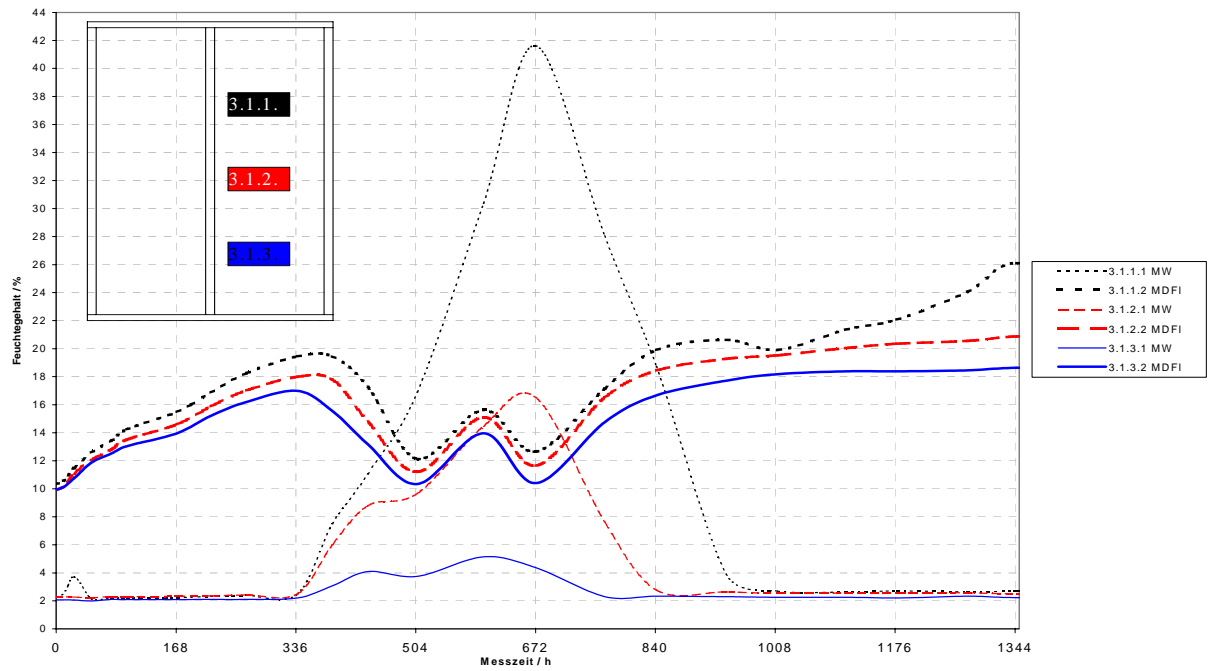


Abbildung 24: Feuchtegehalt der Dämmung und Beplankung von Wand 3 über den Versuchszeitraum

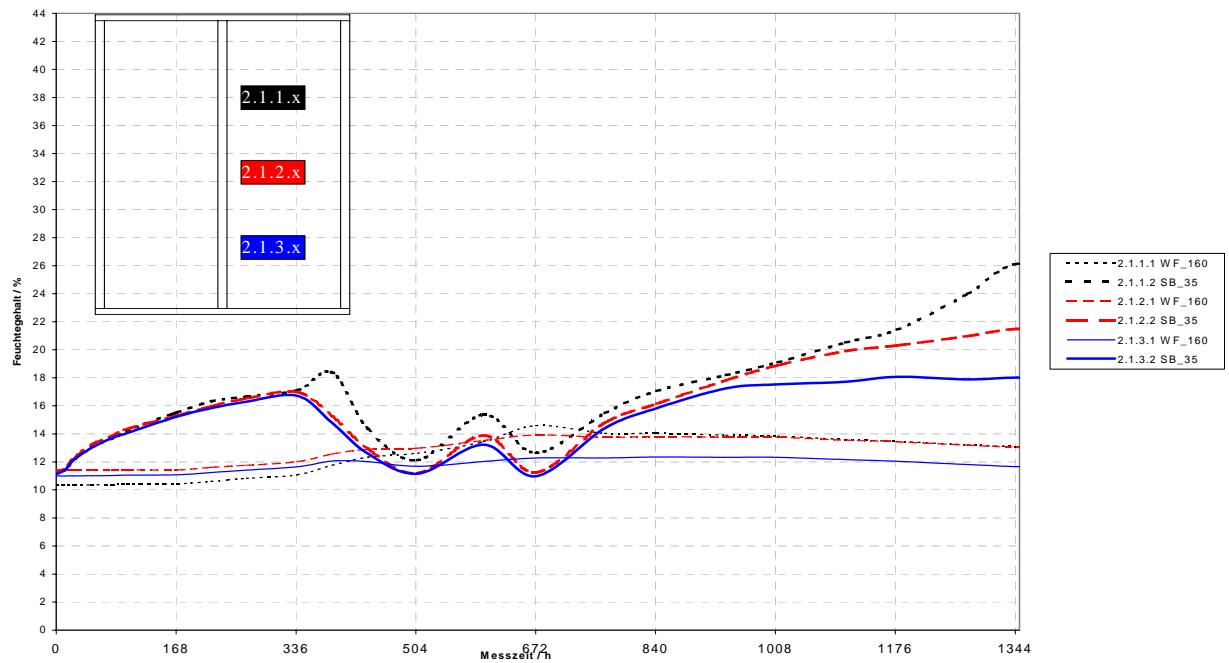


Abbildung 25: Feuchtegehalt der Dämmung und Beplankung von Wand 2 über den Versuchszeitraum

Betauungssensoren

Abbildung 26 zeigt exemplarisch an Wand 5 einen Vergleich der Messwerte der Oberflächensensoren und binären Betauungssensoren. Es ist dort eine recht gute Übereinstimmung zu erkennen. Wenn der Wert der Oberflächensensoren ca. 5 übersteigt, dann melden die binären Sensoren Betauung (der Wert „1“ wird angezeigt, wenn keine Betauung stattfindet).

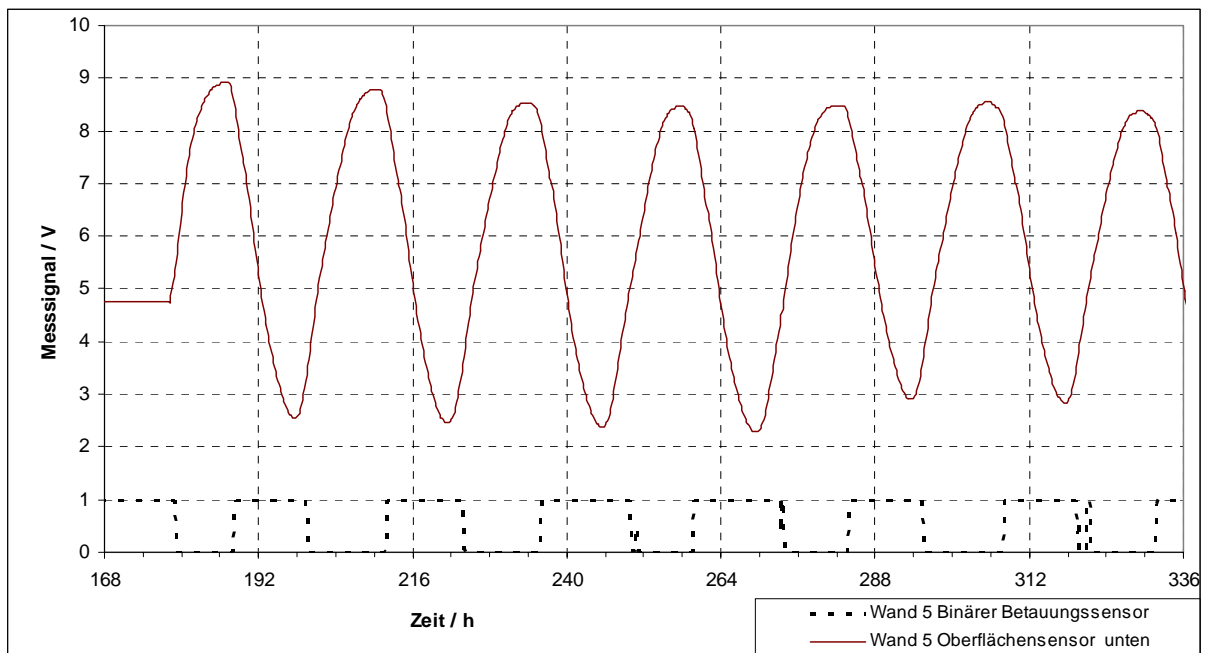


Abbildung 26: Vergleich der Oberflächensensoren mit den binären Betauungssensoren in der zweiten Bewitterungswoche an Wand 5

Abbildung 27 zeigt den Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit im Luftspalt (gestrichelte Linie) und in der Klimakammer, sowie das Messsignal des binären Betauungssensors auf der Außenbeplankung von Wand 3 am 1. Tag in der dritten Bewitterungswoche. Der binäre Betauungssensor sendet ein Signal, wenn er nicht betaut ist. Deutlich ist hier zu erkennen, dass sich Betauung bildet, wenn die Lufttemperaturen nach einer deutlichen (nächtlichen) Abkühlung durch z.B. Sonneneinstrahlung wieder ansteigen. Während die Luftfeuchtigkeit außen in der Klimakammer deutlich absinkt, steigt sie im Luftspalt noch weiter an und führt somit zur Betauung der Plattenoberfläche. Die binären Betauungssensoren melden ein Betauungssignal über ca. 10 Stunden.

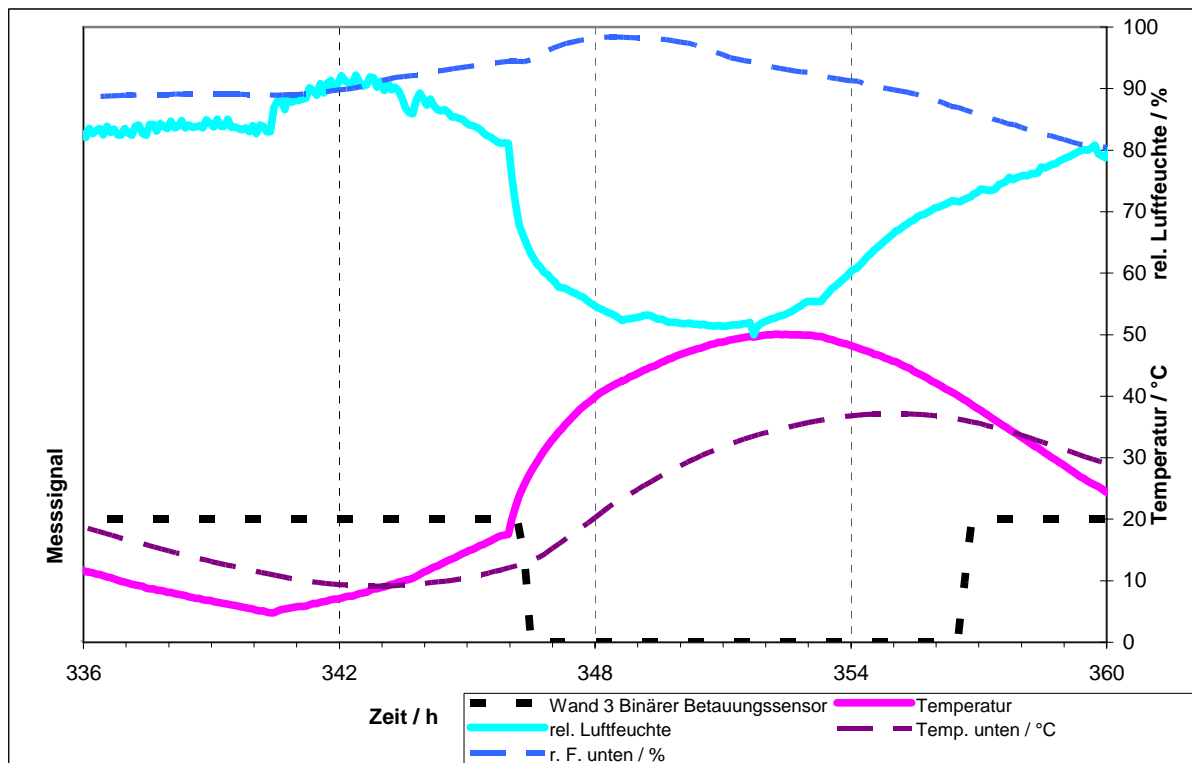


Abbildung 27: Verlauf der Messwerte Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Luftspalt (gestrichelte Linie) und in der Klimakammer, sowie das Messsignal des binären Betauungssensors auf der Außenbeplankung von Wand 3 am 1.Tag in der dritten Bewitterungswoche

Abbildung 28 zeigt die Betauung, gemessen mit den binären Betauungssensoren, für die Wände 2, 3 und 5 über den Versuchszeitraum. Wand 2 war die Wand mit der schweren Holzfaserdämmung und einer 35 mm dicken Holzfaserdämmplatte als äußere Beplankung. Sie wies somit mit großem Abstand die höchste Masse und das größte Wärmespeichervermögen auf. Wand 3 war mit Mineralfaserdämmung versehen und hatte eine mit Wand 2 vergleichbare Beplankung. Es zeigt sich bei Wand 3 eine häufigere und längere Betauung als bei Wand 2. Wand 5 hat eine ungeschliffene OSB als Beplankung aber die gleiche Mineralfaserdämmung wie Wand 3. Die OSB kann durch ihre ungeschliffene Oberfläche und den relativ hohen s_d -Wert wenig regulierend auf die Luftfeuchtigkeit im Bereich der Grenzschiicht Beplankung – Luft wirken. Die Wand betaugt am häufigsten und am längsten. Exemplarisch sind die Messwerte der Thermoelemente auf der Außenseite der äußeren Beplankung der Wände 2, 3 und 5 für die vierte Bewitterungswoche in Abbildung 29 graphisch dargestellt. Trotz vergleichbarer Oberflächentemperaturen (Abbildung 29) betaugt Wand 5, die Wände 2 und 3 hingegen nicht (Abbildung 28).

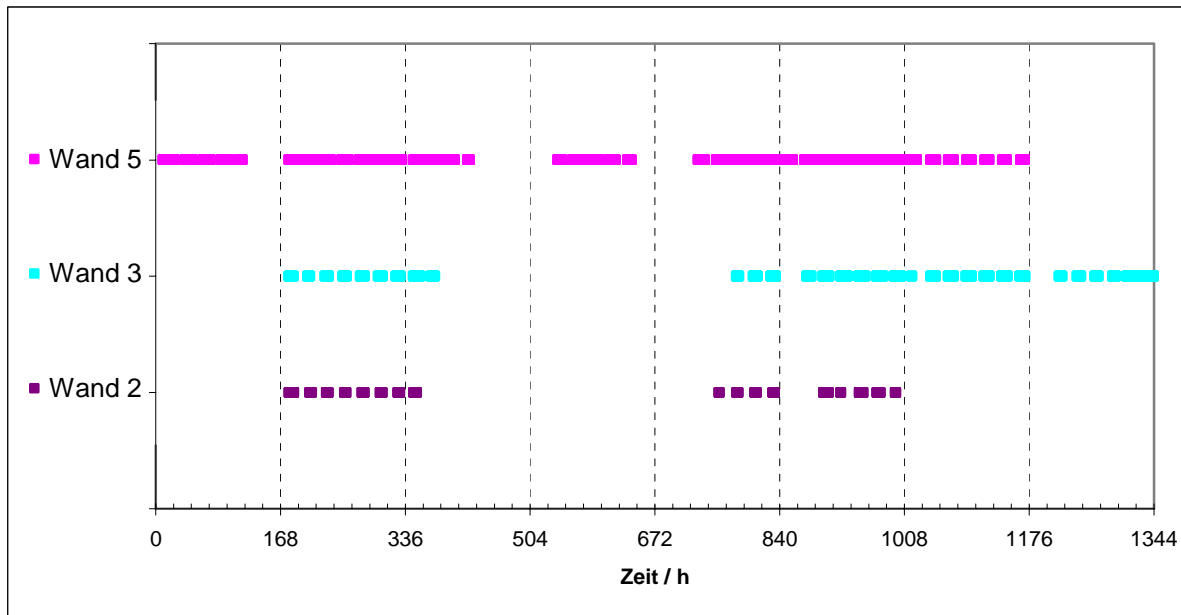


Abbildung 28: Betauung der Wände 2, 3 und 5 über den Versuchszeitraum

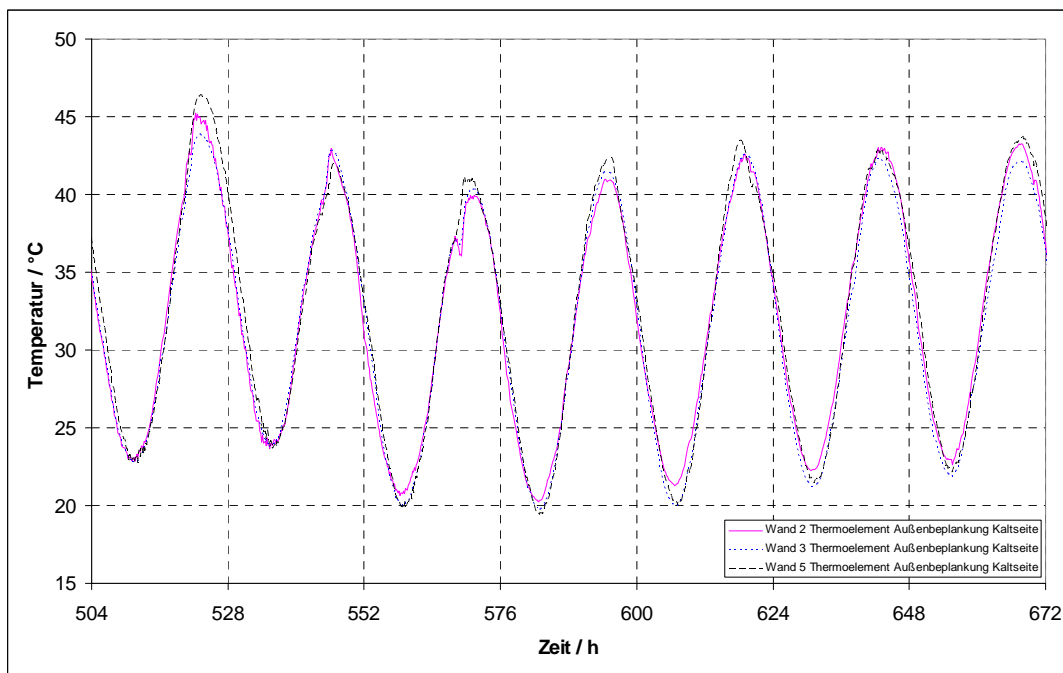


Abbildung 29: Messwerte der Thermoelemente auf der Außenseite der äußeren Beplankung der Wände 2, 3 und 5 für die vierte Bewitterungswoche

Abbildung 30 zeigt ein Foto der betauten Außenbeplankung von Wand 2 exemplarisch für die Wände 1 bis 5. Durch die Hydrophobierung der Platten werden die Wassertropfen nicht aufgesogen sondern verbleiben auf der Plattenoberfläche. Die relativ geringen Luftströmungen im Luftspalt sorgen zusätzlich dafür, dass die Feuchtigkeit nur sehr langsam abgetragen wird. Die Kondensatbildung und die Verweildauer des Kondensats sind auf den anderen Wänden 1 bis 5 prinzipiell vergleichbar, jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Der Kreis in der Mitte der Abbildung 30 ist eine gravimetrische Dauerermesstelle. Auf dem Plattenstück der gravimetrischen Dauerermesstelle sind keine Kondensatropfen zu erkennen, weil dieses Stück regelmäßig entnommen wurde und die Tropfen dabei abfallen. Besonders diese Kondensatbildung erscheint maßgeblich verantwortlich für eine Schimmelpilzbildung.



Abbildung 30: Kondenswasserbildung auf der Außenbeplankung von Wand 2 exemplarisch für die Wände 1 bis 5

Visuelle Kontrollen hinsichtlich Schimmelpilze

Auf allen Wänden, die mit keiner wasserableitenden Schicht versehen waren, konnten zum Ende der künstlichen Bewitterung Schimmelpilze ohne optische Hilfsmittel festgestellt werden. Allein Wand 6, die mit der wasserableitenden Schicht versehen war, war bis zum Ende der künstlichen Bewitterung frei von Schimmelpilzen. Selbst unter dem Mikroskop war keine Mycelbildung ersichtlich. Tabelle 9 gibt eine Übersicht der visuellen Kontrollen.

Tabelle 9: Ergebnisse der visuellen Kontrolle hinsichtlich Schimmelwachstum

Bewitterungs- woche	visuelle Kontrolle		Schimmel ja/nein	Bemerkungen
	makros- kopisch	mikros- kopisch		
1 - 3	ja	ja	nein	
4				
5			teilweise	Mycelbildung auf den Wänden 4 und 5
6			ja, außer Wand 6	Mycelbildung auf den Wänden 1 bis 5
7				
8				Makroskopisch gut sichtbarer Schimmel auf den Wänden 1 bis 5

4.4 Zusätzliche numerische Simulation des Feuchteverhaltens nach erfolgreicher Validierung der Klimasimulationsmodelle

4.4.1 Validierung der numerischen Simulation

Die in den Hauptversuchen untersuchten Testwände wurden mit Hilfe des Programms TUN nachgerechnet. Wenn das gemessene Klima im Luftspalt zur Berechnung der Materialfeuchte der Holzkonstruktion herangezogen wird, so kann eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen mit den errechneten Werten erzielt werden. Soll aber mit dem Klima der Klimakammern zusätzlich auch das Klima im Luftspalt und die Materialfeuchte der Mauerwerkvorsatzschale ermittelt werden, so treten große Differenzen zwischen den gemessenen und den errechneten Werten des Klimas im Luftspalt auf. Diese Differenzen ließen sich zum Projektende nicht auf ein hinnehmbares Maß verringern. Vor allem durch die Öffnungen in der Mauerwerkvorsatzschale und wahrscheinlich auch durch die un stetigen Luftströmungen im Luftspalt ließen sich mit den zur Verfügung stehenden Mitteln während der Projektlaufzeit keine besser übereinstimmenden Ergebnisse realisieren. Da aber das Klima in den Klimakammern als Referenzklima für die Prüfung von wasserableitenden Schichten in Verbindung mit Mauerwerkvorsatzschalen entwickelt wurde, ließ sich das Projekt auch ohne die Möglichkeit der numerischen Simulation der Mauerwerkvorsatzschale ohne Abstriche verwirklichen. Abbildung 31 zeigt exemplarisch die errechneten und gemessenen Werte der Materialfeuchte der Dämmung und der äußeren Beplankung von Wand 3 über den Versuchszeitraum. Während die berechneten und gemessenen Werte der Beplankung sehr gut übereinstimmen, klaffen die Werte für die Dämmung etwas weiter auseinander. Dies ist aber vor allem darauf zurück zu führen, dass sich bei der Mineralfaserdämmung durch die sogenannte Umkehrdiffusion tropfbares Wasser angesammelt hat. Dies ist sowohl messtechnisch, als auch in der Simulation nur sehr schwer zu erfassen.

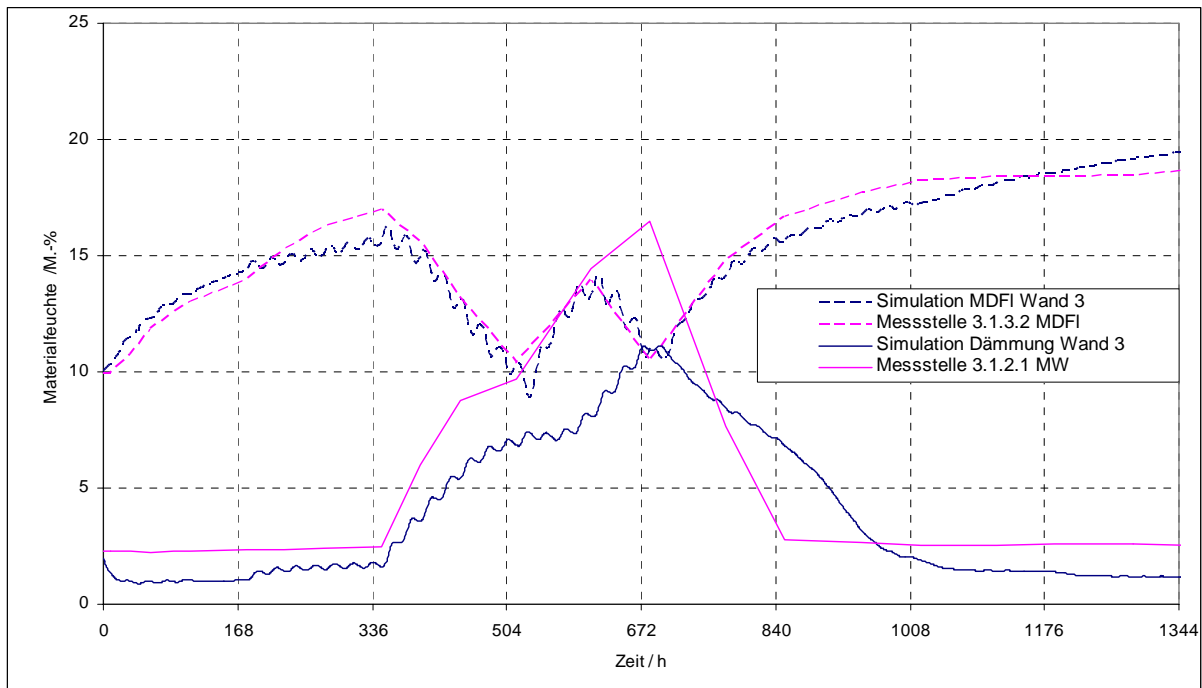


Abbildung 31: Errechnete und gemessene Werte der Materialfeuchte der Dämmung und der äußeren Beplankung von Wand 3 über den Versuchszeitraum

4.4.2 Beschreibung der zusätzlichen Konstruktionsvarianten für die numerische Simulation

Die in Tabelle 10 aufgeführten Varianten wurden mit Hilfe der numerischen Simulation untersucht. Dabei sollten vor allem die Einflüsse der Dampfsperre und des s_d -Wertes der wasserableitenden Schicht untersucht werden. Bei Wand 3 wurde zusätzlich noch die Dämmung von Mineralfaserdämmung in eine schwere Holzfaserdämmung geändert. Der Unterschied von Wand 2 zu Wand 2a liegt darin, dass bei Wand 2a die PE-Folie als Dampfsperre nicht mitberechnet worden ist. Somit ist nur noch die OSB als angenommene Dampfbremse vorhanden. Mit Wand 3 wurde eine Variante gewählt, die eine relativ diffusionsoffene äußere Beplankung und eine Mineralfaserdämmung hat. Da sich im Versuch die Dämmung sehr stark aufweicht, sollte hier der Einfluss der Dampfsperre und der Dämmung untersucht werden. Bei den Wänden 6a bis 6c wurde ausschließlich der s_d -Wert der wasserableitenden Schicht verändert.

Tabelle 10: Bauteilquerschnitte für die numerische Simulation

		Klima 2					
		Wand 2a	Wand 3a	Wand 3b	Wand 6a	Wand 6b	Wand 6c
Vor-mauer-schale	KS	mit Mörtelbrücken					
		ohne Mörtelbrücken					
	„Acrylglas“						
	VMz alle ohne Mörtelbrücken		x	x	x	x	x
äußere Beplanung	FPY + Folie					x 200 m	x 0,2 m
	OSB						
	MDF						
	MDFI			x	x		
	SB35		X				
	SB18						
Dämmung	MW			x		x	x
	WF160		x		x		
	WF60						
Dampfsperre	mit				x	x	x
	ohne		x	x			

4.4.3 Ergebnisse der zusätzlich durchgeführten numerischen Simulationen

In Abbildung 32 ist der errechnete Verlauf der Materialfeuchte der Wände 2 und 2a vergleichend dargestellt. Bei Wand 2a mit fehlender Dampfsperre werden durchweg niedrigere Werte errechnet, als bei Wand 2 mit Dampfsperre. Der Feuchteeintrag von außen ist offensichtlich höher zu bewerten als derjenige von innen.

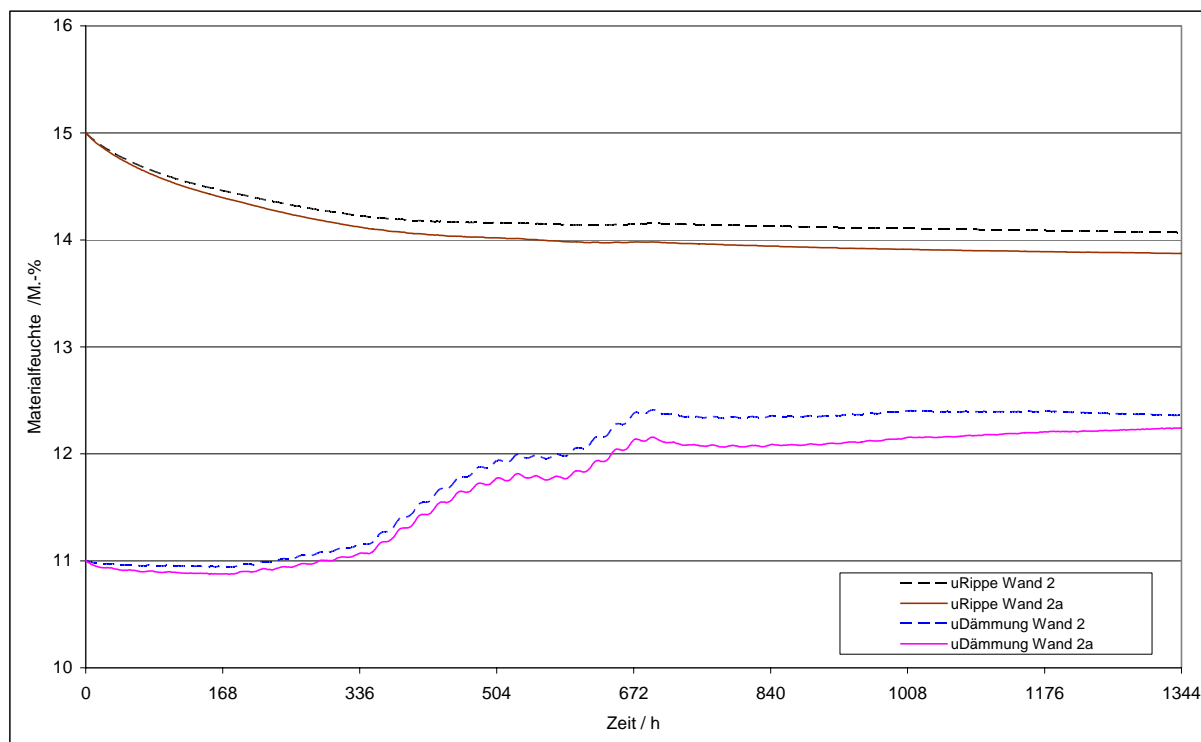


Abbildung 32: Grafische Darstellung der errechneten Materialfeuchten von Vollholz (oben) und schwerer Holzfaserdämmung (unten) der Wände 2 und 2a über den Simulationszeitraum

Abbildung 33 zeigt vergleichend die Ergebnisse der numerischen Simulation der Wände 3 bis 3b. Erwartungsgemäß stellt sich die höchste Materialfeuchte der Rippen und der Mineralfaserdämmung bei Wand 3 ein. Die Kombination mit diffusionsoffener äußerer Beplankung, nur sehr gering sorptionsfähiger Dämmung und Dampfsperre erweist sich als äußerst unvorteilhaft. Bei Wand 3a ist keine Dampfsperre mit berechnet worden. Es stellt sich eine um ca. 7 Prozentpunkte geringere Materialfeuchte der Mineralfaserdämmung als Maximalwert ein. Auch bei Wand 3b, mit Dampfsperre aber mit sorptionsfähiger und schwerer Dämmung, stellen sich erwartungsgemäß niedrigere Materialfeuchtigkeiten ein als bei Wand 3. Die schwere Holzfaserdämmung hat zwar eine höhere Ausgleichsfeuchte als die Mineralfaserdämmung, ist aber mit ca. 12 M.-% als sehr trocken zu bezeichnen. Die errechnete Materialfeuchte von ca. 10 M.-% der Mineralfaserdämmung lässt hingegen schon auf freies Kondenswasser schließen, was auch bei den Versuchen festgestellt wurde.

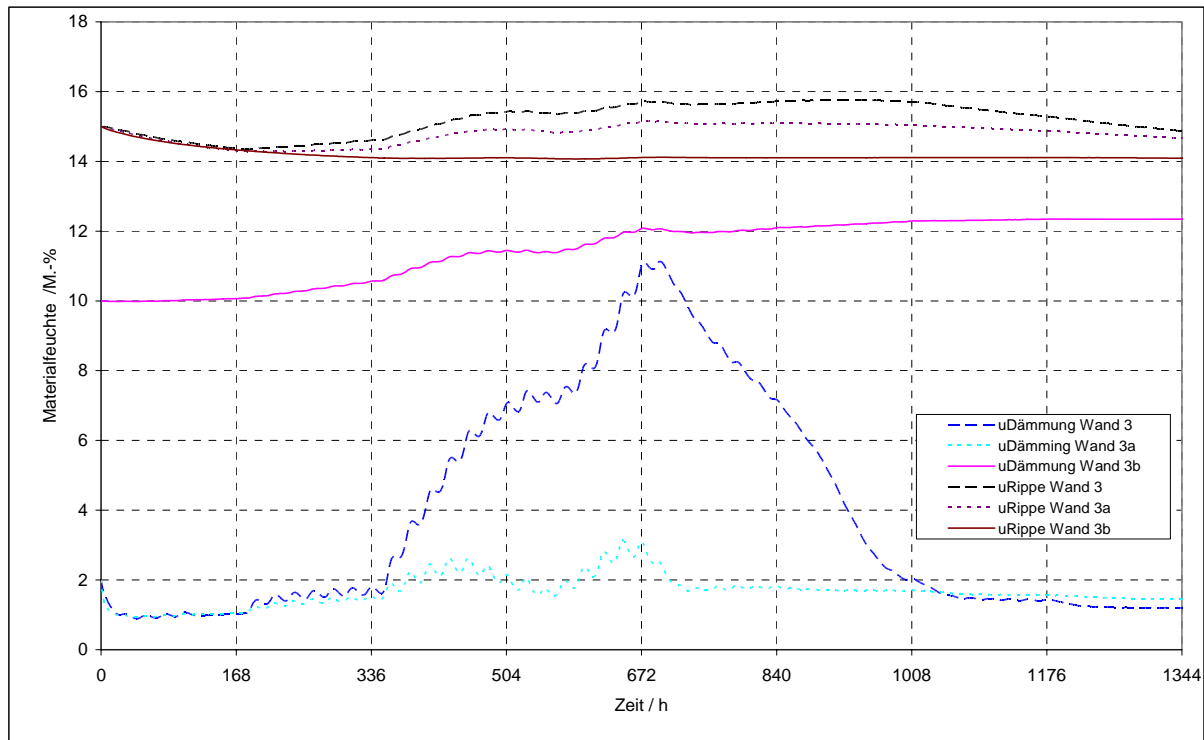


Abbildung 33: Grafische Darstellung der errechneten Materialfeuchten von Vollholz (oben) und Dämmung (unten) der Wände 3 bis 3b über den Simulationszeitraum

Abbildung 34 stellt die errechnete relative Luftfeuchte zwischen wasserableitender Schicht und Spanplatte der numerisch simulierten Wände 6 bis 6c über den Versuchs- oder Simulationszeitraum graphisch dar. Deutlich geht dabei erwartungsgemäß der Einfluss des s_d -Wertes der wasserableitenden Schicht auf die relative Luftfeuchtigkeit zwischen dieser und der Spanplatte hervor. Je höher der s_d -Wert der wasserableitenden Schicht ist, desto niedriger und gleichmäßiger ist die relative Luftfeuchtigkeit zwischen der wasserableitenden Schicht und der Spanplatte. Bei Verwendung eines s_d -Wertes von nur 0,02 m sind die errechneten Werte in vergleichbarer Größenordnung wie die gemessenen Werte (siehe auch Abbildung 19). Die Maximalwerte werden aber um ca. 15 bis 20 Prozentpunkte niedriger, wenn ein s_d -Wert von einem Meter angesetzt wird.

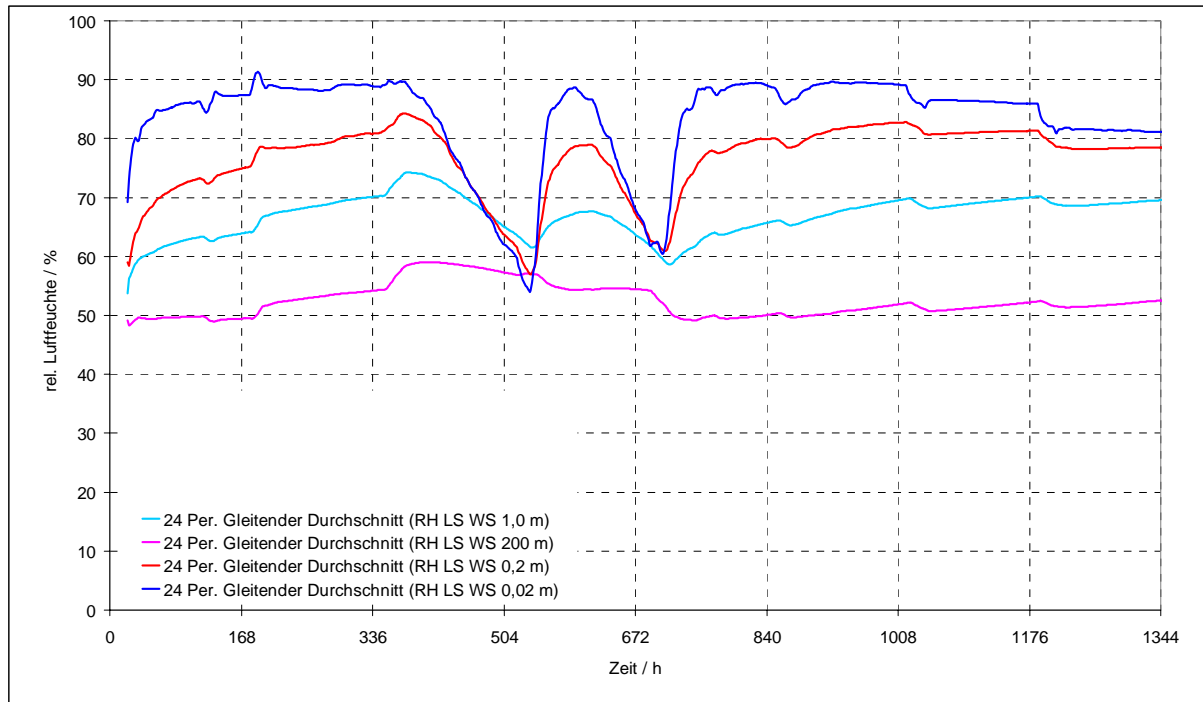


Abbildung 34: Graphische Darstellung der 24 h Mittelwerte der errechneten relativen Luftfeuchte zwischen wasserableitender Schicht und Spanplatte der numerisch simulierten Wände 6 bis 6c über den Simulationszeitraum

4.5 Beurteilung der Gefährdung bei Verzicht auf eine wasserableitende Schicht unter Beachtung konstruktiver und klimatischer Randbedingungen

4.5.1 Differenzierung der Gefährdungspotentiale

Nach heutigen Erkenntnissen sind drei Gefahren real existent, die zu einem Schaden an der Holzkonstruktion führen können. Alle drei Gefahren beruhen auf der Tatsache, dass sich teilweise höhere Feuchtigkeiten hinter der Mauerwerkvorsatzschale einstellen. Sie sind aber unterschiedlich zu betrachten, da die Gefahren durch jeweils unterschiedliche Maßnahmen abgemildert werden können.

Wahrscheinlichkeit des Befalls von holzerstörenden Pilzen

Die Gefahr des Befalls von holzerstörenden Pilzen erscheint nach den Ergebnissen der Untersuchungen besonders dann gegeben zu sein, wenn eine mangelhafte Ausführung der Konstruktion vorliegt. In unseren Untersuchungen haben sich in keiner Situation so hohe Feuchtigkeiten eingestellt, dass sich holzerstörende Pilze ansiedeln können. Es zeigt sich aber wie erwartet, dass sich Niederschlagwasser auf der Rückseite der Mauerwerkvorsatzschale bildet. Wenn es durch konstruktive Mängel möglich ist, dass dieses Wasser zur Holzkonstruktion hin geleitet wird, dann werden sich an diesen Bereichen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit Materialfeuchtigkeiten einstellen, die ein Pilzwachstum ermöglichen. Diese konstruktiven Mängel sind vor allem dann gegeben, wenn herausquellender Mörtel bis zur oder bis kurz vor die Holzkonstruktion gelangt. Ebenso bilden falsch angebrachte Maueranker oder Maueranker ohne Tropfscheibe ein hohes Gefährdungspotential. Dieses Gefährdungspotential ist umso größer, je größer die Regenbeanspruchung ist. Eine, durch z.B. Dachüberstände, gut vor Regen geschützte Mauerwerkvorsatzschale wird auch bei mangelhafter Ausbildung der Maueranker oder bei vorhandenen Mörtelbrücken zu keinen Schäden durch holzerstörende Pilze an der Holzkonstruktion führen.

Nach unseren Erfahrungen sind die Mengen anfallenden Kondenswassers in Zeiten mit großen Temperaturschwankungen nicht so groß und nicht über einen so langen Zeitraum, dass sich dadurch Wachstumsbedingungen für holzerstörende Pilze bilden.

Bei der Verwendung sehr diffusionsoffener äußerer Beplankungen und gleichzeitiger Verwendung nicht sorptiver Dämmstoffe sowie sehr diffusionsdichter Ausbildung zur Rauminnenseite kann sich Kondenswasser zwischen Dampfsperre und Dämmung infolge sogenannter Umkehrdiffusion bilden. Dies kann unter ungünstigen Umständen in größeren Mengen anfallen. Wenn die Möglichkeit besteht, dass das anfallende Wasser an der Dampfsperre herunterläuft und sich auf der Fußrippe sammelt, dann können sich

an diesen Stellen Feuchtigkeiten einstellen, die das Wachstum von holzerstörenden Pilzen ermöglicht. Die Wahrscheinlichkeit wird aber als nicht hoch angesehen.

Eine relevante Wahrscheinlichkeit eines Befalls von holzerstörenden Pilzen erscheint somit gegeben, wenn Ausführungsfehler der Mauerwerkvorsatzschale vorliegen.

Nur der alleinige Verzicht einer wasserableitenden Schicht führt nicht zwangsläufig zu einem Befall von holzerstörenden Pilzen.

Wahrscheinlichkeit des Befalls von Schimmelpilzen

Eine Gefahr des Befalls von Schimmelpilzen auf der Außenseite der äußeren Bepankung erscheint hingegen schon unter normalen Bedingungen gegeben. Wenige Regenereignisse in der warmen Jahreszeit können dazu führen, dass sich im Luftspalt ein Klima einstellt, das Schimmelpilzwachstum ermöglicht und fördert. Ebenso ist auch bei Konstruktionen, die keiner Regenbeanspruchung unterliegen eine, wenn auch geringe, Wahrscheinlichkeit gegeben, dass sich Schimmelpilze ansiedeln. Es wird postuliert, dass nur alleine durch die Kombination der insgesamt recht geringen Luftströmungen im Luftspalt und durch feuchtwarme Klimaverhältnisse, wie sie in den Sommermonaten von Region zu Region unterschiedlich häufig und lange auftreten Schimmelpilzwachstum möglich ist.

Durch große Temperaturwechsel wird sich Kondenswasser auf der äußeren Bepankung bilden. Dies führt zu einer höheren Materialfeuchte und begünstigt somit Schimmelpilzwachstum.

Die Wahrscheinlichkeit des Befalls von Schimmelpilzen nimmt zu mit

- höherer Schlagregenbeanspruchung,
- höherer Wasseraufnahmefähigkeit des Materials für die Mauerwerkvorsatzschale einschließlich Fugenmörtel und
- zunehmenden feuchtwarmen Klimaverhältnissen.

Wahrscheinlichkeit der Zerstörung der äußeren Bekleidung durch Wasser

In dem Luftspalt bildet sich ein Klima mit erhöhter Luftfeuchtigkeit. Somit wird die äußere Bepankung durch diese Feuchtigkeit beansprucht. Weiterhin besteht eine große Wahrscheinlichkeit einer temporären Kondenswasserbildung, so dass sich auch tropfbares Wasser bildet. Die äußere Bepankung darf somit unter Feuchtebeanspruchung ihre Eigenschaften dauerhaft nicht wesentlich verändern. Bei üblichen Spanplatten zur Verwendung im Innenbereich (P2 oder P3 nach EN 312 bzw. V20 nach DIN 68763) wird teilweise ein wasserlösliches Bindemittel verwendet, so dass sich die Platten unter Feuchtebeanspruchung auflösen können. Solche und vergleichbare Platten wären somit vollkommen ungeeignet.

4.5.2 Beurteilung der Gefährdungspotentiale

Holzerstörende Pilze

Ein Befall von holzerstörenden Pilzen muss unter allen möglichen Umständen vermieden werden. Man kann nach heutigen Erkenntnissen davon ausgehen, dass sich Wachstumsbedingungen für holzerstörende Pilze nur bilden, wenn die Mauerwerkvorsatzschale mangelhaft ausgeführt worden ist. Nur der Verzicht auf eine wasserableitende Schicht wird mit großer Wahrscheinlichkeit nicht dazu führen, dass sich entsprechende Wachstumsbedingungen einstellen können. Für bereits gefertigte Häuser besteht somit nur ein geringes Gefahrenpotential. Die Verwendung einer wasserableitenden Schicht führt aber zu sichereren Konstruktionen, vor allem weil der Holzbauer in der Regel keinen Einfluss auf die Qualität der Ausbildung der Mauerwerkvorsatzschale hat. Die Höhe des s_d -Wertes der wasserableitenden Schicht hat hinsichtlich der Gefahr des Wachstums von holzerstörenden Pilzen einen nur untergeordneten Einfluss.

Allein die Tatsache, dass der Holzbauer oft keinen Einfluss auf die Qualität der Ausbildung der Mauerwerkvorsatzschale hat und dass die Holzkonstruktion mit wasserableitender Schicht besser geschützt ist als ohne, rechtfertigt eine normative Forderung nach einer wasserableitenden Schicht.

Schimmelpilze

Schimmelpilze sind nach heutigen Erkenntnissen mit verantwortlich für viele Allergien. Die Schimmelpilze wurden aber auf der Außenseite der äußeren Beplankung festgestellt und haben somit keinen direkten Kontakt zur Innenraumluft. Innerhalb dieses Forschungsvorhabens konnte auch keine Bewertung der Schimmelintensität durchgeführt werden. Bekanntlich schwankt die Menge der in der Außenluft befindlichen Pilzsporen erheblich mit den Jahreszeiten und ist sehr stark vom Standort abhängig. Somit ist es pauschal nicht möglich festzustellen, ob und wenn ja in welchem Umfang eine Schimmelbildung auf der Außenseite der Beplankung zu einer erhöhten Sporenkonzentration in der Außenluft oder gar in der Innenluft beiträgt. Wahrscheinlich wird dieser Beitrag aber nur gering sein. Es wird aber sehr wahrscheinlich sein, dass sich in der Nähe der Lüftungsöffnungen erhöhte Sporenkonzentrationen bilden können und dass in ungünstigen Situationen diese auch durch z.B. geöffnete Fenster ins Rauminnere getragen werden.

Weiterhin ist bekannt, dass Schimmelpilze durch Enzyme Zuschlagstoffe umwandeln können. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass z.B. die Hydrophobierungsmittel durch Schimmelpilze zersetzt oder umgewandelt werden können, so dass die Beplankung nach mehreren Jahren eventuell wesentlich andere Eigenschaften hat, als zum Ursprungszeitraum. Es ist nach heutigen Erkenntnissen aber nicht abschätzbar, ob sich

relevante Eigenschaften und wenn ja, wie und in welchem Umfang sich diese verändern können.

Aus beiden vorgenannten Gesichtspunkten sollte ein planmäßiges Schimmelpilzwachstum nicht in Kauf genommen werden, obwohl eine klare, eindeutige Gefährdung nicht angenommen werden kann. Für bereits bestehende Gebäude kann sich Handlungsbedarf in den nächsten Jahren ergeben. Es ist dabei sehr wahrscheinlich, dass sich Schimmelpilze auf der äußeren Beplankung gebildet haben. Ob ein Schaden dadurch eingetreten ist, kann hingegen nicht pauschal angenommen werden.

Vorgenanntes rechtfertigt eine normative Forderung nach einer wasserableitenden Schicht.

Zerstörung der äußeren Beplankung durch Wasser

Eine Zerstörung der äußeren Beplankung durch Wasser hat gravierende Folgen und muss durch entsprechende Maßnahmen ausgeschlossen werden. Da aber die Produkte, die sich zur Zeit auf dem Markt befinden und üblicherweise im untersuchten Anwendungsbereich eingesetzt werden, alle ausreichend beständig gegenüber Feuchteeinwirkungen sind, wird bei bestehenden Gebäuden kein bestehendes Gefährdungspotential hinsichtlich der Zerstörung der äußeren Beplankung angenommen.

Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass die Festigkeitseigenschaften durch Feuchteeinwirkung stark herabgesetzt werden. Vor allem in Konstruktionen, in denen die äußere Beplankung tragend oder aussteifend wirkt, ist somit eine normative Forderung nach einer wasserableitenden Schicht gerechtfertigt.

Anmerkung:

In den vorgenannten Kapiteln wird eine normative Forderung nach einer wasserableitenden Schicht als gerechtfertigt angesehen. Diese wasserableitende Schicht kann aber hinsichtlich ihres s_d -Wertes anders definiert werden, als es zur Zeit in DIN 68800-2:1996-05 geschieht.

4.6 Ableitung von Prüfkriterien

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen können folgende Eigenschaften abgeleitet werden, die eine beliebige wasserableitende Schicht erfüllen muss. Sie muss

- die Holzkonstruktion vor der hohen Luftfeuchtigkeit im Luftspalt schützen.
- Wasser in Tropfenform sicher ableiten können.
- möglichst resistent gegenüber Schimmelpilzwachstum sein.
- beständig gegenüber Feuchtigkeit sein.

Diese Eigenschaften dürfen sich über den zu erwartenden Nutzungszeitraum dauerhaft nicht wesentlich verändern.

Diese Eigenschaften können sowohl einzeln über Prüfungen an kleineren Prüfkörpern nachgewiesen werden oder mit Hilfe einer künstlichen Bewitterung von großen Prüfkörpern.

Da Bahnen und Folien in der Regel empfindlich gegenüber UV-Licht sind, erscheint ein Nachweis der Resistenz gegenüber UV-Licht bei Bahnen und Folien erforderlich. Diese Forderung wird verständlicher unter dem Gesichtspunkt, dass die wasserableitende Schicht über einen nicht genau definierten Zeitraum ohne Mauerwerkvorsatzschale der freien Bewitterung ausgesetzt ist. Weiterhin fällt durch die Lüftungsöffnungen hauptsächlich diffuses UV-Licht auf die wasserableitende Schicht. Gegenüber diesem diffusen UV-Licht muss die wasserableitende Schicht über mehrere Jahrzehnte beständig sein.

4.6.1 Prüfungen an kleinen Prüfkörpern

Schutz der Holzkonstruktion vor der hohen Luftfeuchtigkeit im Luftspalt

Ein Schutz der Holzkonstruktion vor der hohen Luftfeuchtigkeit im Luftspalt erscheint gegeben, wenn eine wasserableitende Schicht

- einen s_d -Wert um ca. einen Meter aufweist, oder
- einen s_d -Wert um ca. 0,2 Meter aufweist, dabei aber die Dampfbremse auf der Raumseite einen s_d -Wert um ca. 2 Meter hat und eine feuchtepuffernde Dämmung mit einem μ -Wert größer 1 verwendet wird.

Die Ermittlung des s_d -Wertes kann mit Hilfe von Standardprüfungen nach DIN EN ISO 12572, Ausgabe:2001-09 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit erfolgen. Es sollten sowohl das Drycup- als auch das Wetcupverfahren angewendet werden. Der niedrigste Wert darf den Wert von einem Meter bzw. 0,2 Meter nicht wesentlich unterschreiten. Als nicht wesentlich kann eine Abweichung von 5 bis 10 % definiert werden.

Ableitung von Wasser in Tropfenform

Die Möglichkeit der sicheren Ableitung von Wasser in Tropfenform muss vor allem konstruktiv auf der Baustelle sichergestellt werden. Bahnen und Folien sind entsprechend zu überlappen. Plattenwerkstoffe müssen eine geeignete Schmalflächenprofilierung aufweisen. Die Eignung einer Schmalflächenprofilierung und eines Materials kann mit Standardprüfungen ermittelt werden.

Bahnen und Folien können gemäß DIN EN 13859-2, Ausgabe:2005-02 Abdichtungsbahnen - Definitionen und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen - Teil 2: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Wände geprüft werden und sollten der Klasse W 2 entsprechen.

Plattenwerkstoffe können gemäß prEN 12467 Abschnitt 7.3.3 geprüft werden. Bei 20 mm Wassersäule dürfen sich nach 24 Stunden auf der Unterseite der Platten keine Wassertropfen gebildet haben.

Resistenz gegenüber Schimmelpilzwachstum

Eine Resistenz gegenüber Schimmelpilzen kann mit Standardprüfungen festgestellt werden, wobei es sinnvoll erscheint, für den Anwendungsbereich als wasserableitende Schicht eigene Standards zu entwickeln, um den entsprechenden Anforderungen im Anwendungsbereich als wasserableitende Schicht Berücksichtigung zu schenken.

Im Forschungsvorhaben „ Untersuchungen zum umweltverträglichen Schutz von Holz und Holzwerkstoffen vor dem Befall mit Schimmelpilzen“ hat Lukowsky (2005) 108 Platten mit dem Format 375 mm x 400 mm verschiedener Holzwerkstoffe und Vollhölzer mit unterschiedlichen Vorbehandlungen in der großen Doppelklimakammer des WKI für 64 Tage mit einem Klima beansprucht, bei dem sowohl eine hohe relative Luftfeuchtigkeit, als auch eine Betauung berücksichtigt wurde. Abbildung 35 zeigt eine Grafik des Feuchte- und Temperaturverlaufs auf der Kaltseite der Doppelklimakammer. Nach 26 Tagen mit 93% rel. LF wurde die Kammer für eine Woche abgestellt, die Proben ausgewertet und zum Teil nachbehandelt oder ausgetauscht. Nach weiteren 18 Tagen bei 93 % rel. LF wurde für 18 Tage ein Zyklus aus 6 h Betauung bei – 15°C und 18 Stunden ohne Klimaeinstellung gewählt.

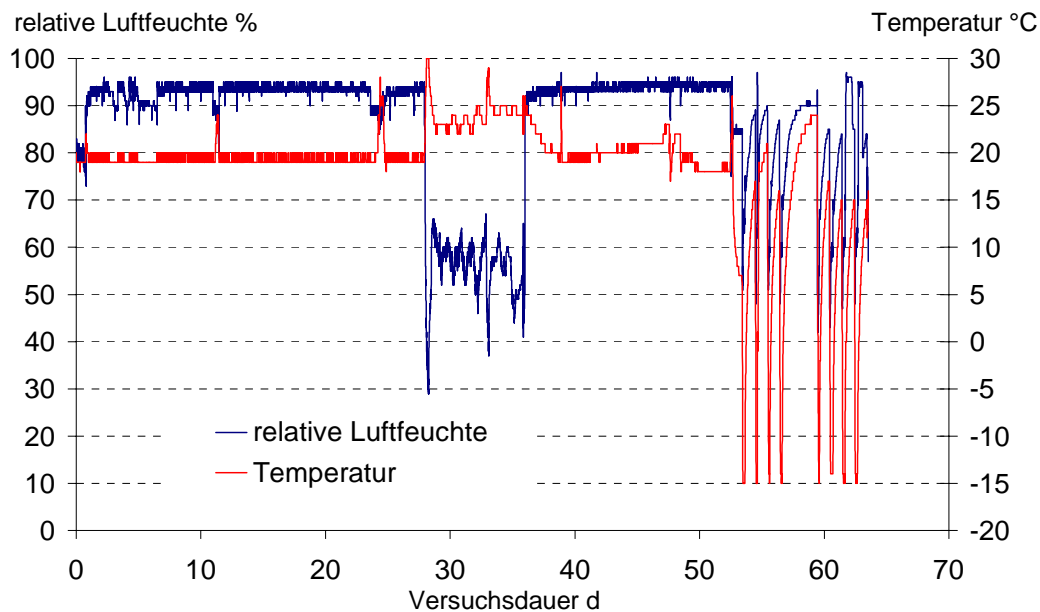


Abbildung 35: Grafik des Feuchte- und Temperaturverlaufes auf der Kaltseite der Doppelklimakammer. Auf der Warmseite wurde ein Klima von 20 °C/60% rel. LF eingestellt

Die Bewertung des Schimmelpilzbefalls erfolgte in Anlehnung an die Verfahrensanweisung des IHD VA-20-24 (2003) in drei Stufen:

- Stufe 0: Kein sichtbarer Schimmelpilzbefall bei Betrachtung der Prüfkörperoberfläche aus 30 cm Entfernung.
- Stufe 1: Schimmelpilzwachstum bei Betrachtung der Prüfkörperoberfläche aus 30 cm Entfernung sichtbar, aber deutlich schwächer als das Wachstum auf den Kontrollen aus MDF
- Stufe 2: Schimmelpilzwachstum bei Betrachtung der Prüfkörperoberfläche aus 30 cm Entfernung sichtbar, und gleich oder stärker als das Wachstum auf den Kontrollen aus MDF

Vorgenanntes Verfahren erscheint auch als geeignet zur Beurteilung einer Schimmelresistenz für den Anwendungsbereich als wasserableitende Schicht. Bei Erreichen der Stufe 0 kann eine ausreichende Resistenz als gegeben erachtet werden. Werkstoffe, die mit 1 oder 2 bewertet werden, können als nicht geeignet angesehen werden.

Es erscheint sinnvoll, eine Prüfanweisung in Anlehnung an die Arbeiten von Lukowsky (2005) zu erarbeiten.

Feuchtebeständigkeit

Eine Prüfung der Feuchtebeständigkeit erscheint zur Zeit nur bei Holzwerkstoffen erforderlich und kann mit Standardprüfungen nachgewiesen werden. Bei Holzwerkstoffen wie Spanplatten, OSB, Sperrholz u.ä. werden regelmäßig Prüfungen gemäß einschlägiger Normen wie EN 1087-1 (Kochquerzug) oder EN 321 (Zyklustest) durchgeführt. Eine Bewertung kann nach einschlägigen Produktnomen erfolgen. Ähnlich verhält sich die Situation bei Faserplatten. Auch hier sollten bestehende Regelungen gemäß EN 13986 und EN 622-2 bis 622-5 übernommen werden

UV-Beständigkeit

Eine Prüfung der UV-Beständigkeit erscheint zur Zeit nur bei Bahnen und Folien erforderlich zu sein, da Holzwerkstoffe in der Regel keine Oberflächenbehandlung bekommen. Eine Hydrophobierung wird in der Regel über die gesamte Plattendicke vorgenommen. Sollte eine Platte nur auf der Oberfläche zum Schutz gegen z.B. Schimmelpilze oder Feuchtigkeit behandelt worden sein, so erscheint auch bei diesen eine Prüfung der UV-Beständigkeit erforderlich zu sein.

Nach DIN EN 927-6 können sowohl Bahnen und Folien, als auch Oberflächenbehandlungen von Holzwerkstoffen auf ihre UV-Beständigkeit hin untersucht werden. Sollte die Prüfung der UV-Beständigkeit für erforderlich erachtet werden, so könnten die zu untersuchenden Prüfkörper vor der Durchführung der Prüfungen hinsichtlich der Feuchtebeständigkeit, der Resistenz gegenüber Schimmelpilzwachstum, der Ableitung von Wasser in Tropfenform und des s_d -Wertes mit dem Zyklus nach DIN EN 927-6 Abschnitt 6.3 beansprucht werden.

4.6.2 Prüfungen an großen Prüfkörpern

Die Eignung zur Verwendung eines Materials als wasserableitende Schicht oder einer definierten Gesamtkonstruktion könnte auch mit den in diesem Forschungsvorhaben verwendeten Prüfungen untersucht werden.

Dabei sollten die Prüfkörper analog zu den Wänden 1 bis 6 dieses Forschungsvorhabens gestaltet sein und mit dem in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Klima 2 gemäß Abbildung 13 beansprucht werden. Als Material für die Mauerwerkvorsatzschale sollte vergleichbares Material verwendet werden, wie in diesem Forschungsvorhaben. Die Feuchteigenschaften der Mauerwerkvorsatzschale sind in der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen. Weiterhin sind zur Beurteilung einer Eignung die Materialfeuchtigkeit der Holzkonstruktion inklusive Dämmung und ein Schimmelwachstum auf der Außenseite der Beplankung über den Versuchszeitraum aufzuzeichnen und zu bewerten. Zur sichereren Bewertung der Ergebnisse sind zusätzlich die Betauungszeiten der

äußeren Beplankung sowie das Klima und die Luftgeschwindigkeit im Luftspalt aufzuzeichnen und bei der Bewertung zu berücksichtigen.

Bei Einhaltung folgender Kriterien erscheint eine Eignung gegeben:

- Am Ende der künstlichen Bewitterung darf kein makroskopisch sichtbarer Schimmel vorhanden sein.
- Die Feuchte der Holzkonstruktion inklusive Dämmung darf nicht übermäßig ansteigen. Eine Beurteilung sollte gutachterlich erfolgen.

Die Feuchte- und UV-Beständigkeit, sowie die Ableitung von Wasser in Tropfenform sollten wie unter 4.6.1 zusätzlich untersucht werden.

Mauerwerkvorsatzschale als alleiniger Schutz für die Holzkonstruktion

Zur Zeit ist es noch nicht realistisch, dass eine Mauerwerkvorsatzschale als alleiniger Schutz für eine beliebige Holzkonstruktion dienen kann. Falls aber Entwicklungen in diese Richtung gehen, so können entsprechende Untersuchungen nach zuvor beschriebenem Ablauf erfolgen.

Eventuell ist es auch möglich, die Holzkonstruktion durch z.B. eine Acrylglasplatte zu ersetzen und nur die Luftfeuchtigkeit im Luftspalt im Vergleich zur Luftfeuchtigkeit in der Klimakammer und die Betauungszeiten der Acrylglasplatte aufzuzeichnen und zu bewerten. Hierzu wären aber noch weitere Untersuchungen erforderlich, die den Rahmen dieses Forschungsvorhabens gesprengt hätten.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollte zum einen das Risiko für Gebäude abgeschätzt werden, die bisher abweichend von der DIN 68800-2 ohne wasserableitende Schicht hergestellt wurden. Zum zweiten sollte im Vorhaben unter Beachtung der derzeitigen Trends im Hochbau, wozu z. B. auch der Verzicht auf eine Dampfsperre oder –bremse gehört, die Notwendigkeit und der Effekt der derzeitigen Grenzwerte von 0,2 m und 1,0 m als wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke s_d der wasserableitenden Schicht für die Baupraxis untersucht werden. Zusätzlich soll das Vorhaben zu einer Klärung eines möglichen Verzichts auf wasserableitenden Schichten und eines damit verbundenen Risikopotentials im Hintergrund der europäischen Normung und Praxis beitragen.

Zur Erreichung des Ziels wurde die Funktionsweise einer wasserableitenden Schicht in aufwändigen Versuchsreihen untersucht. Es wurden Klimamodelle untersucht und ein Klimamodell für eine künstliche Bewitterung entwickelt. Die Entwicklung des Klimamodells erfolgte mit numerischen Simulationen und praxisnahen Prüfungen. Es sind zur Erreichung der Ziele Prüfungen an realitätsnahen Prüfkörpern mit künstlicher Bewitterung durchgeführt worden. Dabei ist das entwickelte Klimamodell verwendet worden.

Die Gefährdungen bei einem Verzicht auf eine wasserableitende Schicht in Außenwänden in Holzbauart mit Mauerwerkvorsatzschale wurden ermittelt. Dabei sind drei relevante Gefahren ermittelt worden:

- Gefährdung durch holzerstörende Pilze
- Gefährdung durch Schimmelpilze
- Gefährdung durch eine Zerstörung der äußeren Beplankung durch Wasser

Alle drei Gefahren beruhen auf der Tatsache, dass sich teilweise höhere Feuchtigkeiten hinter der Mauerwerkvorsatzschale einstellen. Sie sind aber unterschiedlich zu betrachten, da die Gefahren durch jeweils unterschiedliche Maßnahmen abgemildert werden können. Es wurde festgestellt, dass der alleinige Verzicht auf eine wasserableitende Schicht gemäß DIN 68800-2 nicht zwangsläufig zu einer Gefährdung durch holzerstörende Pilze und zu einer Zerstörung der äußeren Beplankung durch Wasser führt. Die Wahrscheinlichkeit einer Schimmelpilzbildung auf Holzwerkstoffen erscheint bei Verzicht auf eine wasserableitende Schicht aber so groß, dass man von einem regelmäßigen Befall ausgehen muss. Der s_d -Wert der wasserableitenden Schicht kann aber von einem Meter auf ca. 0,2 Meter geändert werden, wenn zusätzliche Kompensationsmaßnahmen ergriffen werden:

1. Anpassung der s_d -Wertes der Dampfbremse zur Rauminnenseite auf maximal ca. 2 m und zusätzlich
2. Verwendung einer feuchtepuffernden Dämmung mit einem μ -Wert größer eins.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen können folgende Eigenschaften abgeleitet werden, die eine beliebige wasserableitende Schicht erfüllen muss. Sie muss

- die Holzkonstruktion vor der hohen Luftfeuchtigkeit im Luftspalt schützen.
- Wasser in Tropfenform sicher ableiten können.
- möglichst resistent gegenüber Schimmelpilzwachstum sein.
- beständig gegenüber Feuchtigkeit sein.

Diese Eigenschaften dürfen sich über den zu erwartenden Nutzungszeitraum dauerhaft nicht wesentlich verändern.

Diese Eigenschaften können sowohl einzeln über Prüfungen an kleineren Prüfkörpern nachgewiesen werden oder mit Hilfe einer künstlichen Bewitterung von großen Prüfkörpern.

Aus den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens sind Prüfkriterien abgeleitet und als Vorschlag zur Nutzung in Zulassungsverfahren aufgeführt worden.

6. Literatur

- | | |
|--------------|---|
| DIN 4108-3 | Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Juli 2001 |
| DIN 18164-1 | Schaumkunststoffe als Dämmstoff für das Bauwesen - Dämmstoffe für die Wärmedämmung |
| DIN 18165-1 | Faserdämmstoffe für das Bauwesen - Dämmstoffe für die Wärmedämmung |
| DIN 68800-2 | Holzschutz – Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Mai 1996 |
| DIN 68800-3 | Holzschutz – Vorbeugender chemischer Holzschutz, April 1990 |
| DIN EN 335-1 | Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall - Teil 1: Allgemeines. Juli 1992 |
| DIN EN 335-3 | Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall - Teil 3: Anwendung bei Holzwerkstoffen. September 1995 |
| DIN EN 622-4 | Faserplatten - Anforderungen - Teil 4: Anforderungen an poröse Platten. August 1997 |

DIN EN 927-6 Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 6: Künstliche Bewitterung von Holzbeschichtungen durch fluoreszierende UV-Strahlung und Wasser

Greubel, D. (1988): Rechenmodelle und Simulationsversuche zur Beurteilung des feuchte-technischen Verhaltens von Bauteilen, Teil 2. wksb, H. 24, S. 42-45

Herlyn, J.W., Mehlhorn, L. (1996): Simulierte Bauteilbewitterung in einer Doppelklimakammer. VFI, H. 2, 1996, S. 35-37 und H. 3, S. 50-52

Herlyn, J. W.: Feuchte- und Pilzschäden an der Schalung aus einer Spanplatte eines als Kaltdach geplanten Flachdachs. WKI-Kurzbericht Nr. 31, 1996

Institut für Holzforschung Dresden (IHD) 2003: Untersuchungen zum Verhalten ausgewählter Bau- und Holzwerkstoffe gegenüber Schimmelpilzen. Abschlussbericht 30/01

Künzel, Hartmut (2003): Porenbeton Bericht 11 - Wärme- und Feuchteschutz, Hrsg.: Bundesverband Porenbeton, Wiesbaden 2003

Künzel, H.M. (1998): Innendämmung von Natursteinmauern, IBP Mitteilungen 336, Eigenverlag, Holzkirchen 1998

Künzel, H.M. (1998): Außen dampfdicht, vollgedämmt? Zeitschrift bauen mit holz 08-1998, Bruderverlag, Karlsruhe 1998

Küttinger, G. (2000): Holzrahmenbau: Bewährtes Holzbau-System. Hrsg. vom Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, 3. Auflage, Bruderverlag, Karlsruhe, 2000

Kratz, W. (1982): Zeitgeraffte Simulation von Klimaeinflüssen an Bauteilen. BMF-Rundschau, Nr. 2, S. 3-11

Lukowsky, D. (2005): Untersuchungen zum umweltverträglichen Schutz von Holz und Holzwerkstoffen vor dem Befall mit Schimmelpilzen; Schlussbericht AiF Vorhaben Nr. 13686N; Internationaler Verein für technische Holzfragen, Braunschweig

Marquardt, H. (2000): Vortrag über Außenwände in Holzrahmenbauart ohne äußere wasserableitende Schicht auf der 22. Holzschutz-Tagung der DGfH am 17. und 18.10.2000 in Bad Kissingen.

Marquardt, H.; Mainka, G.-W. (2001): Außenwände in Holztafelbauart mit Wetterschutzschalen ohne wasserableitende Schicht auf der äußeren Beplankung oder Bekleidung. Bauphysik 23 (2001), H. 3, S.144-151

Marquardt, H.; Saath, T. (2001): Untersuchung ausgeführter Außenwände in Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale ohne vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand. bauen mit holz (2001), H. 10, S.29-34

Marquardt, Helmut (2002): Feuchteschutz und Holzschutz von Außenwänden in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerkvorsatzschale. Tagungsbeitrag zum 11 Bauklimatischen Symposium, Dresden 2002

Mehlhorn, L., Drewes, H. (1982): Zeitgeraffte Simulation der Wetterbeanspruchung hölzerner Außenbauteile in Doppelklimakammern. Teil 2: Versuche in einer Doppelklimaanlage. Holz-Zentralblatt, Nr. 69, S. 1069-1072

Stuis, M., Kratz, W. (1987): Rechenmodelle und Simulationsversuche zur Beurteilung des feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen. Teil 1: Experimentelle Untersuchungen in einer Doppelklimakammer. wksb, H. 23, S. 40-46

Schulze, Horst (1993): Außenwände in Holztafelbauart mit Mauerwerkvorsatzschale. Forschungsvorhaben, durchgeführt im Auftrage der EGH mit Förderung durch die Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen, Berlin.

Schulze, Horst (1993): Außenwände in Holztafelbauart mit Mauerwerkvorsatzschale; Teil II Freilandversuche. Forschungsvorhaben, durchgeführt im Auftrage der EGH mit Förderung durch die Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen, Berlin.

Schulze, Horst (1993): Schäden an Wänden und Decken in Holzbauart. Schadenfreies Bauen, Band 5. IRB Verlag: 1 158

Schulze, H. (1996): Kommentar zu DIN 68800-2.

Schulze, H. (1998): Sicherung des baulichen Holzschutzes. Bauforschung für die Praxis, Band 45. IRB Verlag 1 168

Schulze, H. (1998): Die Bedeutung des Austrocknungsvermögens von Holzbauteilen. Abschnitt in „Ingenieur-Hochbau – Berichte aus Forschung und Praxis – Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Erich Cziesielski. Werner Verlag: 361 – 376.

Projektleiter
Dipl.-Ing. Johann W. Herlyn

Institutsleitung

in Vertretung
Dipl.-Ing. Norbert Rüter

Prof. Dr. Rainer Marutzky