



Fraunhofer Institut
Bauphysik

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle
für Prüfung, Überwachung und
Zertifizierung
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile
und Bauarten
Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Institutsleitung
Prof. Dr. Gerd Hauser
Prof. Dr. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht HTB-10/2004

Untersuchungen zum Feuchteschutz von Leichtbaukonstruktionen mit Bauplatten aus Holzwerkstoffen

Durchgeführt im Auftrag
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung
e.V.

Der Bericht umfasst
25 Seiten Text
23 Bilder
20 Tabellen
2 Anhängen

Valley, 20. November 2004

Bearbeiter

Abteilungsleiter

Institutsleiter

Dr. rer. nat. C. Fitz

Dr.-Ing. H. M. Künzel

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer

Dr.-Ing. M. Krus

Dipl.-Ing. (FH) W. Zillig

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstraße 12 · D-70569 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711/970-00
Telefax +49 (0) 711/970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Institutsteil Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 · D-83626 Valley
Telefon +49 (0) 8024/643-0
Telefax +49 (0) 8024/643-66
www.bauphysik.de

Inhalt

1	Forschungsthema	4
2	Problemstellung	4
3	Forschungsziel	5
3.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	5
3.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	6
4	Durchführung der Untersuchungen	6
4.1	Literaturstudie, Auswahl und Beschaffung der Baustoffe	6
4.2	Bestimmung der Kennwerte durch Laborversuche	7
4.2.1	Feuchtetechnische Kennwerte	7
4.2.1.1	Diffusionswiderstandszahl	7
4.2.1.2	Wasseraufnahmekoeffizient	8
4.2.1.3	Trocknungsversuch	8
4.2.1.4	Freie Wasseraufnahme	8
4.2.1.5	Sorptionsfeuchtegehalt	9
4.2.2	Sonstige Kennwerte	9
4.2.2.1	Rohdichte	9
4.2.2.2	Reindichte	9
4.2.2.3	Kapillartransportkoeffizient	10
4.3	Rechnerische Untersuchungen	11
4.3.1	Softwarebeschreibung	11
4.3.2	Berechnungsvarianten	12
5	Ergebnisse der Untersuchungen	13
5.1	Literaturrecherche und Auswahl von Holzwerkstoffen für die Untersuchungen	13
5.1.1	Oriented Strand Board (OSB)	14
5.1.2	Holzspanplatten	14
5.1.3	Faserplatten (Faserdämmplatten, Mitteldichte Faserplatten)	14
5.1.4	Furniersperrholz, Furnierschichtholz	15
5.1.5	Mehrschichtplatten	15
5.1.6	Referenzmaterial	15
5.2	Kennwerte der Holzwerkstoffplatten	15
5.2.1	Oriented Strand Board	15
5.2.2	Holzspanplatten	17
5.2.3	Faserplatten (Faserdämmplatten, mitteldichte Faserplatten)	17
5.2.4	Furniersperrholz, Furnierschichtholz	18
5.2.5	Mehrschichtplatten	19
5.2.6	Referenzmaterial	19
5.3	Rechnerische Untersuchungen	19
5.4	Zusammenfassung	20

6	Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)	22
7	Beabsichtigte Umsetzung der Forschungsergebnisse	22
8	Literatur	24

1 Forschungsthema

Untersuchungen zum Feuchteschutz von Leichtbaukonstruktionen mit Bauplatten aus Holzwerkstoffen.

2 Problemstellung

Aufgrund der günstigen konstruktiven, ökonomischen, ökologischen [1, 2] und bauphysikalischen Eigenschaften (z. B. vergleichsweise hohe Wärmespeicherfähigkeit) werden Bauplatten aus Holzwerkstoffen vermehrt im Bauwesen eingesetzt. Die Frage der Gebrauchstauglichkeit kann dabei durch die schnelle und kostengünstige Beurteilung mittels moderner Rechenverfahren beantwortet werden. Dies wird auch ermöglichen den Einsatzbereich und damit das Absatzpotential deutlich zu erweitern. Allerdings sind für diese Bauplatten korrekte und repräsentative feuchtetechnische Kennwerte notwendig. Sowohl in den Normen DIN 4108-4 [3] und DIN EN 12524 [4] als auch in anderen Stoffdatensammlungen oder Datenbanken sind derzeit nur wenige Bauplatten aus Holzwerkstoffen vertreten oder es ist nur eine grobe Abschätzung der tatsächlichen Stoffkennwerte vorhanden. Meistens sind nur die Standardkennwerte aus Normen bekannt, die einerseits nicht die heutigen Anforderungen des Standes der Modellierung und der Planungstools erfüllen, zum anderen erhebliche Ungenauigkeiten enthalten können. Zuverlässige feuchtetechnische Datensätze für moderne Bauplatten, wie z. B. OSB-Platten, sind in der Regel nur unvollständig vorhanden. Angaben von einzelnen Herstellern können und dürfen nicht stellvertretend für eine Produktgruppe verwendet werden.

Im Zuge der immer diffusionsoffeneren Konstruktionsweise im Holzbau stellt sich regelmäßig die Frage, ob nicht auf Dampfsperren gänzlich verzichtet werden kann. Bei richtiger Auslegung könnten Holzkonstruktionen noch feuchtesicherer gemacht werden, da auch zur Raumseite hin eine Austrocknungsmöglichkeit gegeben wäre. Ein ausreichender Tauwasserschutz muss jedoch auch bei diffusionsoffenen Konstruktionen gewährleistet sein. In diesem Zusammenhang können Bauplatten aus Holzwerkstoffen Vorteile bieten, da sie ähnlich wie eine feuchteadaptive Dampfbremse [5] ihren Dampfdiffusionswiderstand in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen ändern. Bereits durchgeführte Messungen an OSB-Platten zeigen eine Erhöhung des Diffusionswiderstandes bei niedriger Luftfeuchte um den Faktor 3. Dies bedeutet, dass im Winter, wenn niedrige Innenraumluftfeuchten vorliegen, deren Diffusionswiderstand hoch ist. Im Sommer dagegen ist das Material aufgrund der höheren Raumluftfeuchte deutlich diffusionsoffener. Die Folge wäre eine geringe winterliche Auffeuchtung der Konstruktion bei hohem sommerlichem Trocknungspotential. Voraussetzung ist allerdings, dass dieses Materialverhalten langfristig erhalten

bleibt und es nicht, wie z. B. bei Dampfbremsspappen festgestellt [6], zu einer irreversiblen Veränderung der hygrothermischen Eigenschaften unter Feuchteeinwirkung kommt.

Die Beurteilung der hygrothermischen Gebrauchstauglichkeit anhand des instationären Feuchteverhaltens und der langfristigen Feuchtebilanz von Bauteilen und Baumaterialien erfolgte bisher durch Freilandversuche oder Großlaborexperimente. Heute kann durch moderne Rechenverfahren bei Verwendung entsprechender Materialkennwerte [7] für mineralische Baustoffe eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Experiment auch unter komplexen natürlichen Randbedingungen erreicht werden (siehe z. B. [8-10]). Die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit mit Hilfe des Glaserverfahrens kann zu einem Ergebnis führen, welches den Praxisbeobachtungen widerspricht, da dieses einfache stationäre Bewertungsverfahren aufgrund seiner Beschränkungen und Vereinfachungen ausschließlich die Beurteilung von Tauwasserrisiken unter normierten Bedingungen erlaubt. Im Sinne einer realitätsnahen Erfassung und Beurteilung der Feuchteverhältnisse in Bauteilen müssen jedoch auch andere wesentliche Einflüsse (z. B. Baufeuchte, hygroskopische Feuchte oder Umkehrdiffusion) Berücksichtigung finden. Zu diesem Zweck sind in den letzten Jahren national und international zahlreiche Modelle und entsprechende PC-Programme zur Berechnung des instationären hygrothermischen Verhaltens entwickelt worden. Es ist aber zu beachten, dass ausreichend genaue Rechenergebnisse nur zu erzielen sind, wenn die Eingabedaten und deren praktische Bandbreite hinreichend bekannt sind. Für Massivbaustoffe sind in den letzten Jahren neue orts- und zeitauflösende Messmethoden entwickelt worden. Leider lassen sich diese Messmethoden nicht ohne weiteres auf Holzwerkstoffe übertragen, da diese keine starre Porenstruktur besitzen. In vielen Fällen könnten jedoch vereinfachte Verfahren basierend auf theoretischen Modellen oder empirischen Ansätzen Erfolg versprechend eingesetzt werden. Es ist zu erwarten, dass daraus abgeleitete einheitliche Richtlinien für die Bestimmung hygrothermischer Materialkennwerte bei Holzwerkstoffen ein höheres Maß an Datensicherheit schaffen. Die entsprechenden Untersuchungsmethoden und deren Auswertung sind im Rahmen des beantragten Projektes auf Holzwerkstoffe zu übertragen und anzupassen.

3 Forschungsziel

3.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung und Anwendung angepasster Untersuchungsmethoden, um mit Hilfe einfacher Messverfahren die hygrothermischen Stoffkennwerte von Holzwerkstoffplatten zu ermitteln, die für moderne, instationäre Rechenverfahren benötigt werden. Im Rahmen dieses Projekts soll damit der Weg für einen schnelleren und kostengünstigeren Einsatz dieser Rechenverfahren zur Auslegung von Leichtbaukonstruktionen bereitet werden. Die gewonnenen Daten sollen dann in einer frei zugänglichen Daten-

bank zur Verfügung gestellt werden, so dass sie in Zukunft als Grundlage für energetische Gebäudesimulationen und hygrothermische Bauteilberechnung dienen können. Im Gegensatz zur Datenlage bei den meisten Massivbaustoffen sind die hygrothermischen Kennwerte von Holzwerkstoffplatten und deren Bandbreite nur unzureichend bekannt. Dies liegt vor allem daran, dass die für mineralische Baustoffe entwickelten Messmethoden zur Bestimmung der Kapillarleitungskoeffizienten und der Feuchtespeicherfunktion bei den, in der Regel geschichteten Holzwerkstoffplatten, an ihre Grenzen stoßen und wegen der Quellvorgänge im Holz unbefriedigende Ergebnisse liefern. Deshalb soll versucht werden, durch neue angepasste Diffusions- und Sorptionsmessungen in verschiedenen Feuchtebereichen im Zusammenhang mit neuen Approximationsmethoden Kennwerte zu bestimmen, die das hygrothermische Verhalten von Holzwerkstoffplatten ausreichend genau beschreiben. Die Variationsbreite der Materialparameter soll analog den Normen DIN V 4108-4 [3] und DIN EN 12524 [4] berücksichtigt werden, wobei für die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl nicht nur zwei Werte angegeben werden, sondern typische praktische Bandbreiten. Eine Auswahl der Materialien ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Anhand geeigneter Fallbeispiele soll die Eignung der ermittelten hygrothermischen Stoffkennwerte überprüft werden. Anschließend werden die Vorteile des Einsatzes unterschiedlicher Holzwerkstoffe für Wand- und Dachkonstruktionen, aber auch deren Einsatzgrenzen in Abhängigkeit von der zu erwartenden Bandbreite der hygrothermischen Eigenschaften durch Simulationsberechnungen aufgezeigt. Solche Rechenbeispiele sollen es Produzenten, Sachverständigen oder Planern erleichtern, das Feuchteverhalten von Holzkonstruktionen richtig einzuschätzen und das hygrothermische Weiterentwicklungspotential von Holzwerkstoffen zu beurteilen.

3.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die Untersuchungen konzentrieren sich vor allem auf feuchtetechnische Eigenschaften von Holzbaustoffen. Eine gezielte Ausnutzung der Feuchtespeicherung und der diffusionstechnischen Eigenschaften von Holzbauprodukten ermöglicht die Definition von feuchtetoleranten Konstruktionen bzw. die gezielte Verbesserung des feuchtetechnischen Verhaltens von Konstruktionen.

4 Durchführung der Untersuchungen

4.1 Literaturstudie, Auswahl und Beschaffung der Baustoffe

Zu Beginn erfolgt eine Literaturrecherche mit dem Ziel, eine Marktübersicht über häufig verwendete Holzwerkstoffplatten zu erhalten. Im Anschluss an diese Studie werden einzelne Werkstoffe in Abhängigkeit der Produktionsverfahren und der verwendeten Leimformulierungen ausgewählt.

4.2 Bestimmung der Kennwerte durch Laborversuche

4.2.1 Feuchtetechnische Kennwerte

Die feuchtetechnischen Kennwerte beschreiben den Feuchtetransport im Material sowie die dort ablaufenden Speichervorgänge. Für ein besseres Verständnis der Kennwerte werden im Folgenden kurz deren Bedeutung und die zugehörigen Messverfahren dargestellt.

4.2.1.1 Diffusionswiderstandszahl

Die Diffusionswiderstandszahl beschreibt den Wasserdampfdiffusionswiderstand eines Materials im Vergleich zu einer Luftschicht gleicher Dicke. Die Diffusionswiderstandszahl von Luft ist dementsprechend gleich 1, wogegen die der Baumaterialien meist deutlich höher liegt.

Für die Bundesrepublik Deutschland ist die Durchführung der Messung von Dampfdiffusionskoeffizienten gemäß DIN EN ISO 12572 [11] genormt. Dabei wird nach Trockenbereichsverfahren für einen Feuchtigkeitsbereich zwischen 0 bis 50 % r. F., allgemein als "dry-cup"-Verfahren bekannt, und Feuchtbereichsverfahren für einen Feuchtigkeitsbereich zwischen 50 bis 100 % r. F. ("wet-cup") unterschieden. Die Messung erfolgt unter isothermen Bedingungen. Zusätzlich zu diesen genormten Randbedingungen werden die Messungen noch bei weiteren Feuchtestufen durchgeführt, um eine detaillierte Feuchteabhängigkeit der Diffusionswiderstandszahl zu bekommen. Bei den meisten mineralischen Baustoffen ist der Diffusionswiderstand nicht wirklich feuchteabhängig. Mit zunehmender Feuchte tritt als zusätzlicher Feuchtetransportmechanismus die Kapillarleitung auf. Aus dem dadurch erhöhten Feuchtestrom errechnet sich ein niedrigerer Wert der Diffusionswiderstandszahl. Dies trifft besonders für die Messvariante des „inverted wet-cup“ zu. Bei diesem steht während des Diffusionsexperimentes eine Probenseite in direktem Wasserkontakt. Diese Versuchsvariante wurde nicht aufgenommen, um einen spezifischen Materialkennwert zu ermitteln, sondern um in einem anschließenden Versuch die Wiederholbarkeit der Diffusionsmessung nach einmaliger Durchfeuchtung des Holzwerkstoffes zu bestimmen.

Zur Reduzierung der erforderlichen Zeitdauer werden zwei Untersuchungsreihen parallel durchgeführt. Weiterhin sind die Klimarandbedingungen für die Untersuchungen in Tabelle 2 aufgeführt.

Versuchsdurchführung

Eine plattenförmige Probe des zu prüfenden Materials wird als oberer Abschluss auf ein Gefäß aufgesetzt und dampfdicht mit dem Gefäßrand verbunden. Im Gefäß wird durch ein Trocknungsmittel oder eine gesättigte Salzlösung eine konstante relative Luftfeuchtigkeit eingestellt. Die Gefäße werden in einen Klimaraum mit konstanter Temperatur und Luftfeuchte gebracht. Unter dem Einfluss des Wasserdampfpartialdruckgefälles zwischen den an die Probenoberfläche angrenzenden Lufträumen diffundiert Wasserdampf durch die Proben hindurch. Nach Einstellen eines stationären Diffusionsstromes ergibt sich eine pro Zeiteinheit konstante Gewichtsänderung des Messgefäßes, welche dem Diffusionsstrom entspricht.

4.2.1.2 Wasseraufnahmekoeffizient

Der Wasseraufnahmekoeffizient beschreibt die Feuchtaufnahme eines Materials über die Benetzungsfläche. Bei Materialien mit zeitlich konstanter Porenstruktur erfolgt die Wasseraufnahme stets linear mit der Wurzel der Zeit.

Zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN ISO 15148 [12] werden die Proben an den Seitenflächen abgedichtet und mit der Saugfläche nach unten 2 bis 10 mm tief in ein Wasserbad eingetaucht. Die Proben werden vor dem Eintauchen in das Wasserbad und dann in bestimmten Zeitabständen gewogen. Vor den Wägungen wird an der Saugfläche oberflächlich anhaftendes Wasser mit einem feuchten Schwammtuch entfernt. Trägt man die flächenbezogene Wasseraufnahme über der Wurzel der Zeit auf, ergibt sich für die meisten mineralischen Baustoffe eine Gerade. Aus der Steigung der Geraden kann der Wasseraufnahmekoeffizient (w -Wert) ermittelt werden. Ergibt sich keine mit der Wurzel der Zeit lineare Wasseraufnahme, wird der w -Wert aus der Wasseraufnahme nach 24 Stunden ermittelt.

Der Wasseraufnahmekoeffizient beschreibt nur die Wasseraufnahme eines Baustoffes über die Oberfläche, nicht aber die Verteilung des Wassers innerhalb des Materials. Mit Hilfe von Kapillartransportkoeffizienten, deren messtechnische Bestimmung aber einen hohen apparatetechnischen Aufwand bedeutet [7], lassen sich für die Wasseraufnahme die Feuchteverteilungen berechnen. Diese für hygrothermische Berechnungen wesentlichen Transportkoeffizienten können mit guter Näherung auch aus Standardstoffkennwerten (dem w -Wert, der freien Wassersättigung und dem Bezugsfeuchtegehalt) approximiert werden [13].

4.2.1.3 Trocknungsversuch

Der Wasseraufnahmekoeffizient (w -Wert) kann nur die Wasseraufnahme beschreiben. Der Flüssigtransport beim Trocknungsvorgang läuft im Allgemeinen deutlich langsamer ab. Für diesen Transportvorgang existiert kein Standardkennwert vergleichbar dem w -Wert. Aus diesem Grund muss zusätzlich ein Trocknungsversuch durchgeführt werden. Dazu werden gesättigte fünfseitig abgedichtete Proben in einem Klimaraum bei konstanten Randbedingungen über die freie Seite getrocknet und durch Wägung der zeitliche Gewichtsverlauf ermittelt. Aus diesem Gewichtsverlauf können unter Verwendung des instationären Wärme- und Feuchtetransportberechnungsprogramms WUFI iterativ die Kapillartransportkenngrößen für den Trocknungsvorgang ermittelt werden [14].

4.2.1.4 Freie Wasseraufnahme

Die freie Wasseraufnahme ist die gewichts- oder volumenbezogene Menge an Wasser, die ein Material bei Wasserlagerung ohne zusätzliche äußere Kräfte (Überdruck oder Vakuum) aufnimmt. Sie liegt aufgrund eingeschlossener Luftporen stets unterhalb der Menge, die das Material aufgrund seiner offenen Porosität aufnehmen könnte.

Zur Bestimmung der freien Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck gemäß DIN 52103 [15] werden entsprechend vorbereitete und gewogene Prüfkörper

in ein Wasserbad, gefüllt mit Leitungswasser, auf einen Gitterrost gelegt. Die Prüfkörper werden zunächst für eine Stunde nur bis zur Hälfte eingetaucht. Dann werden sie mit 20 mm \pm 5 mm Wasser überdeckt und in regelmäßigen Zeitintervallen gewogen. Oberflächlich anhaftendes Wasser wird mit einem feuchten Schwammtuch entfernt. Die freie Wasseraufnahme ist beendet, wenn Gewichtskonstanz erreicht ist, d. h. der Prüfkörper ändert sein Gewicht in 24 Stunden um nicht mehr als 0,1 M.-%. Anschließend werden die Prüfkörper bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank getrocknet (Trocknungstemperatur 100 °C bzw. 40 °C für gipshaltige Baustoffe oder für Baustoffe, bei denen höhere Temperaturen zu vermeiden sind).

4.2.1.5 Sorptionsfeuchtegehalt

Ein poröser hygroskopischer Stoff bindet an den inneren Oberflächen seines Porensystems so lange Wassermoleküle, bis er einen dem Feuchtezustand der umgebenden Luft entsprechenden Ausgleichswassergehalt erreicht. Dabei treten ab einer relativen Luftfeuchte von ca. 60 - 80 % wegen der Dampfdruckerniedrigung in den feinen Kapillaren zusätzlich Kondensationserscheinungen auf, die einen deutlichen Anstieg des Feuchtegehaltes zur Folge haben. Als Bezugsfeuchtegehalt wird die Sorptionsfeuchte bei 80 % Luftfeuchte bezeichnet. Die Bestimmung erfolgt nach DIN EN ISO 12 571 [16].

Bei der Messung werden die Prüfkörper bei konstanter Luftfeuchte in der Klimakammer bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Durchgeführt wird die Messung bei 80 und 93 % relativer Feuchte.

4.2.2 Sonstige Kennwerte

4.2.2.1 Rohdichte

Die Rohdichte (Darrrohndichte) ist das Verhältnis der Masse eines Probenstückes zum Gesamtvolumen der Probe. Die Masse bezieht sich auf das Trockengewicht des Prüfkörpers. Für Holzwerkstoffe wurde diese nach Trocknung bei 40 °C und anschließend nach Trocknung bei 100 °C bestimmt. Ab Temperaturen von 80 - 130 °C verdunstet chemisorptiv gebundenes Wasser und dieses wird durch die Trocknung bei 100 °C auch erfasst. Jedoch verdunsten mit zunehmender Temperatur auch enthaltene Terpene, so dass die Trocknungstemperatur nach oben hin begrenzt ist.

4.2.2.2 Reindichte

Bei porösen Stoffen bezieht sich die Reindichte auf das reine Stoffvolumen ohne Berücksichtigung des Porenraumes. Die Reindichte für Holz und Holzwerkstoffe liegt üblicherweise bei etwa 1500 kg/m³. Zur Messung der Reindichte wird ein Helium-Pyknometer mit folgendem Funktionsprinzip eingesetzt: Es wird die Änderung des Heliumdruckes im bekannten Messzellenvolumen vor und nach Einbringung der Probe gemessen und somit das Volumen des Feststoffgerüsts bestimmt. Durch Division der Masse der Probe durch dieses Volumen ergibt sich die Reindichte

4.2.2.3 Kapillartransportkoeffizient

Die unter isothermen Bedingungen gemessene Erhöhung der Wasserdampfdurchlässigkeit bei Erhöhung der mittleren Stofffeuchte beruht auf einem der Diffusion überlagerten Feuchtetransport in flüssiger Phase. Für beide Transportmechanismen wirken unterschiedliche Transportpotentiale, deshalb ist die Vermischung beider Transportarten zu einem feuchteabhängigen Diffusionskoeffizienten nicht korrekt [7].

Obwohl es sich beim Kapillartransportkoeffizienten eigentlich um eine Strömungserscheinung handelt, lässt sich der Flüssigtransport in den Porenräumen mit für bauphysikalische Zwecke hinreichender Genauigkeit durch einen Diffusionsansatz beschreiben.

Der Flüssigtransportkoeffizient für den Saugvorgang D_{ws} beschreibt die kapillare Wasseraufnahme bei vollständiger Benetzung der Bauteiloberfläche. Dies entspricht in bauphysikalischem Zusammenhang der Berechnung des Bauteils oder einem Wasseraufnahmeversuch. Der Saugvorgang wird von den größeren Kapillaren bestimmt, da sie zwar eine geringere Saugkraft als die kleinen Kapillaren besitzen, aber auch einen noch stärker verminderten Strömungswiderstand.

Für den Saugvorgang lässt sich zwischen D_{wsf} und dem w -Wert der folgende Zusammenhang herleiten:

$$D_{wsf} = \frac{K\pi w^2 \ln(D_{wsf} / D_{ws0})}{4u_f(u_f - u_{80})} + D_{ws0}$$

D_{wsf}	[m ² /s]	Kapillartransportkoeffizient bei freier Wassersättigung
D_{ws0}	[m ² /s]	Kapillartransportkoeffizient im Sorptionsfeuchtebereich, stoffunabhängig auf $2 \cdot 10^{-10}$ m ² /s angesetzt
u_f	[kg/m ³]	freie Wassersättigung
u_{80}	[kg/m ³]	Sorptionswassergehalt bei 80 % r. F. (Bezugsfeuchtegehalt)
K	[-]	Korrekturfaktor
w	[kg/m ³]	Wassergehalt

Dieser Ansatz ist in der Software „Hygroapprox“ des Fraunhofer Instituts für Bauphysik integriert und wurde zur Bestimmung der angegebenen Koeffizienten verwendet. Für den Fall dass die Berechnung mit $D_{ws0} = 2 \cdot 10^{-10}$ m²/s den gleichen Wert für D_{wsf} ergibt wird D_{ws0} solange verringert, bis diese Kennwerte geringfügig unterschiedlich sind.

Der Flüssigtransportkoeffizient Weiterverteilen D_{ww} beschreibt die Umverteilung des aufgesaugten Wassers, wenn nach Beendigung der Benetzung kein neues Wasser mehr eindringt und das vorhandene Wasser sich zu verteilen beginnt. Im Bauteil entspricht dies der Feuchtewanderung in Abwesenheit von Regen. Das Weiterverteilen wird von den kleineren Kapillaren bestimmt, da sie mit ihrer größeren Saugkraft die großen Kapillaren leersaugen.

Der Transportkoeffizient für das Weiterverteilen kann für den hygroskopischen Feuchtebereich aus der „feuchteabhängigen“ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl mittels folgenden Ansatz berechnet werden [7]:

$$D_w = \frac{D_D p_s}{RT} \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu^*} \right) / \frac{dw}{d\Phi}$$

D_w	[m ² /s]	Flüssigtransportkoeffizient
D_D	[m ² /s]	Dampfdiffusionskoeffizient in Luft
p_s	[Pa]	Sättigungsdampfdruck
R	[J/kgK]	Gaskonstante für Wasserdampf
T	[K]	absolute Temperatur
μ	[-]	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl aus Trockenbereichsmessung
μ^*	[-]	fiktive Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (mit Flüssigtransport)
w	[kg/m ³]	Wassergehalt
Φ	[-]	relative Feuchte

Allerdings lässt sich so nur auf Koeffizienten für Feuchtegehalte unter 93 % r. F. (höchste Feuchte bei der Bestimmung der Diffusionswiderstandszahl) schließen. Die mit der obigen Formel berechneten Koeffizienten werden der mittleren Feuchte zugeordnet, die bei der Bestimmung der Diffusionswiderstandszahl zugrunde liegt. Dies ist jedoch nur bei Werkstoffen möglich, die eine fallende Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl mit zunehmender Feuchte zeigen. Bei den restlichen Holzwerkstoffen, wurden die Flüssigtransportkoeffizienten für eine Feuchte von 93 % r. F. und für die freie Sättigung (D_{wwf}) ermittelt. Die Transportkoeffizienten in diesem Feuchtebereich wurden durch Nachrechnung des Trocknungsversuches (siehe oben) bestimmt.

4.3 Rechnerische Untersuchungen

Für die rechnerischen Untersuchungen wird das Berechnungsprogramm WUFI (Wärme und Feuchte instationär) verwendet, das vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelt wurde [7, 17]. Die Software basiert auf einem instationären Berechnungsmodell. Dabei wird anhand von gegebenen Klimaverläufen (z.B. Innen- und Außenklima) das hygrothermische Verhalten eines Bauteils berechnet.

4.3.1 Softwarebeschreibung

WUFI beruht auf einem geschlossenen Gleichungssystem, welches die hygrothermischen Transportvorgänge beschreibt. Dazu gehören: Flüssigtransport (Saugen, Weiterverteilen), Wasserdampfdiffusion, Feuchtespeicherung, Wärmeleitung (feuchteabhängig) und Regenabsorption an der Außenoberfläche.

Zur Erläuterung der wesentlichen Schritte bei der Lösung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportgleichungen ist das Ablaufschema des Berechnungsverfahrens, das dem EDV Programm WUFI zugrunde liegt, anhand des Flussdiagramms in Bild 1 beschrieben.

Für die Berechnung des Wärme- und Feuchteverhaltens von Bauprodukten mit dem Programm WUFI sind einige Datensätze erforderlich, diese sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Dabei ist zunächst die Kenntnis folgender Daten erforderlich:

- Der Aufbau des zu berechnenden Bauteils und das numerische Gitter.
- Die thermischen und hygrischen Stoffkennwerte und -funktionen, der am Aufbau beteiligten Baustoffe.
- Die klimatischen Randbedingungen innen und außen. Als Klimaparameter dienen die Temperatur und die relative Luftfeuchte. Außerdem können die kurzwellige und langwellige Strahlung und der Niederschlag auf die Bauteiloberfläche berücksichtigt werden.
- Die Übergangsbedingungen an den Bauteilgrenzen. Zu den Übergangsbedingungen gehören der Wärme- und Feuchteübergangskoeffizient sowie der Regenfaktor, der Strahlungsabsorptionsgrad und der -emissionsgrad.

Nach der Eingabe dieser Datensätze werden zunächst die stationären Anfangsverteilungen von Feuchte und Temperatur berechnet oder beliebige Ausgangszustände, z. B. Verteilungen aus Messungen oder anderen Berechnungen eingelesen. Nun beginnt die instationäre Berechnung der Temperatur- und Feuchtefelder.

Für jeden neuen Zeitschritt werden die gekoppelten Wärme- und Feuchte-transportgleichungen solange abwechselnd gelöst, bis das vorgegebene Abbruchkriterium erreicht ist. Dabei werden vor jeder iterativen Lösung der Wärmetransportgleichung alle feuchte- und temperaturabhängigen thermischen Speicher- und Transportkoeffizienten aktualisiert. Das Gleiche gilt für die Berechnung der hygrischen Koeffizienten vor der Lösung der Feuchte-transportgleichung. Am Ende des vorgegebenen Berechnungszeitraumes beginnt die Ausgabe der gewünschten Temperatur- und Feuchtefelder sowie der zeitlichen Verläufe dieser Variablen.

4.3.2 Berechnungsvarianten

Im Anschluss an die Messung der Stoffkennwerte sollen Konstruktionen hinsichtlich ihrer Feuchtesicherheit berechnet werden. Einen Schwerpunkt dieses Teils der Untersuchungen bildet der Vergleich der Berechnungsergebnisse, die mit den unterschiedlichen feuchte-technischen Kennwerten berechnet werden. Interessant ist dabei der Vergleich der Ergebnisse bei einem konstanten Diffusionswiderstand dieser Platte zu einem feuchteabhängigen. Dieser könnte im Falle einer sommerlichen Umkehrdiffusion zu einem erhöhten Trocknungspotential beitragen und damit helfen Bauschäden zu vermeiden. Weiterhin erfolgt eine Betrachtung von zwei Holzwerkstoffen. Zum einen ein Material mit starker Feuchteabhängigkeit der Diffusionswiderstandszahl und zweitens ein Material welches dieses Verhalten nicht zeigt.

Die hygrothermischen Untersuchungen werden an zwei Konstruktionsvarianten durchgeführt. Erstens an einem Dachaufbau. Dieser ist von innen nach außen folgendermaßen aufgebaut: Gipsplatte, Holzwerkstoff, Mineralwolle als Dämmstoff, diffusionsoffene Holzwerkstoffplatte (mitteldichte Faserplatte), hinterlüftete Dacheindeckung. Der Aufbau ist in Bild 2 dargestellt. Dieser Aufbau wurde gewählt, da dieser im Holzbau häufig eingesetzt wird. Als Randbedingungen für die Berechnung wurde eine Ausrichtung des Daches nach Norden gewählt, da hier nur eine geringe Solarstrahlung auf das Dach trifft und dies

den bauphysikalisch ungünstigeren Fall darstellt. Weiterhin weist das Dach eine Neigung von 35° auf. Als Dacheindeckung wurde ein hinterlüfteter Aufbau gewählt. Weiterhin wird als Außenklima Wetterdaten von Holzkirchen aus dem Jahr 1991 angesetzt; diese Wetterdaten können im langjährigen Vergleich als typisch für diesen Standort betrachtet werden. Letztlich wurde für das Innenklima eine normale Feuchtelast angenommen. Dies entspricht einer Raumtemperatur von 21 ± 1 °C und einer Feuchte von 50 ± 5 % r. F.

Als zweite Konstruktionsvariante wird ein Aufbau mit außen liegendem Wärmedämmverbundsystem betrachtet (Bild 3). Dieser besteht (von innen nach außen) aus Gipsbauplatte, Holzwerkstoff, Mineralwolle, Holzwerkstoff (entsprechend innen liegendem Holzwerkstoff), Wärmedämmverbundsystem (Mineralwolle bzw. EPS), mineralischer Außenputz. Durch das außen liegende WDVS werden im Winter hohe Feuchten der äußeren Holzwerkstoffplatte erreicht. Gerade in diesem Feuchtebereich kommt der Feuchtetransport durch Kapillarleitung zu tragen. Als Außenklima für die Berechnungen wird wieder der Klimadatensatz von Holzkirchen für das Jahr 1991 verwendet. Als Ausrichtung der Konstruktion wird diesmal Westen gewählt, da am Standort Holzkirchen die größte Schlagregenmenge aus dieser Richtung auf die Konstruktion trifft. Als Innenklima wird wiederum eine normale Feuchtelast angenommen (Temperatur: 21 ± 1 °C, Feuchte: 50 ± 5 % r. F).

Um den Einfluss der unterschiedlichen Transportmechanismen zu zeigen, werden jeweils drei Varianten berechnet. Erstens mit Feuchtetransport durch Kapillarleitung; diese Variante enthält alle ermittelten Kennwerte. Zweitens ohne Kapillarleitung, dies entspricht dem Fall, dass nur der Diffusionswiderstand (aus der dry-cup Messung) bekannt ist. Und drittens mit feuchteabhängigem Diffusionswiderstand (wiederum ohne Flüssigtransport), jedoch wird der durch Kapillartransport auftretende Feuchtestrom durch einen reduzierten Diffusionswiderstand berücksichtigt.

5 Ergebnisse der Untersuchungen

5.1 Literaturrecherche und Auswahl von Holzwerkstoffen für die Untersuchungen

Die Literaturrecherche ergab, dass es etwa 70 Hersteller von Holzwerkstoffen für das Baugewerbe gibt, deren Produkte in Deutschland erhältlich sind. Die große Bandbreite der verfügbaren Holzwerkstoffe erschwerte die Auswahl repräsentativer Produkte für die Untersuchungen. Die Diskussion mit einzelnen Herstellern zeigte auch, dass die Produktionsparameter häufiger geändert werden als angenommen. Dies findet unter der Voraussetzung statt, dass die statisch einzuhaltenden Grenzwerte erfüllt werden. Als Beispiel sei hier angeführt, dass höherwertige Platten als geringwertigere vertrieben werden, wenn eine Umstellung auf die sonst übliche Leimrezeptur/Prozessparameter zu aufwändig und das angefragte Material gerade nicht auf Lager ist. Auch die Variation in verschiedenen Leimrezepturen, die für die Festigkeitseigenschaften gleichwertig

sind, kann vorkommen, ohne dass diese Platten gesondert gekennzeichnet werden. Dadurch ergibt sich eine zusätzliche Unsicherheit in den feuchtetechnischen Kennwerten, da diese vom verwendeten Leim abhängen.

In der Holzwerkstoffindustrie werden überwiegend synthetische Klebstoffe eingesetzt. Diese werden nach Art der chemischen Reaktion eingeteilt: Abbinden durch Polymerisation, Polykondensation und durch Polyaddition (siehe Bild 4 nach [18]). Da dies nur eine Grobgliederung der verwendeten Klebstoffe darstellt und die verwendeten Klebstoffe von den Herstellern nur grob klassifiziert werden, erfolgte die Materialauswahl überwiegend nach Hersteller bzw. nach Fertigungsverfahren.

5.1.1 Oriented Strand Board (OSB)

Bei OSB wurden zunächst zwei verschiedene Platten gewählt. Eine wird auf einer sog. Conti-Pressen (OSB1; jeweils Abkürzung für diese Untersuchungen, keine Produktbezeichnung) und die andere auf einer Etagenpresse (OSB2) hergestellt. Diese beiden Materialien unterscheiden sich zusätzlich darin, dass eine Platte eine geschliffene und die andere eine ungeschliffene Oberfläche aufweist. Dies liegt an den zugrunde liegenden Herstellverfahren. Bei der Etagenpresse ist die Dickengenauigkeit nicht ausreichend hoch, so dass die Rohplatten geschliffen werden müssen, um diese Toleranzen einzuhalten. Ein weiterer Unterschied ist, dass der Klebstoff der Platte, die auf der Contipresse gefertigt wurde, formaldehydfrei, die andere jedoch formaldehydhaltig verleimt ist. Weiterhin zeigte die Literaturrecherche, dass OSB-Platten eine starke Zunahme der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl mit zunehmender Dicke aufweisen. Daher wurde auch die Dicke der Platte variiert (OSB3). Zusätzlich erfolgt bei dieser Platte eine schichtweise Bestimmung der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (Deckschicht: OSB3a; Mittellage: OSB3b). Damit kann abgeschätzt werden, ob die Zunahme des μ -Wertes durch die Mittellage oder die Deckschicht begründet ist.

5.1.2 Holzspanplatten

Bei Holzspanplatten sind derartige Unterschiede in den feuchtetechnischen Werkstoffeigenschaften nicht bekannt. Daher wurden zwei verschiedene Platten stellvertretend ausgewählt. Diese werden im Bauwesen überwiegend als Verlegeplatte eingesetzt. Diese beiden Platten unterscheiden sich hauptsächlich in der Spangeometrie (fein: SP1; grob: SP2).

5.1.3 Faserplatten (Faserdämmplatten, Mitteldichte Faserplatten)

Faserplatten werden im Baugewerbe zum einen als Dach- oder Wandbeplankung eingesetzt, zum anderen als Dämmstoff. Diese beiden Anwendungsgebiete unterscheiden sich in der Rohdichte der Produkte. Stellvertretend wurden für jedes Anwendungsgebiet zwei Produkte ausgewählt:

- Faserdämmplatten: DP1/DP2
- Mitteldichte Faserplatten: MDF1/MDF2.

5.1.4 Furniersperrholz, Furnierschichtholz

Sperrholz wird am deutschen Baumarkt nur zu einem geringen Anteil verbaut (Kosten). Daher wurde von den wichtigsten Vertretern jeweils ein Produkt in die Messreihe aufgenommen: einerseits Baufurniersperrholz aus Fichte (BFU), andererseits Baufurniersperrholz aus Buche (BFU-BU); als weiteres Produkt Furnierschichtholz (FSH). Furnierschichtholz ist, wie der Name schon sagt, auch aus Lagen von Furnieren aufgebaut. Im Gegensatz zum Sperrholz sind die Lagen nicht unbedingt gegenseitig um 90° verdreht. Aufgrund der Stabilität sind jedoch auch versetzte Lagen notwendig. Durch diesen Aufbau ergibt sich eine hohe Tragkraft in einer Plattenrichtung. Daher werden diese Produkte hauptsächlich dort eingesetzt, wo es auf die Tragfähigkeit ankommt und andere Produkte an geometrische Grenzen stoßen.

5.1.5 Mehrschichtplatten

Mehrschichtplatten bestehen aus 3 bzw. 5 kreuzweise verleimten Schnittholzlagen. Neben dem Möbelbau werden diese Platten als Schalungen oder als tragende Bauteile eingesetzt. Mengenmäßig ist die Verwendung jedoch auch eher gering. Durch die geringe Anzahl an Leimschichten werden die feuchtetechnischen Kennwerte überwiegend durch das Holz bestimmt. Daher wurde nur ein Produkt, eine Dreischichtplatte (3S), in die Untersuchung aufgenommen. Fünflagige Produkte kommen überwiegend in größeren Dicken vor. Bei diesen ist die Bestimmung der Kennwerte sehr langwierig und wird deshalb nicht durchgeführt.

5.1.6 Referenzmaterial

Als Referenzmaterial wurde eine handelsübliche Gipsbauplatte gewählt.

5.2 Kennwerte der Holzwerkstoffplatten

Vereinzelt finden sich Angaben zu den bauphysikalischen Stoffkennwerten von Holzwerkstoffen in der Literatur. Meist beziehen sich diese jedoch auf die jeweiligen Angaben in den Normen zu den Holzwerkstoffen. Eine Übersicht der aktuellen Normen in Bezug auf Holzwerkstoffe ist im Anhang 1 zu finden. Gelegentlich wird auch auf Angaben in den Zulassungen von Holzwerkstoffen verwiesen. Eine Zusammenstellung der Zulassungen befindet sich im Anhang 2. Eine Auswertung dieser Angaben ergab, dass die Eigenschaften der Holzwerkstoffe in einem weiten Bereich streuen können. Eine entsprechende Übersicht bietet Tabelle 4. Besonders bei OSB zeigte sich, dass sich die Angaben zur Diffusionswiderstandszahl bis zum Faktor 6 unterscheiden.

Die Kennwerte der im IBP untersuchten Holzwerkstoffe sind in tabellarischer Form aufgelistet. Die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt in den folgenden Kapiteln.

5.2.1 Oriented Strand Board

Die ermittelten Kennwerte für die 3 untersuchten OSB-Platten sind in Tabelle 5 für OSB1 (formaldehydfrei verleimt, Contipresse), in Tabelle 6 für OSB2

(geschliffene Oberfläche, Etagenpresse) und Tabelle 7 für OSB3 (wie OSB1, größere Dicke) aufgelistet. Weiterhin wurde die OSB3 Platte in 3 Schichten in Plattenebene aufgeteilt. An diesen Prüfkörpern wurde eine reduzierte Anzahl von Kennwerten untersucht. Die Werte der Decklage sind in Tabelle 8 und die der Mittellage in Tabelle 9 aufgeführt.

In der Rohdichte unterscheiden sich OSB1 und OSB2 nahezu nicht (615 kg/m³ bei OSB1 zu 595 kg/m³ bei OSB2). Die dickere Platte (OSB3) hat eine etwas niedrigere Rohdichte mit 553 kg/m³. Die Reindichte aller drei Platten liegt gleich hoch.

Im Gegensatz dazu ist die Diffusionswiderstandszahl μ der einen Platte (OSB1) nahezu unabhängig von der relativen Feuchte. Diese Platte hat in der dry-cup Messung ein μ von 175, beim Differenzklima 50/75 % r. F. ein μ von 164 und in der wet-cup Messung von 167. Die andere Platte hat im Vergleich dazu im dry-cup Verfahren ein μ von 165, im Differenzklima von 50/75 ein μ von 117 und im wet-cup Verfahren hingegen nur 96. Bei OSB3 wurde eine deutlich niedrigere Diffusionswiderstandszahl von 134 (123) im dry-cup (wet-cup) Verfahren gemessen. Aufgrund dieser geringen Feuchteabhängigkeit wurde auf die Bestimmung der Diffusionswiderstandszahl im Differenzklima 50/75 % r. F. verzichtet. Die Betrachtung der aufgeschnittenen OSB3-Platte ergab, dass die Deckschicht relativ diffusionsdicht ist ($\mu_{\text{Deckschicht/dry-cup}} = 195$). Die Mittellage ist im Vergleich dazu sehr diffusionsoffen ($\mu_{\text{Mittellage/dry-cup}} = 50$). Zum Zeitpunkt der Probenaufbereitung lagen noch keine Informationen über den Plattenaufbau vor, so dass die gewählte Dicke der Decklage nicht ganz dem Plattenaufbau entspricht (ca. 20 % Decklage - 60 % Mittellage - 20 % Decklage).

Bei den beiden 15 mm starken Platten sinkt die Diffusionswiderstandszahl nach einmaliger Befeuchtung bei OSB1 von 175 auf 122 und bei OSB2 von 165 auf 75. Dies bedeutet eine Absenkung des Diffusionswiderstandes auf weniger als die Hälfte des Ausgangswertes! Eine derartige Änderung der Feuchtekenne-werte muss bei Berechnungen Berücksichtigung finden. Die 30 mm starke OSB3 zeigt hier ein entgegen gesetztes Verhalten. Die Diffusionswiderstandszahl erhöht sich von 134 auf 186.

Der Wasseraufnahmekoeffizient ist bei den untersuchten Platten niedrig. Dieser beträgt im Falle von OSB1 0.05 kg/m²h^{1/2}, OSB3 0.06 kg/m²h^{1/2} und bei OSB2 0.12 kg/m²h^{1/2}.

Die Sorptionsfeuchten von OSB1 und OSB2 unterscheiden sich nur wenig. Die freie Wassersättigung bei OSB2 liegt mit 81.4 Vol.-% deutlich höher als diejenige bei OSB1 mit 63.6 Vol.-% bzw. OSB3 mit 61 Vol.-%.

Der Trocknungsverlauf der untersuchten OSB-Platten ist in Bild 5 bis Bild 7 dargestellt. In diesen Grafiken ist weiterhin die Nachrechnung des Trocknungsverlaufes mittels WUFI mit dargestellt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung dieser Ergebnisse. Die dazu angepassten Kapillartransportkoeffizienten sind in der Tabelle mit aufgelistet.

5.2.2 Holzspanplatten

Insgesamt wurden zwei Holzspanplatten untersucht. Die Kennwerte der SP1 sind in Tabelle 10 und die von SP2 in Tabelle 11 zusammengefasst. Die Rohdichte beträgt 663 kg/m³ bei SP1 (bzw. 685 kg/m³ für SP2) nach Trocknung bei 40°C bzw. 620 (664) kg/m³ nach Trocknung bei 100°C. Die Diffusionswiderstandszahl SP1 zeigt eine leichte Zunahme mit steigender relativer Feuchte. Bei der dry-cup Messung ergibt sich ein μ -Wert von 44, im Differenzklima von 50/75 ein Wert von 46 und bei der wet-cup Messung ein Wert von 53. Die Diffusionswiderstandszahl von SP2 (grobe Spanplatte) liegt deutlich über den Werten der SP1. Bei der dry-cup Messung ergibt sich ein μ von 92 und bei der wet-cup Messung von 79. Die Diffusionswiderstandszahl sinkt nach Befeuchtung auf 33 bei SP1 bzw. auf 89 bei SP2.

Der Wasseraufnahmekoeffizient von SP1 konnte zunächst nicht zuverlässig bestimmt werden, da die Probe durchfeuchtet ist und durch die hohe Dickenquellung die Paraffinabdichtung gebrochen ist. Eine Wiederholung der Messung ergab 0.22 kg/m²h^{1/2}. Der Wasseraufnahmekoeffizient von SP2 liegt in einem üblichen Größenbereich mit 0.11 kg/m²h^{1/2}.

Die Sorptionsfeuchtegehalte der beiden untersuchten Spanplatten SP1 (SP2) unterscheiden sich gering: 11.0 (9.1) Vol.-% bei 23°C und 80 % r. F. bzw. 15.9 (14.1) % bei 93 % r. F. Die freie Sättigung der Proben ergab deutlichere Unterschiede mit und 73.8 bzw. 59 Vol.-% für SP1 bzw. SP2.

Der Trocknungsverlauf einschließlich der WUFI-Nachrechnung ist in Bild 8 für SP1 und in Bild 9 für SP2 dargestellt.

5.2.3 Faserplatten (Faserdämmplatten, mitteldichte Faserplatten)

Die untersuchte Holzfaserdämmplatte DP1 (Tabelle 12) hat eine Rohdichte von 176 (165) kg/m³ nach Trocknung bei 40 °C (100°C). Die Diffusionswiderstandszahl ist niedrig und schwankt feuchteabhängig zwischen 1.8 und 4.7. Bei der wiederholten dry-cup Messung nach einmaliger Durchfeuchtung zeigte sich eine geringfügige Erhöhung der Diffusionswiderstandszahl von 1.8 auf 3.2. Der Wasseraufnahmekoeffizient liegt bei 0.09 kg/m²h^{1/2}. Der Feuchtegehalt beträgt 2.7 (3.8) Vol.-% bei 23°C und 80 (93) % r. F. Der Trocknungsverlauf der DP1 konnte trotz der extremen Wasseraufnahme mit WUFI nachgerechnet werden (Bild 10).

Die Holzfaserdämmplatte DP2 (Tabelle 13) hat eine geringfügig niedrigere Rohdichte mit 163 (159) kg/m³ nach Trocknung bei 40 (100) °C als DP1. Die Diffusionswiderstandszahl beträgt 3.3 in der dry-cup Messung und 3.8 in der wet-cup Messung. Auch nach einmaligem Befeuchten der Platte verändert sich der Diffusionswiderstand (dry-cup) nicht. Der Wasseraufnahmekoeffizient ist mit 0.11 kg/m²h^{1/2} niedrig. Die Nachrechnung des Trockenverlaufs ist in Bild 11 dargestellt.

Sehr ähnliche Kennwerte zeigen auch die beiden MDF Platten. MDF1 (Tabelle 14) hat eine Rohdichte von 531 (508) kg/m³ und die MDF2 (Tabelle 15) 567 (528) kg/m³ nach Trocknung bei 40 °C (100 °C). Die Diffusionswiderstandszahl

ist bei MDF1 etwas höher und schwankt zwischen 12 und 15 und bei MDF2 zwischen 9 und 12 je nach eingestellten Differenzklima. MDF1 zeigte keine Veränderung des μ - Wertes nach einmaliger Befeuchtung. Bei MDF2 stieg die Diffusionswiderstandszahl geringfügig von 9.4 auf 11. Beide Platten haben auch den gleichen Wasseraufnahmekoeffizient von $0.07 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$. Der Feuchtegehalt bei $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und $80 \text{ } \%$ r. F. beträgt für MDF1 (MDF2) 6.6 (7.0) Vol.-%, bei $93 \text{ } \%$ r. F. 8.9 (9.4). Beide Werkstoffe haben die gleiche freie Wassersättigung mit 66.7 Vol.-%. Der Trocknungsverlauf konnte auch bei diesen Holzwerkstoffen rechnerisch nachvollzogen werden (Bild 12 und Bild 13).

5.2.4 Furniersperrholz, Furnierschichtholz

Das Furniersperrholz BFU (Übersicht der Kennwerte Tabelle 16) hat eine niedrigere Rohdichte als die OSB-, Span- und MDF-Platten. Diese liegt bei 462 (427) nach Trocknung bei $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ($100 \text{ }^\circ\text{C}$). Das BFU zeigt auch eine deutliche Abnahme der Diffusionswiderstandszahl von 188 bei der dry-cup Messung zu einem μ -Wert von 56 bei der wet-cup Messung. Der Zwischenwert bei einem Differenzklima $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50/75 \text{ } \%$ relativer Feuchte beträgt 72 . Die Diffusionswiderstandszahl sank nach einmaliger Durchfeuchtung auf 143 . Der Wasseraufnahmekoeffizient ist mit $0.13 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ in einem ähnlichen Bereich wie die bisher betrachteten Holzwerkstoffe. Der Ausgleichsfeuchtegehalt liegt bei 7.0 Vol.-% für $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und $80 \text{ } \%$ r. F. bzw. bei 10.1 Vol.-% bei $93 \text{ } \%$ r. F. Der Trocknungsverlauf des Sperrholzes ist in Bild 14 dargestellt.

Das Baufurniersperrholz aus Buche BFU-BU (Tabelle 17) ist das Material mit der höchsten Rohdichte: 727 (708) kg/m^3 nach Trocknung bei $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (100°C). Die Diffusionswiderstandszahl ist mit 242 in der dry-cup Messung hoch. Diese sinkt jedoch im wet-cup auf 67 . Die wiederholte Messung nach Befeuchtung der Platte ergibt eine geringere Diffusionswiderstandszahl von 175 . Der Wasseraufnahmekoeffizient ist mit $0.27 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ ebenfalls niedrig. Die Feuchtegehalte bei 23°C und 80 (93) $\%$ r. F. liegen bei 10.1 (15.6) Vol.-%. Der freien Wassersättigung entspricht einem Feuchtegehalt von 53 Vol.-%. Der Trocknungsverlauf kann Bild 15 entnommen werden.

Außerdem wurde ein Furnierschichtholz FSH (Tabelle 18) untersucht. Dieses unterscheidet sich vom BFU im Wesentlichen dadurch, dass die einzelnen Holzlagen nicht unbedingt um 90° versetzt sind. Die Rohdichte liegt geringfügig über der des BFU und beträgt 506 (462) kg/m^3 nach Trocknung bei 40°C bzw. 100°C . Auch bei diesem Material zeigt sich eine Abnahme der Diffusionswiderstandszahl mit zunehmender Feuchte. Im Trockenbereich ($23 \text{ }^\circ\text{C}$ - $0/50 \text{ } \%$ r. F.) beträgt diese 156 , im Differenzklima $23 \text{ }^\circ\text{C}$ - $50/75 \text{ } \%$ r. F. beträgt diese 69 und im wet-cup Verfahren 51 . Die Diffusionswiderstandszahl nach einmaliger Befeuchtung der Platten bleibt nahezu unverändert. Durch Inhomogenitäten im Material schwankten die Einzelwerte des Wasseraufnahmekoeffizienten stark, der Mittelwert mit $0.19 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ liegt jedoch in der üblichen Größenordnung. Der Feuchtegehalt bei $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und $80 \text{ } \%$ r. F. beträgt 7.6 Vol.-% und bei $93 \text{ } \%$ r. F. 10.4 Vol.-%. Die freie Sättigung entspricht einer Feuchte von 52.5 Vol.-%. Der Trocknungsverlauf ist in Bild 16 gezeigt.

5.2.5 Mehrschichtplatten

Die feuchtetechnischen Kennwerte der Dreischichtplatte (Tabelle 19) sind ähnlich denen des BFU bzw. des FSH. Die Rohdichte beträgt 488 (454) nach Trocknung bei 40 °C (100 °C). Die Diffusionswiderstandszahl liegt bei der dry-cup Messung bei 203, im Differenzklima 23°C 50/75 % r. F. bei 71 und sinkt auf 47 bei der Messung in der wet-cup Messung. Die Wiederholungsmessung der Diffusionswiderstandszahl nach der inverted wet-cup Messung ergab eine Erhöhung des Wertes auf 261. Der Wasseraufnahmekoeffizient ist mit 0.09 kg/m²h^{1/2} im gleichen Bereich wie der der restlichen Materialien. Bei einem Klima von 23 °C und 80 (93) % r. F. stellte sich ein Wassergehalt von 7.3 (9.8) Vol.-% ein. Die freie Wassersättigung liegt bei 53.4 Vol.-%. Der Trocknungsverlauf und die zugehörige Nachrechnung mit WUFI ist in Bild 17 dargestellt.

5.2.6 Referenzmaterial

Im Holzbau werden Gipsbauplatten häufig als raumseitige Innenbeplankungen oder als Feuerschutzbeplankung eingesetzt. Die bauphysikalischen Kennwerte sind weitestgehend bekannt. Daher sind nur die für die Berechnung notwendigen Kenngrößen aufgelistet. Die Rohdichte der Platten liegt mit 850 kg/m³ deutlich über den untersuchten Holzwerkstoffen. Die Reindichte ist mit 2400 etwa doppelt so hoch (wie bei den Holzwerkstoffen). Im Gegensatz dazu ist die Diffusionswiderstandszahl mit 8.3 (7.3) im dry-cup (wet-cup) niedrig und zeigt nur eine geringe Feuchteabhängigkeit. Die Sorptionsfeuchte bei 80 bzw. 93 % r. F. liegt bei 0.63 bzw. 1.7 Vol.-%. Die freie Wassersättigung beträgt 40 Vol.-%.

5.3 Rechnerische Untersuchungen

Zum leichteren Verständnis der Berechnungsergebnisse erfolgt zunächst eine kurze Beschreibung der maßgebenden Materialkennwerte der OSB-Platte (OSB2) und der Dreischichtplatte (3S). Die Dreischichtplatte hat im Vergleich zur OSB-Platte im Differenzklima 23°C und 0/50 % r. F. eine höhere Diffusionswiderstandszahl. Daher ergibt sich in der Berechnungsvariante ohne Kapillarleitung, bei der nur die Diffusion den Feuchtetransport bestimmt, ein dichteres Verhalten gegenüber Feuchte. Die Feuchteabhängigkeit der Diffusionswiderstandszahl ist jedoch wesentlich stärker ausgeprägt als bei der OSB-Platte (Bild 18). Die Abhängigkeit wird nur in der Variante mit variablen Diffusionswiderstand betrachtet. Wie oben beschrieben ist die Ursachen für diesen reduzierten Diffusionswiderstand ein überlagerter Feuchtetransport durch Kapillarleitung. In WUFI wird eine Feuchteabhängigkeit des Diffusionswiderstandes schon ab 25 % r. F. angenommen (dies entspricht der mittleren Feuchte aus dem Dry-cup Versuch (siehe Bild 18)). Der Kapillartransport hingegen findet erst ab der niedrigsten Feuchte, der ein Transportkoeffizient zugeordnet ist, statt (Bild 19). Aus dem feuchteabhängigen Diffusionswiderstand lassen sich nur Kapillartransportkoeffizienten ab 63 % r. F. ableiten. Bis zu diesem ersten Wert ist der Feuchtetransport auf die Diffusion beschränkt.

Dachaufbau:

Wie bei diesem diffusionsoffenen Dachaufbau zu erwarten war, ist dieser als unkritisch zu bewerten, da die äußere MDF-Platte nur bis maximal 15 M.-% im Dezember auffeuchtet (Bild 20). Die durch die Feuchteabhängigkeit der innen liegenden Holzwerkstoffe (OSB2 bzw. 3S) zusätzlich eingebrachte Feuchte fällt nur sehr wenig ins Gewicht, da der Diffusionswiderstand der MDF-Platte deutlich unter dem der innenliegenden Platten ist (in allen drei Varianten) und somit die Feuchte nach außen abtransportiert werden kann. Dies begründet die geringen Unterschiede zwischen den drei Berechnungsvarianten.

Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem

In den Beispielrechnungen mit Wärmedämmverbundsystem wurde gezielt auf den Einsatz einer Dampfbremse verzichtet. Dadurch werden vergleichsweise hohe Feuchten der außen liegenden Holzwerkstoffplatte erreicht.

In Bild 21 sind die Berechnungsergebnisse für den Aufbau mit WDVS aus Mineralwolle dargestellt. In beiden Varianten ist das verzögerte Austrocknen der Variante ohne Kapillarleitung auffällig. Im Winter feuchtet diese Variante entsprechend den anderen beiden auf, in den Monaten Januar bis einschließlich Mai liegt die Feuchte der äußeren Holzwerkstoffplatte deutlich über den anderen Varianten. Eine Begründung hierfür ist der konstant hohe Diffusionswiderstand bei beiden Holzwerkstoffen (OSB2 und 3S) in dieser Variante. Der Unterschied zwischen den Varianten mit Kapillarleitung bzw. mit feuchteabhängigen Diffusionswiderstand sind nur marginal, da zwar unterschiedliche Transportmechanismen vorliegen, aber die Richtung des Feuchtestromes die gleiche ist.

Um auch den Einfluss des Dämmmaterials des WDVS auf den Feuchtehaushalt der äußeren Holzwerkstoffplatte zu untersuchen, wurden alle Varianten auch mit einem WDVS aus EPS berechnet (Bild 22). EPS ist im Vergleich zu Mineralwolle deutlich diffusionsdichter. Die eindringende Feuchte staut sich in der außen liegenden Holzwerkstoffplatte und diese erreicht deshalb insgesamt höhere Werte als bei dem WDVS aus Mineralwolle.

Bei dem Wandaufbau mit OSB2 (Bild 22 oben) ergeben sich insgesamt nur geringe Unterschiede zwischen den Berechnungsvarianten. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in der geringen Feuchteabhängigkeit der Kennwerte. Bei dem Aufbau mit Dreischichtplatte (Bild 22 unten) ergeben sich daher deutlichere Unterschiede. In der Variante mit feuchteabhängigen Diffusionswiderstand ist dieser bei der raumseitigen Platte gegenüber dem dry-cup-Wert etwas reduziert, so dass mehr Feuchte in das Bauteil gelangt als bei der Variante mit konstantem Diffusionswiderstand und ohne Kapillarleitung. Hier werden im Februar die als kritisch einzustufenden 20 M.-% überschritten.

5.4 Zusammenfassung

Auch wenn im Rahmen dieser Untersuchung nur eine begrenzte Anzahl an Holzwerkstoffen untersucht werden konnte, ergibt sich trotzdem ein guter Überblick über die Bandbreite der feuchte-technischen Kennwerte. Eine starke Ausprägung der Feuchteabhängigkeit der Wasserdampfdiffusionswiderstands-

zahl zeigt sich vor allem bei den Sperrhölzern (auch Dreischichtplatte). Im Gegensatz hierzu stehen die Holzwerkstoffe mit hohem Zerspannungsgrad (Spanplatte, MDF, Holzfaserdämmplatte) die keine nennenswerte Feuchteabhängigkeit aufweisen. Eine Sonderstellung nimmt Oriented Strand Board ein. Von diesem Werkstoff wurden Platten von zwei verschiedenen Herstellern untersucht. Eine Platte zeigte eine deutliche Feuchteabhängigkeit, die andere nicht. Auch die Literaturrecherche [19] zeigte, dass bei diesem Material starke Unterschiede zwischen den einzelnen Platten (nicht nur herstellerabhängig sondern auch zwischen unterschiedlichen Materialstärken und Produktlinien) auftreten. Um die genaue Ursache herauszufinden, müsste hier direkt mit den Herstellern zusammengearbeitet werden, so dass man die jeweiligen Prozessparameter erfährt und variieren könnte.

Im Gegensatz zu mineralischen Baustoffen, bei denen der im Diffusionsversuch ermittelte Diffusionswiderstand für den Trockenbereich immer größer oder gleich dem des Feuchtbereichs ist, ist bei einigen Holzwerkstoffen eine umgekehrte Tendenz zu beobachten. Der Grund hierfür dürfte im deutlich stärker ausgebildeten Quellverhalten dieser Materialien im Vergleich zu mineralischen Baustoffen sein. Durch die innere Quellung werden die für die Diffusionsgeschwindigkeit maßgeblichen großen Poren verkleinert. Besonders auffällig ist der Unterschied zwischen den Kapillartransportkoeffizienten für den Saugvorgang und denen für die Weiterverteilung bzw. Trocknung. Allgemein sind die Koeffizienten für die Weiterverteilung deutlich niedriger als für den Saugvorgang, da dieser Transportmechanismus durch das Umverteilen des Wassers von den großen in die kleineren hervorgerufen wird. Die kleineren Poren besitzen zwar die größere Saugkraft, aber aufgrund der größeren Reibung ist in ihnen die Strömungsgeschwindigkeit deutlich niedriger [7]. Dieses abweichende Verhalten dürfte ebenfalls in Quellvorgängen begründet sein. Nach der Wasseraufnahme und der damit verbundenen Quellung hat der Holzwerkstoff das Bestreben in seine Ausgangsform zurückzukehren. Dabei „drückt“ der Baustoff das Wasser aus seinen Inneren heraus, was die resultierenden hohen Transportkenngrößen erklären könnte. Ein ähnliches Verhalten wurde bereits in [21] an Fichten- und Eichenholz beobachtet.

Mit diesen nun gewonnenen bauphysikalischen Kennwerten sind nun rechnerische Analysen von Konstruktionen möglich. Dass jeweils der ganze Datensatz ermittelt werden muss, zeigen auch die Berechnungsergebnisse. So sind Unterschiede im Feuchtegehalt der Holzwerkstoffe bis 5 M.-% aufgetreten, wenn z. B. der Flüssigtransport im Bauteil nicht berücksichtigt wurde.

6 Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

Die feuchtetechnischen Materialkennwerte sind nach Beendigung der Untersuchungen in eine frei zugängliche Datenbank gestellt worden und können als Grundlage für die energetische Gebäudesimulation und hygrothermische Bauteilberechnung dienen. Die verwendeten Messverfahren sind oben beschrieben und sollen nach Abschluss in entsprechende europäische und deutsche Prüfnormen überführt werden, sofern diese nicht schon existieren.

Mit Hilfe der neu gewonnenen Kennwerte ist es nun möglich Holzkonstruktionen bauphysikalisch zu optimieren und so feuchtesichere Konstruktionen zu erhalten. Dies kann unter Berücksichtigung verschiedener Holzwerkstoffe und auch für verschiedene Randbedingungen (z. B. Bauen in anderen Klimazonen) erfolgen.

Besonders sei noch Oriented Strand Board angesprochen. Die starke Variabilität der Kennwerte ist erstaunlich, die Ursache hierfür kann jedoch in bestimmten Prozessparametern (Klebstoffart, Nachbehandlung der Platten, ...) vermutet werden. Diese Kennwerte bestimmen gegebenenfalls aber auch die feuchtetechnische Sicherheit der Konstruktionen, so dass diese Variabilität genauer betrachtet werden muss. Gerade die Hersteller für dieses Material sind deshalb aufgefordert detaillierte Kennwerte ihrer Produkte anzugeben.

7 Beabsichtigte Umsetzung der Forschungsergebnisse

Die im Rahmen dieser Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse werden in Form von Publikationen und Vorträgen sowie über Internet dem Fachpublikum zugänglich gemacht. Dies wird zum Beispiel im Rahmen des Lehrganges

„Jenseits von Glaser – Neue Möglichkeiten der bauphysikalischen Planung. Instationäre Analyse des Feuchtetransports in Bauteilen mit WUFI® 3.3“

im Umweltzentrum am Deister D-31832 Springe – Eldagsen am 09. Dez. 2004 – 10. Dez. 2004 stattfinden.

Die aus den Untersuchungen gewonnenen Datenkataloge werden anderen Datenquellen zur Verfügung gestellt bzw. entsprechend für deren Verwendung aufgearbeitet. Dadurch wird gewährleistet, dass die Ergebnisse auch zu einer besseren Vermarktung von Holzwerkstoffen führen können.

Die für die Holzwerkstoffe bestimmten Kennwerte sind in die Materialdatenbank von WUFI übernommen worden. Diese Materialdatenbank ist nicht nur für jeden WUFI-Nutzer verfügbar, sondern auch über das Internet öffentlich und kostenlos zugänglich [20]. Damit ist gewährleistet, dass auch interessierte Personen auf diese wertvolle Datensammlung zurückgreifen können und somit doppelte Arbeit sowie Kosten vermieden werden.

8 Literatur

- [1] Frühwald, A.; Wegener, G.: Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanz in der Forst- und Holzwirtschaft. Universitäten Hamburg und München, Hamburg (1996).
- [2] Sedlbauer, K.; Wörle, G.: Ökobilanzierung von Bauprodukten, ohne Nutzungsphase nutzlos? Bauphysik 20 (1998), H. 6, S. 209-219.
- [3] Deutsches Institut für Normung: DIN V 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte. Beuth-Verlag, Berlin (2002 - 2).
- [4] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 12524 – Baustoffe und Produkte – Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte. Beuth-Verlag, Berlin (2000 - 7).
- [5] Künzel, H. M.: Feuchtesichere Altbausanierung mit neuartiger Dampfbremse. BBauBL 45 (1996), H. 10, S. 798-801.
- [6] Künzel, H. M.: Feuchtebelastungen beeinträchtigen die Wirkung von Dampfbremspappen. IBP-Mitteilung 24 (1997), Nr. 309.
- [7] Krus, M.: Feuchttransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Messtechniken. Dissertation Universität Stuttgart 1995.
- [8] Künzel, H. M.; Krus, M.: Beurteilung des Feuchteverhaltens von Natursteinfassaden durch Kombination von rechnerischen und experimentellen Untersuchungsmethoden. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 1 (1995), H. 1, S. 5-19.
- [9] Künzel, H. M.; Kießl, K., Krus, M.: Feuchtemigration und langfristige Feuchteverteilung in exponierten Natursteinmauern. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 1 (1995), H. 4, S. 267-279.
- [10] Krus, M., Künzel, H. M.: Vergleich experimenteller und rechnerischer Ergebnisse anhand des Austrocknungsverhaltens von Ziegelwänden. Internationales Symposium of CIB W67 Energy and Mass Flow in the Life Cycle of Buildings. Wien, 4.-10. August 1996, S. 493-498.
- [11] Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 12572 – Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit. Beuth-Verlag, Berlin (2001 - 9).

- [12] Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 15148 – Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen. Beuth-Verlag, Berlin (2003 - 3).
- [13] Krus, M.; Holm, A.: Ermittlung der Kapillartransportkoeffizienten mineralischer Baustoffe aus dem w-Wert; Bauinstandsetzen 3 (1997), H. 1, S. 219-234.
- [14] Holm, A.; Krus, M.: Bestimmung des Transportkoeffizienten für die Weiterverteilung aus einfachen Trocknungsversuchen und rechnerischer Anpassung; Bauinstandsetzen 4 (1998), H.1, S. 33-52.
- [15] Deutsches Institut für Normung: DIN 52103 - Bestimmung der Wasseraufnahme. Beuth-Verlag, Berlin (1972 - 11).
- [16] Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 12571 - Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften. Beuth-Verlag, Berlin (2000 - 4).
- [17] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Feuchte- und Wärmetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart (1994).
- [18] Lohmann, U.: Holz Lexikon. Band 1 A-K, Band 2 L-Z. 4. Auflage (2003); DRW-Verlag.
- [19] Borsch-Laaks, R.: Jenseits von Glaser. Teil 2: feuchtedynamische Eigenschaften von Holzwerkstoff-Platten. Quadriga, 6/2003, S. 40 - 43.
- [20] <http://www.WUFI.de>
- [21] Krus, M.: Bestimmung feuchtetechnischer Kennwerte und Berechnung des Feuchtehaushalts von Holz-Prüfkörpern bei natürlicher Bewitterung. Tagungsband 5. Internationales Kolloquium – Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen. AEDIFICATIO Publishers, Freiburg 1999, S. 283-292.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Holzwerkstoffe. Die untersuchte Anzahl an Materialien ist jeweils angegeben.

Holzspanwerkstoffe:	2 x Holzspanplatten 3 x OSB-Platten
Verbundplatten:	2 x Baufurniersperrholz 1 x Furnierschichtholz 1 x Dreischichtplatte
Holzfaserverkstoffe: (HFD) Faserplatten (MDF)	2 x Faserdämmplatten 2 x Mitteldichte
Referenzmaterial:	1 x Gipsbauplatten

Tabelle 2: Abfolge der Diffusionstests im Labor. Die Messungen erfolgen parallel in zwei Messreihen mit den angegebenen Klimabedingungen.

1. Messreihe

Abfolge der Einzelmessungen	Relative Feuchte im Gefäß [%]	Relative Feuchte im Klimaraum [%]
1	3	50
2	100 (Wasserkontakt)	80
3	3	50

2. Messreihe

Abfolge der Einzelmessungen	Relative Feuchte im Gefäß [%]	Relative Feuchte im Klimaraum [%]
1	93	50
2	75	50

Tabelle 3: Zusammenstellung der erforderlichen Daten, die für eine Berechnung von Baukonstruktionen mit dem Programm WUFI notwendig sind.

Eingabeparameter	Erforderliche Datensätze oder Angaben
Geometrie	Aufbau des zu berechnenden Bauteils
	numerisches Gitter
Thermische und hygrische Stoffkennwerte sowie -funktionen	Rohdichte und Porosität
	spezifische Wärmekapazität
	feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit
	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
	evtl. Feuchtespeicherfunktion
Klimaparameter	evtl. richtungsabhängige Flüssigleitfunktionen für den Saugvorgang und die Weiterverteilung
	Temperatur
	relative Luftfeuchte
	kurzwellige Strahlung (nur außen)
	langwellige Strahlung (nur außen)
Übergangs- bzw. Symmetriebedingungen	Niederschlag auf die Bauteiloberfläche (nur außen)
	Wärme- und Feuchteübergangskoeffizient
	Strahlungsabsorptions- und -emissionsgrad
Steuerparameter	Regenfaktor (nur außen)
	Zeitschritte
	Rechengenauigkeit
	Form der Anfangsbedingungen (z. B. Startzeitpunkt)
	sonstige berechnungsspezifische Parameter

Tabelle 4: Physikalische Kennwerte von Holzwerkstoffplatten
(Literaturangaben und eigene Messungen).

Eigenschaft	Einheit	OSB	MDF	FP	ZSP	BFU/BFU-BU
Rohdichte ρ	kg/m ³	600-680	350-1000	300-900	1000-1300	400-800
Wärmeleitfähigkeit λ	W/mK	0.12-0.13	0.065-0.22	0.07-0.14	0.23-0.35	0.11-0.20
Diffusionswiderstandszahl μ (wet-cup)	–	80-400	5-20	10-53	20-30	56-110
Diffusionswiderstandszahl μ (dry-cup)	–	100-600	10-30	44-120	50	188-250
spez. Wärmekapazität c	kJ/kgK	1.7	1.7	2.5	2.0	2.5
Eigenschaft	Einheit	FSH	3S/5S	HFH	HFM	HFD
Rohdichte ρ	kg/m ³	462-481	431-454	800-1000	400-800	160-400
Wärmeleitfähigkeit λ	W/mK	0.12	0.12	0.18-0.22	0.07-0.16	0.047
Diffusionswiderstandszahl μ (wet-cup)	–	31.5-51	47-77	20-97	5-20	2-5
Diffusionswiderstandszahl μ (dry-cup)	–	129-156	203-481	30-147	10-30	5-10
spez. Wärmekapazität c	kJ/kgK	2.5	2.5	1.7	1.7	1.7

Tabelle 5: OSB1: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Oriented Strand Board (OSB1).

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	15.2
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	648
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	615
Reindichte	kg/m ³	1228
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	175
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	164
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	167
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	3.7
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	122
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.05
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	15.3 (9.2)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	19.9(12.0)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	103.6(63.6)
D_{ws0}	m ² /s	$0.9 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 63 % r. F.	m ² /s	$1.8 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$1.9 \cdot 10^{-12}$
D_{vwwf}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 6: OSB2: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Oriented Strand Board (OSB2).

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	15.3
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	637
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	595
Reindichte	kg/m ³	1245
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	165
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	117
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	96
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	6.7
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	75
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.12
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	16.2(9.5)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	21.6 (12.6)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	136.7 (81.4)
D_{ws0}	m ² /s	$3 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 63 % r. F.	m ² /s	$1.1 \cdot 10^{-11}$
D_{vww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$1.5 \cdot 10^{-11}$
D_{vwwf}	m ² /s	$3 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 7: OSB3: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Oriented Strand Board OSB3 (entspricht OSB1 jedoch unterschiedliche Dicke).

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	30.3
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	568
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	553
Reindichte	kg/m ³	1254
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	134
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	123
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach w-Wert	–	186
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.06
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	13.7 (7.6)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	20.9 (11.6)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	111.2 (61.5)
D_{ws0}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$2 \cdot 10^{-12}$
D_{ww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$2.2 \cdot 10^{-14}$
D_{wwf}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 8: Decklage OSB3: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte der Decklage des Oriented Strand Board OSB3.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	8.6
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	620
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	605
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	193
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	143

Tabelle 9: Mittellage OSB3: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte der Mittellage des Oriented Strand Board OSB3.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	8.7
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	487
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	474
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	50
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	56

Tabelle 10: SP1: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Spanplatte SP1.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	19.1
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	663
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	620
Reindichte	kg/m ³	1323
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	44
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	46
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	53
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	0.7
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	33
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.22 ^{*)}
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	17.8 (11.0)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	25.6 (15.9)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	119.0 (73.8)
D_{ws0}	m ² /s	$3 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-12}$
D_{wvw} bei 93 % r. F.	m ² /s	$1 \cdot 10^{-10}$
D_{wvwf}	m ² /s	$1.5 \cdot 10^{-10}$

^{*)} Probe durchfeuchtet, Paraffinabdichtung gebrochen da starke Quellung.

Tabelle 11: SP2: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Holzspanplatte SP2.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	15.0
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	685
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	664
Reindichte	kg/m ³	1362
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	92
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	78
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	79
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach w-Wert	–	89
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.11
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	13.6 (9.1)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	27.0 (14.1)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	88.3 (58.7)
D_{ws0}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$6 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 63 % r. F.	m ² /s	$9.2 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$9.3 \cdot 10^{-12}$
D_{vwwf}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 12: DP1: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Holzfaserdämmplatte DP1.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	20.6
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	176
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	165
Reindichte	kg/m ³	1429
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	2.9
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	4.7
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	3.9
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	1.8
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup		3.2
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.09
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	16.1 (2.7)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	22.9 (3.8)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	620.9 (102.4)
D_{ws0}	m ² /s	$1.0 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$1.3 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 93 % r. F.	m ² /s	$1 \cdot 10^{-10}$
D_{vwwf}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 13: DP2: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Holzfaserdämmplatte DP2.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	19.8
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	163
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	159
Reindichte	kg/m ³	1474
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	3.3
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	3.8
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	3.8
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach w-Wert	–	3.3
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.11
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	16.5 (2.6)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	27.0 (4.3)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	524.1 (83.3)
D_{ws0}	m ² /s	$2 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$3 \cdot 10^{-12}$
D_{wv} bei 93 % r. F.	m ² /s	$1 \cdot 10^{-9}$
D_{wvf}	m ² /s	$2 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 14: MDF1: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für mitteldichte Faserplatte MDF1.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	15.0
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	531
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	508
Reindichte	kg/m ³	1371
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	13.5
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	15.3
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	15.6
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	12.2
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	13.9
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.07
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	13.0 (6.6)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	17.6 (8.9)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	131.5 (66.7)
D_{ws0}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$2.5 \cdot 10^{-12}$
D_{vww} bei 93 % r. F.	m ² /s	$1 \cdot 10^{-13}$
D_{vwwf}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 15: MDF2: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für mitteldichte Faserplatte MDF2.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	16.0
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	567
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	528
Reindichte	kg/m ³	1358
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	9.4
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	12
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	12.1
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	8.9
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	11
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.07
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	13.2 (7.0)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	17.8 (9.4)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	126.3 (66.7)
D_{ws0}	m ² /s	$1.5 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$1.8 \cdot 10^{-12}$
D_{www} bei 93 % r. F.	m ² /s	$1 \cdot 10^{-13}$
D_{wwf}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 16: BFU: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Furniersperrholz BFU.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert):
Dicke	mm	18
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	462
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	427
Reindichte	kg/m ³	1252
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	188
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	72
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	56
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	8
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	143
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.13
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	16.4 (7.0)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	23.6 (10.1)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	134.1 (57.3)
D_{ws0}	m ² /s	$7 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$9 \cdot 10^{-12}$
D_{ww} bei 63 % r. F.	m ² /s	$5.1 \cdot 10^{-11}$
D_{ww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$5.3 \cdot 10^{-11}$
D_{wwf}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 17: BFU-BU: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Baufurniersperrholz aus Buche BFU-BU.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	15.9
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	727
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	708
Reindichte	kg/m ³	1296
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	242
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	89
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	67
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach w-Wert	–	175
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.27
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	14.3 (10.1)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	22.0 (15.6)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	74.5 (52.7)
D_{ws0}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-11}$
D_{wsf}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-11}$
D_{vww} bei 63 % r. F.	m ² /s	$3 \cdot 10^{-11}$
D_{vww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$3.1 \cdot 10^{-11}$
D_{vwwf}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 18: FSH: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Furnierschichtholz FSH.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	26
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	506
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	462
Reindichte	kg/m ³	1238
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	156
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	69
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	51
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	6
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	157
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.19 ^{*)}
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	16.4 (7.6)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	22.6 (10.4)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	113.5 (52.5)
D_{ws0}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-11}$
D_{wsf}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-11}$
D_{www} bei 63 % r. F.	m ² /s	$4.6 \cdot 10^{-11}$
D_{www} bei 72 % r. F.	m ² /s	$5.4 \cdot 10^{-11}$
D_{wwf}	m ² /s	$3 \cdot 10^{-10}$

^{*)} inhomogenes Material, daher große Streuung der Einzelwerte.

Tabelle 19: 3S: Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte für Dreischichtplatte 3S.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	16.0
Rohdichte nach Trocknung bei 40°C	kg/m ³	488
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	454
Reindichte	kg/m ³	1024
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	203
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/75)	–	71
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	47
Diffusionswiderstandszahl μ (23-80/Wasserkontakt)	–	10
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50) nach inv. Wet-cup	–	261
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{h}	0.09
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	16.1 (7.3)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	21.5 (9.8)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	117.6 (53.4)
D_{ws0}	m ² /s	$4 \cdot 10^{-12}$
D_{wsf}	m ² /s	$5 \cdot 10^{-12}$
D_{ww} bei 63 % r. F.	m ² /s	$5.4 \cdot 10^{-11}$
D_{ww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$7.2 \cdot 10^{-11}$
D_{wwf}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-10}$

Tabelle 20: GKB: Zusammenstellung der Kennwerte für das Referenzmaterial Gipsbauplatte.

Eigenschaft	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)
Dicke	mm	12.5
Rohdichte nach Trocknung bei 100°C	kg/m ³	850
Reindichte	kg/m ³	2400
Diffusionswiderstandszahl μ (23-0/50)	–	8.3
Diffusionswiderstandszahl μ (23-50/93)	–	7.3
Wasseraufnahme koeffizient w_{24}	kg/m ² \sqrt{s}	0.29
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 80 % r. F.	M.-% (Vol.%)	0.7 (0.63)
Bezugsfeuchtegehalt bei 23°C u. 93 % r. F.	M.-% (Vol.%)	2.0 (1.7)
Freie Wassersättigung	M.-% (Vol.%)	47 (40)
D_{ws0}	m ² /s	$2 \cdot 10^{-10}$
D_{wsf}	m ² /s	$2.4 \cdot 10^{-6}$
D_{vww} bei 72 % r. F.	m ² /s	$2.9 \cdot 10^{-10}$
D_{vwwf}	m ² /s	$1 \cdot 10^{-7}$

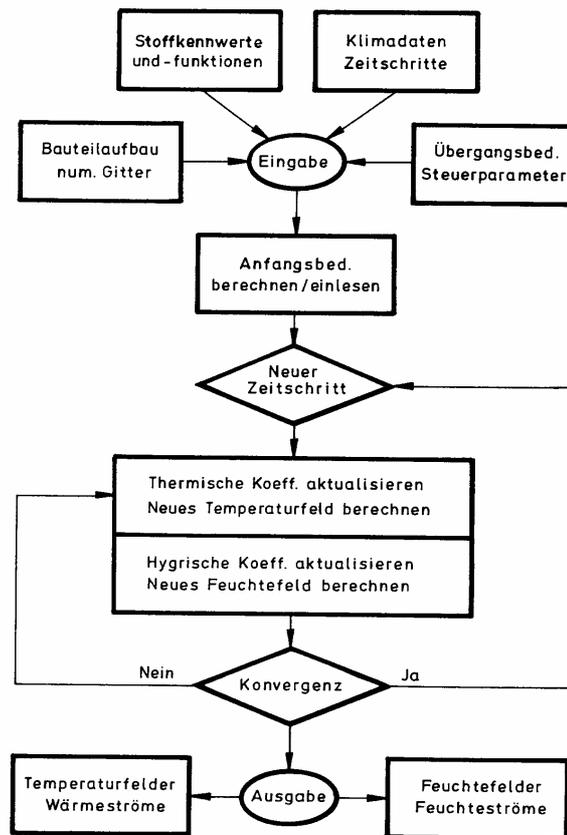


Bild 1: Aufbauschema des Berechnungsverfahrens WUFI, das für die Berechnungen verwendet wird [16].

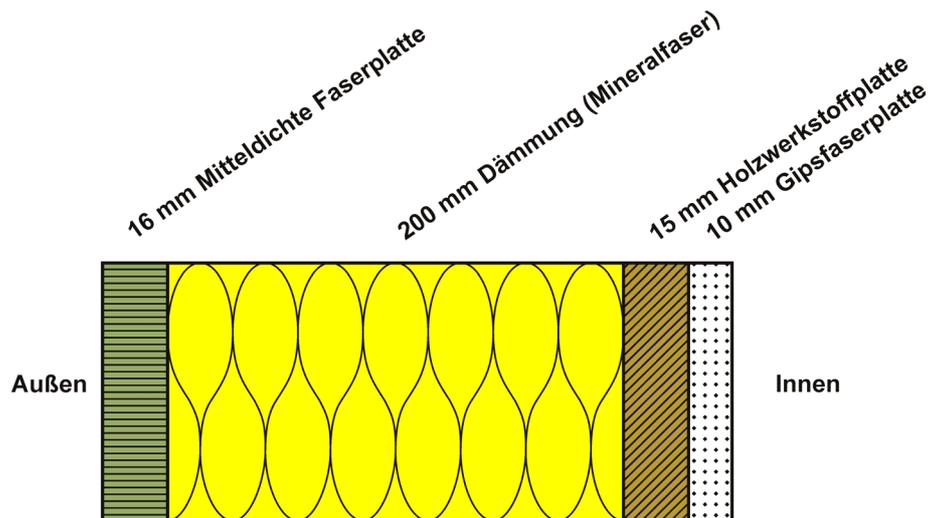


Bild 2: Darstellung des Dachaufbaues für die WUFI-Berechnungen. Es werden zwei verschiedene Holzwerkstoffplatten (mit/ohne ausgeprägter Feuchteabhängigkeit der Diffusionswiderstandszahl) auf der raumzugewandenen Seite berechnet.

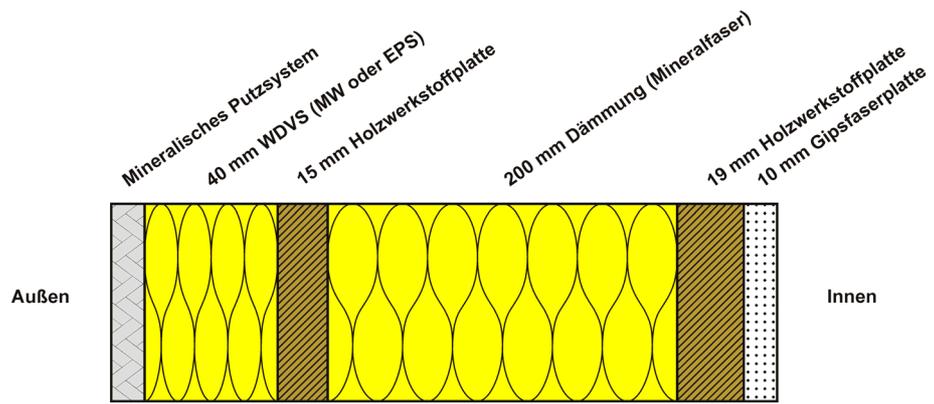


Bild 3: Schematische Darstellung des Wandaufbaus. Einerseits werden ein Holzwerkstoff mit starker Feuchteabhängigkeit der Diffusionswiderstandszahl und andererseits ein Werkstoff ohne diese Feuchteabhängigkeit berechnet.

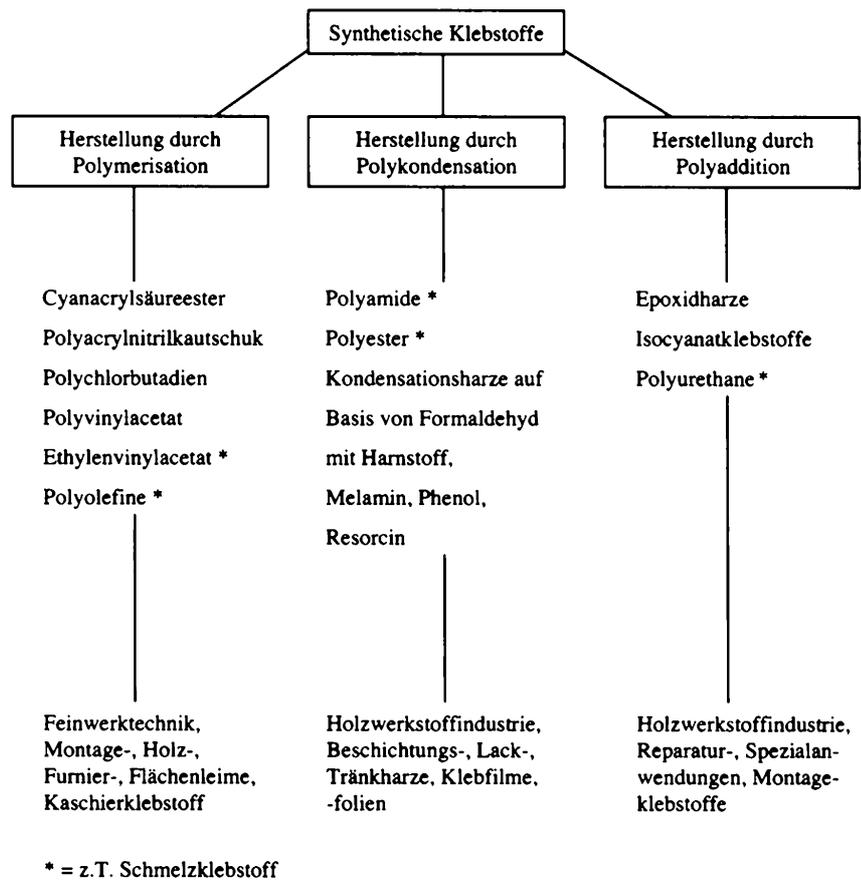


Bild 4: Übersicht der synthetischen Klebstoffe nach [17].

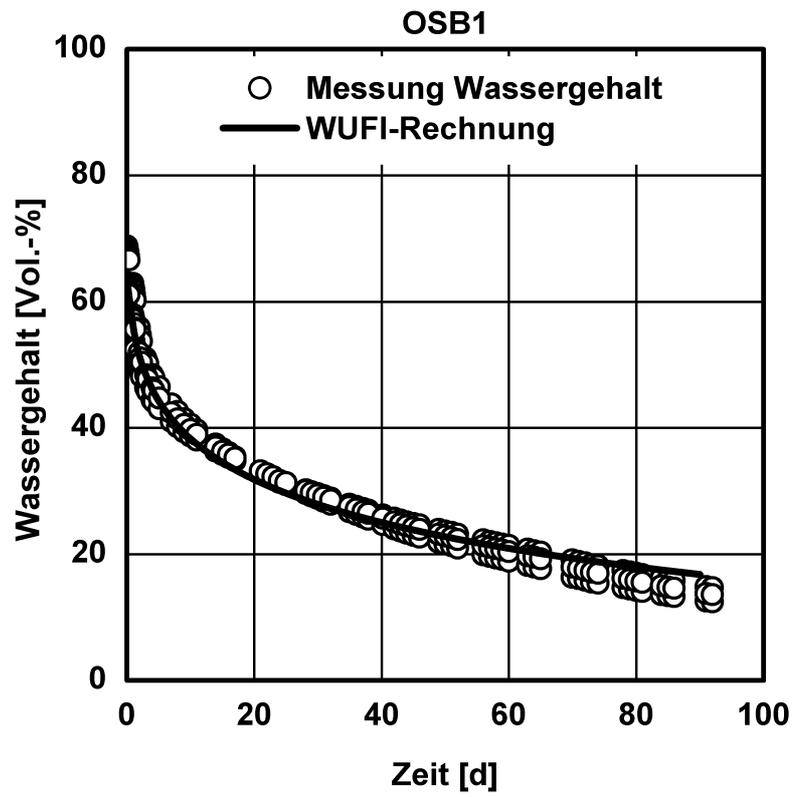


Bild 5: Trocknungsverlauf des Oriented Strand Boards OSB1. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

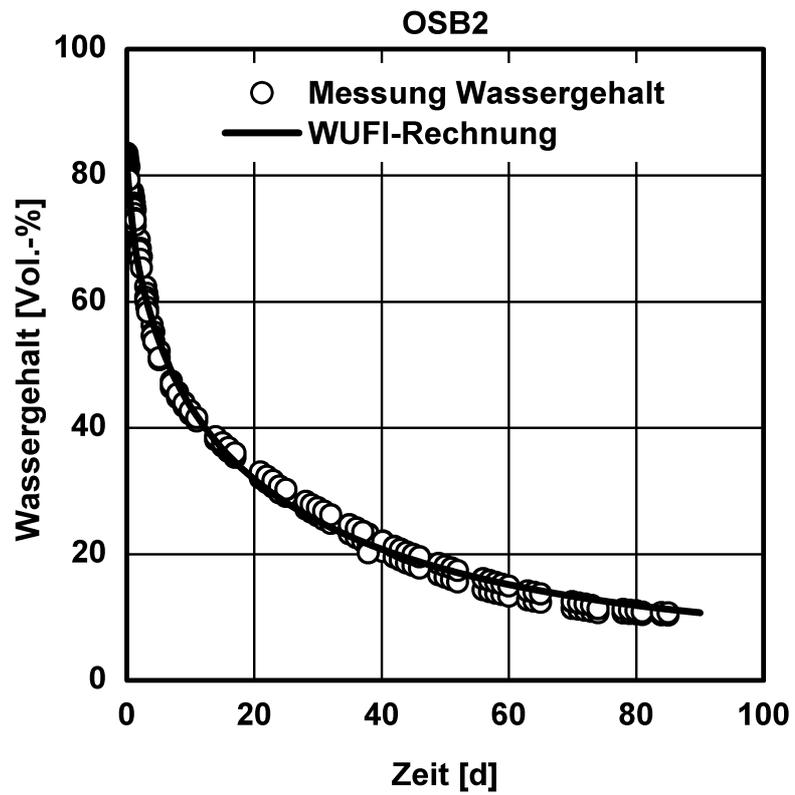


Bild 6: Trocknungsverlauf des Oriented Strand Boards OSB2. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

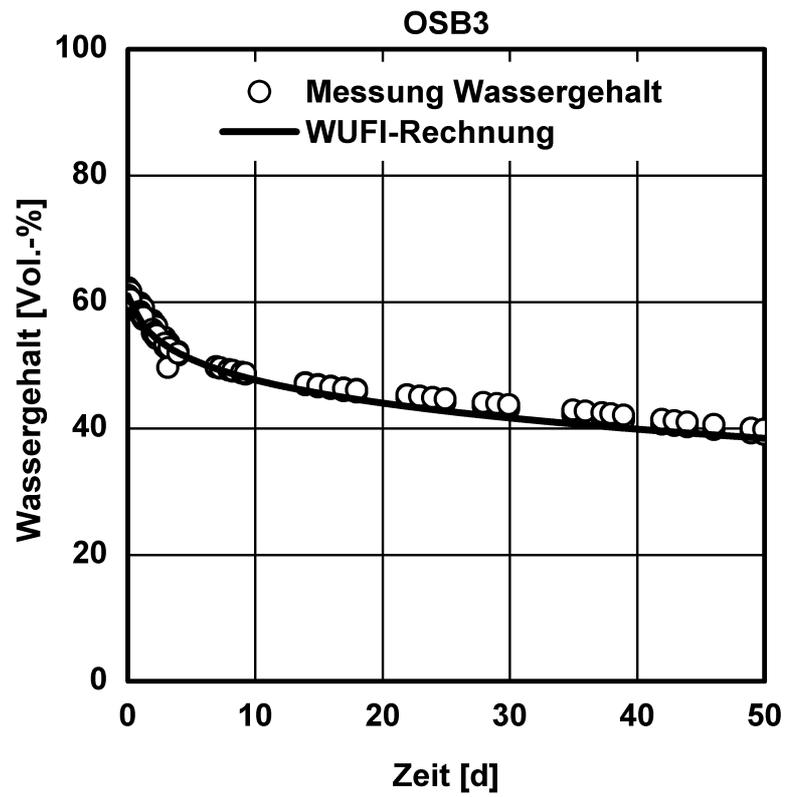


Bild 7: Trocknungsverlauf des Oriented Strand Boards OSB3. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

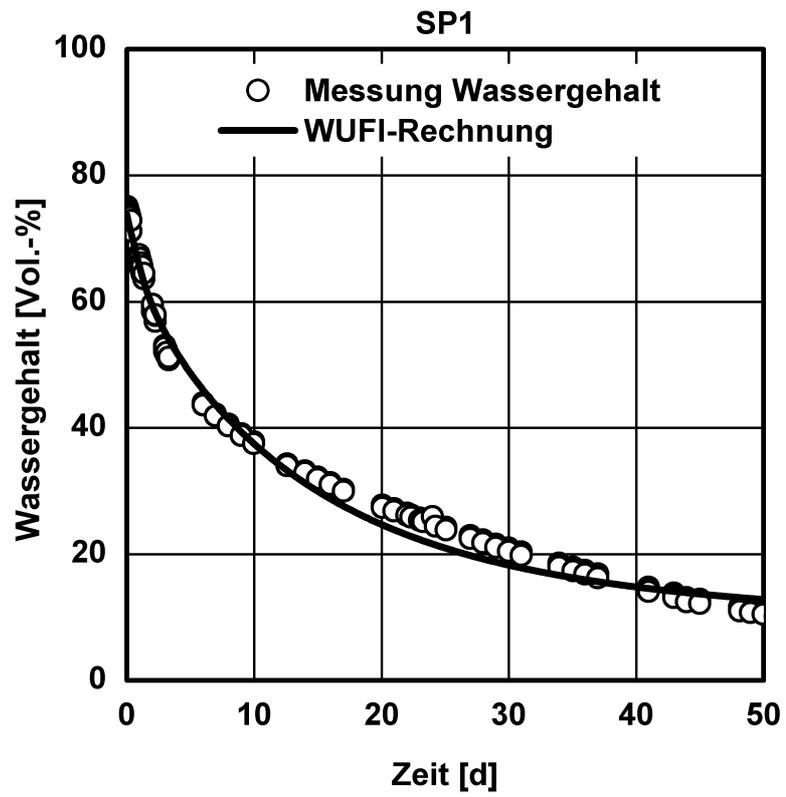


Bild 8: Trocknungsverlauf der Spanplatte SP1. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

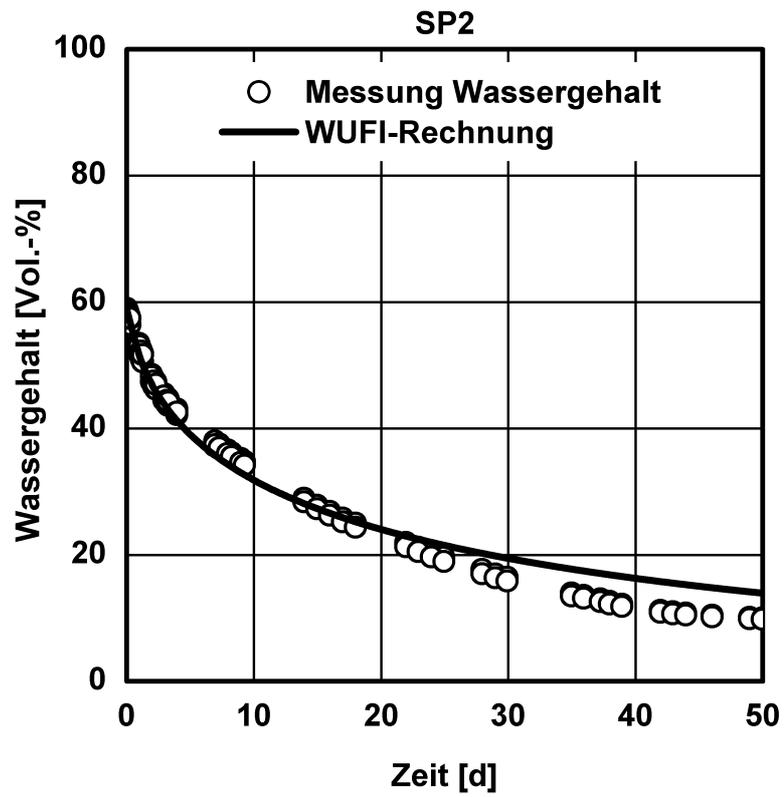


Bild 9: Trocknungsverlauf der Spanplatte SP2. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

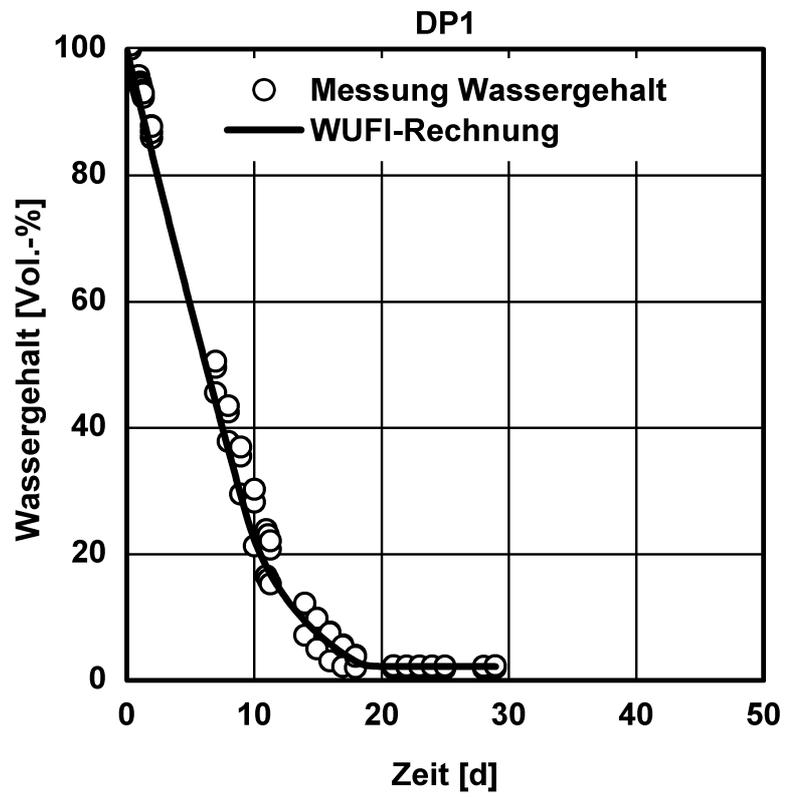


Bild 10: Trocknungsverlauf der Holzfaserdämmplatte DP1. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

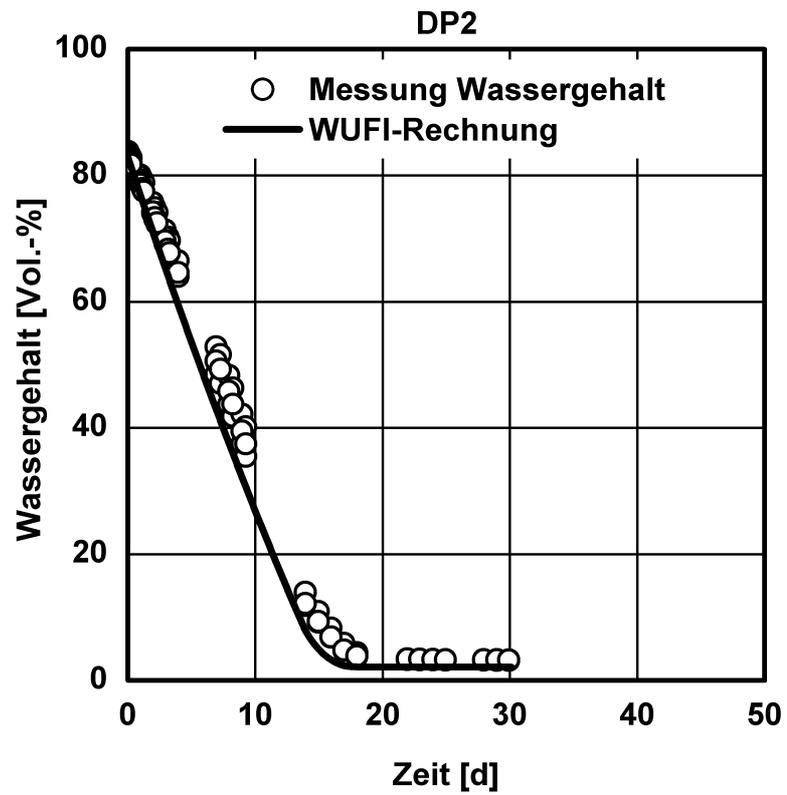


Bild 11: Trocknungsverlauf der Holzfaserdämmplatte DP2. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

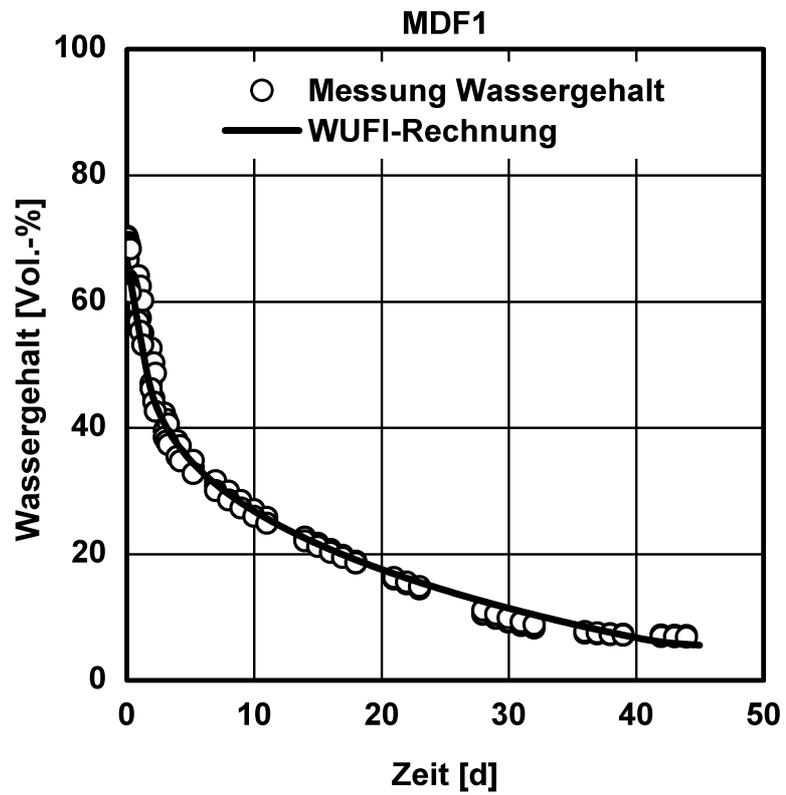


Bild 12: Trocknungsverlauf der mitteldichten Faserplatte MDF1. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

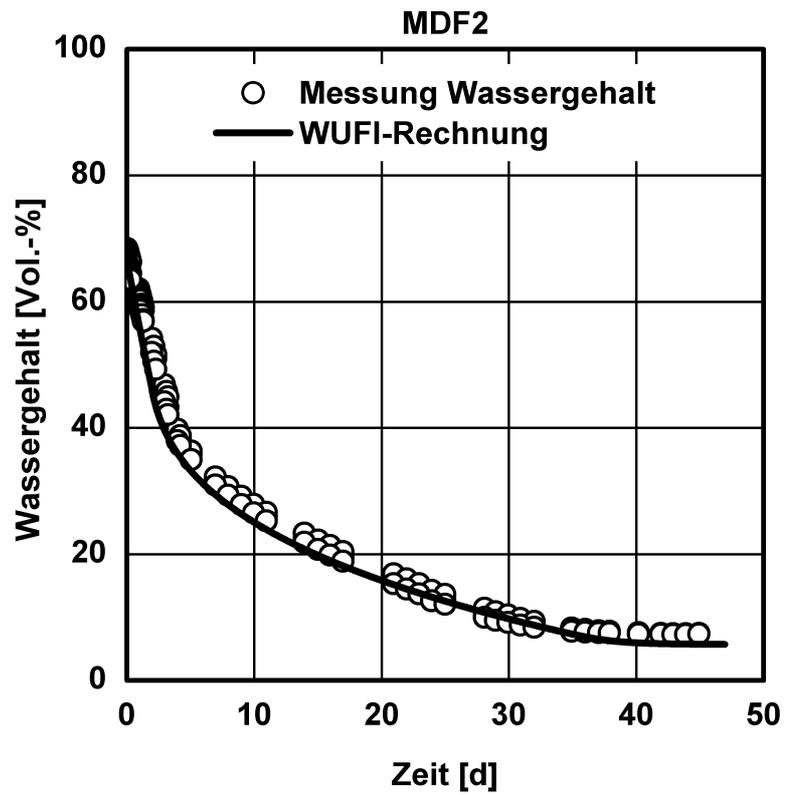


Bild 13: Trocknungsverlauf der mitteldichten Faserplatte MDF2. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

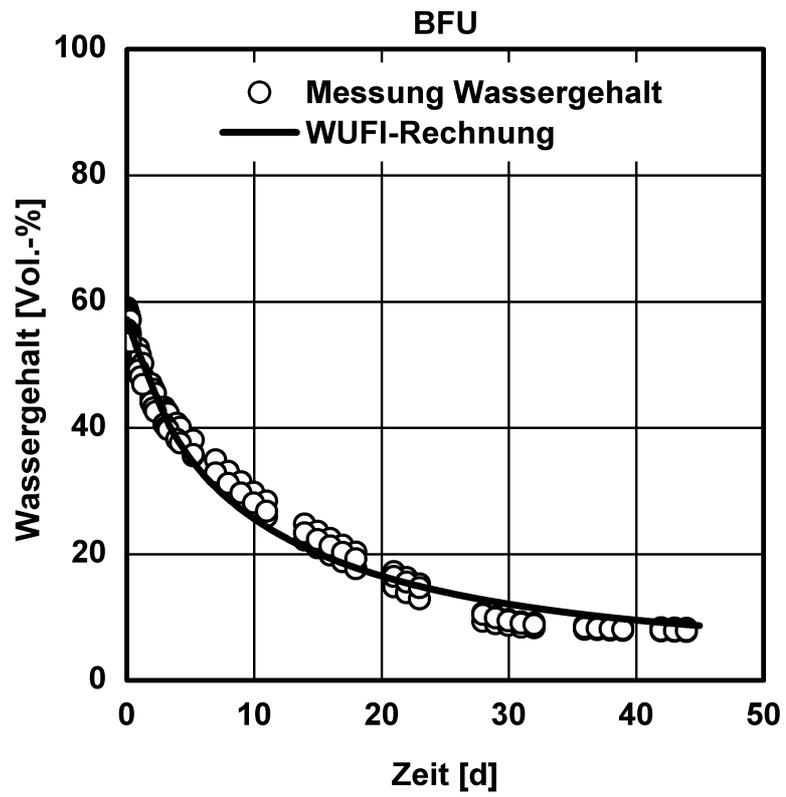


Bild 14: Trocknungsverlauf des Baufurniersperrholzes BFU. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

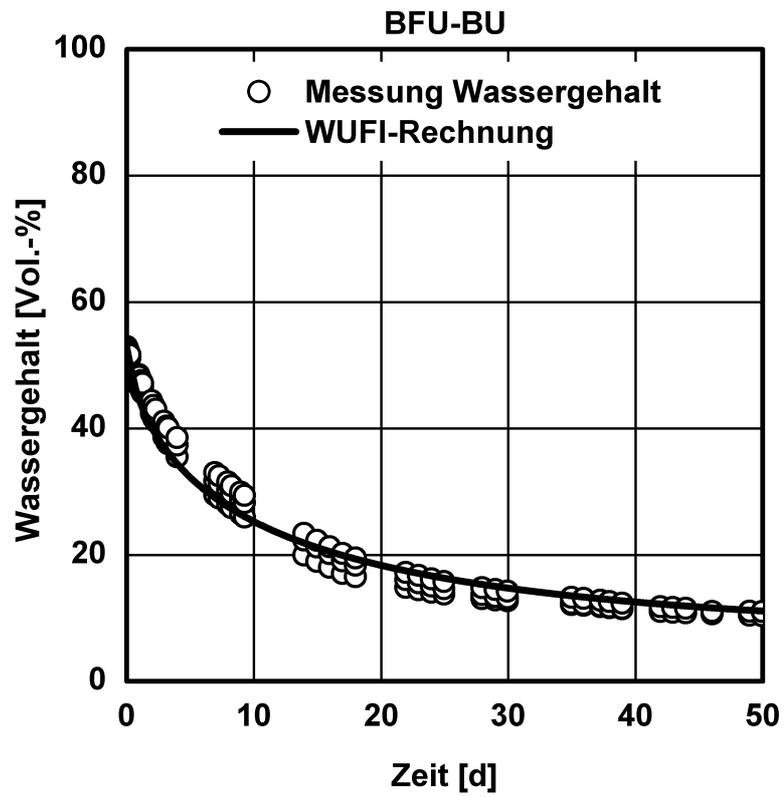


Bild 15: Trocknungsverlauf des Baufurniersperrholzes aus Buche BFU-BU. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

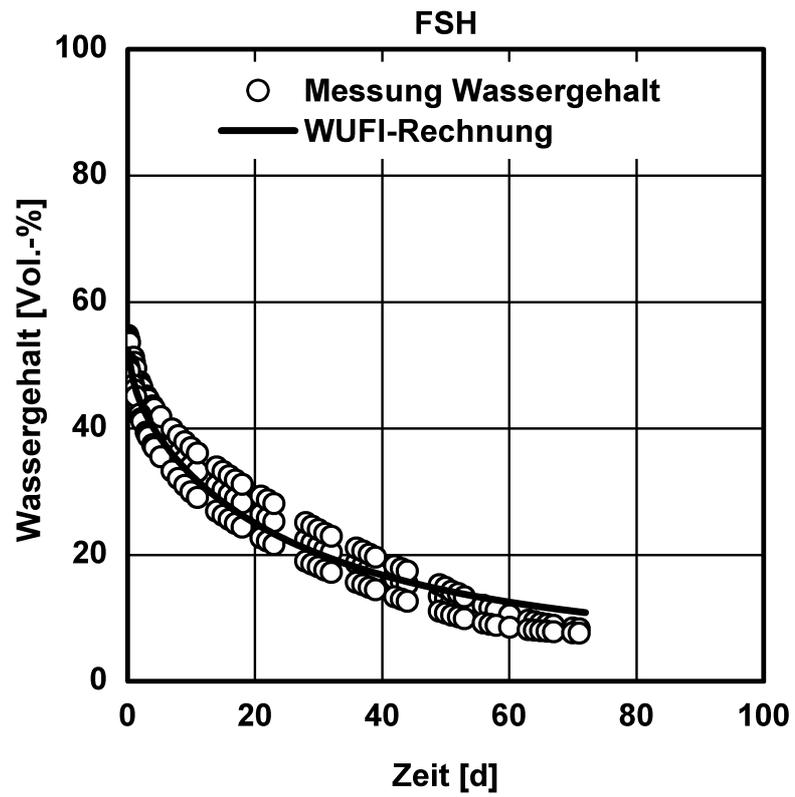


Bild 16: Trocknungsverlauf des Furnierschichtholzes FSH. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

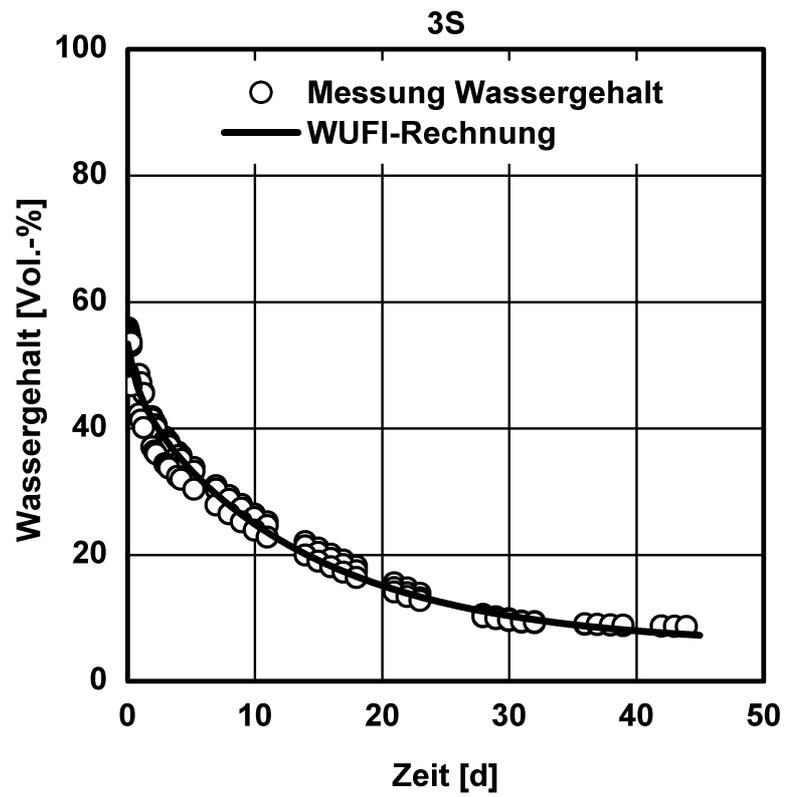


Bild 17: Trocknungsverlauf der Dreischichtplatte 3S. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Nachrechnung des Verlaufes mittels WUFI.

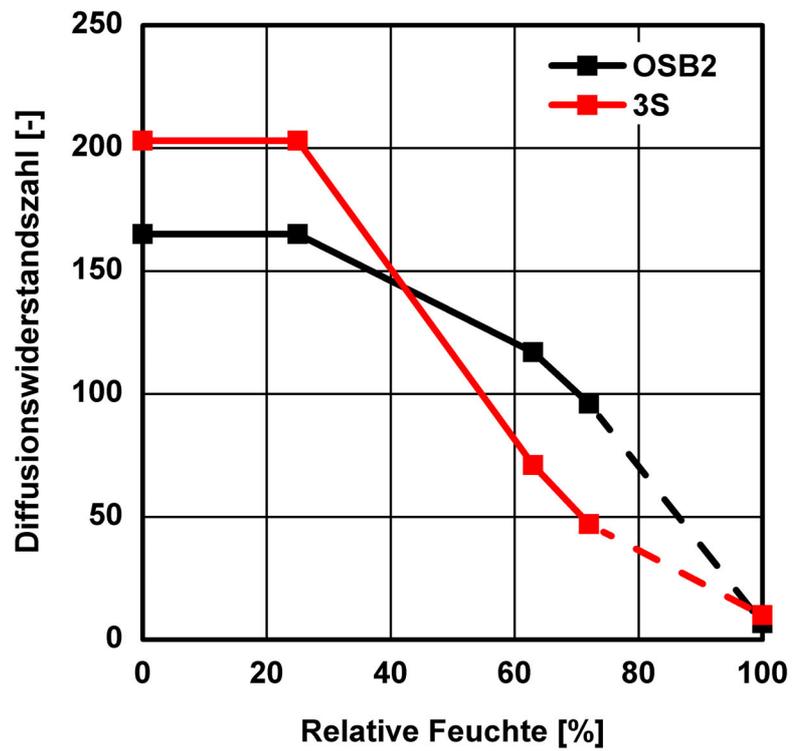


Bild 18: In der Berechnungsvariante "mit feuchteabhängigen Diffusionswiderstand" verwendete Diffusionswiderstandszahl für OSB2 und 3S.

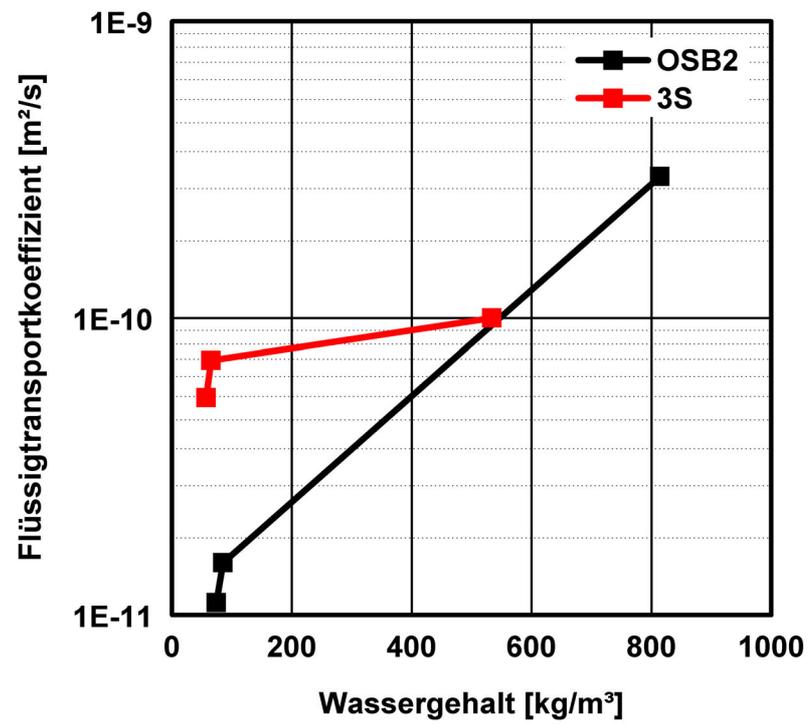


Bild 19: Für die Berechnungsvariante "mit Kapillartransport" verwendeten Transportkoeffizienten für OSB2 und 3S in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

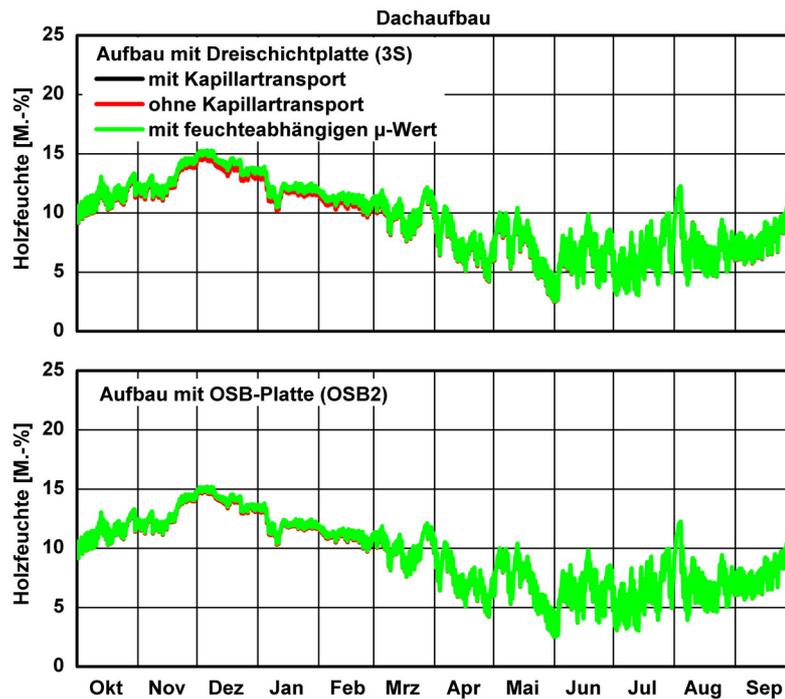


Bild 20: Ergebnisse der WUFI-Berechnung für den untersuchten Dachaufbau. Dargestellt ist jeweils die mittlere Holzfeuchte in der außen liegenden mitteldichten Faserplatte für den Dachaufbau mit einer Dreischichtplatte (Bild oben) und mit einer OSB-Platte (Bild unten).

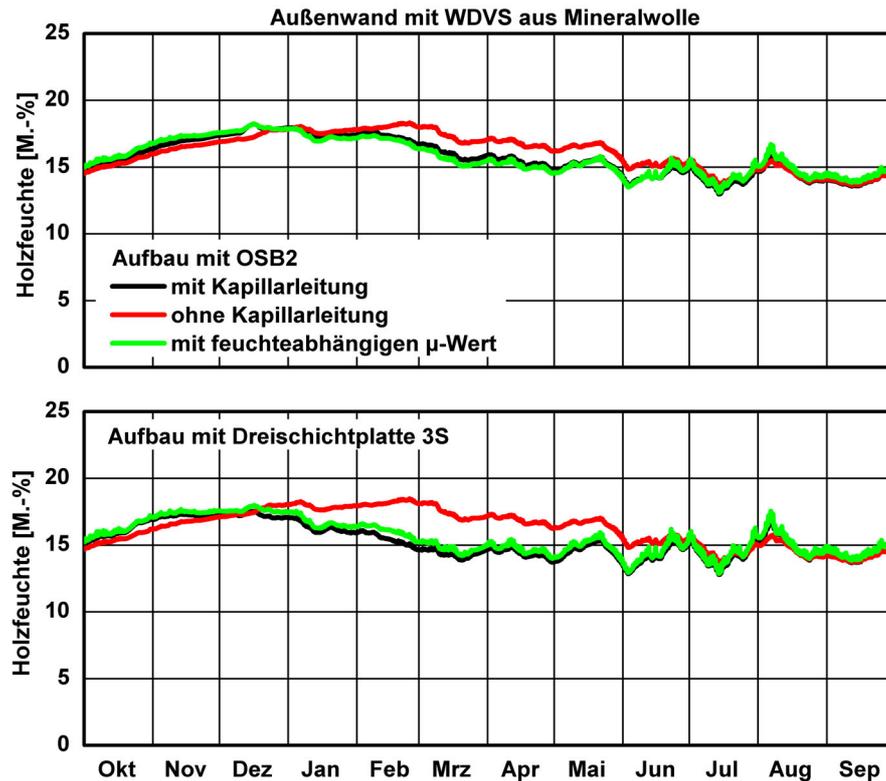


Bild 21: Verlauf der Holzfeuchte in der äußeren Holzwerkstoffplatte für eine Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle. Im oberen Bild sind die Berechnungsergebnisse für den Aufbau mit Oriented Strand Board (OSB2) und im unteren Bild mit einer Dreischichtplatte (3S) dargestellt. Es wurden jeweils 3 Varianten berechnet, die Erste mit Berücksichtigung des Feuchtetransportes durch Kapillarleitung, die zweite Variante ohne Kapillarleitung und die Dritte mit feuchteabhängiger Diffusionswiderstandszahl der Holzwerkstoffe.

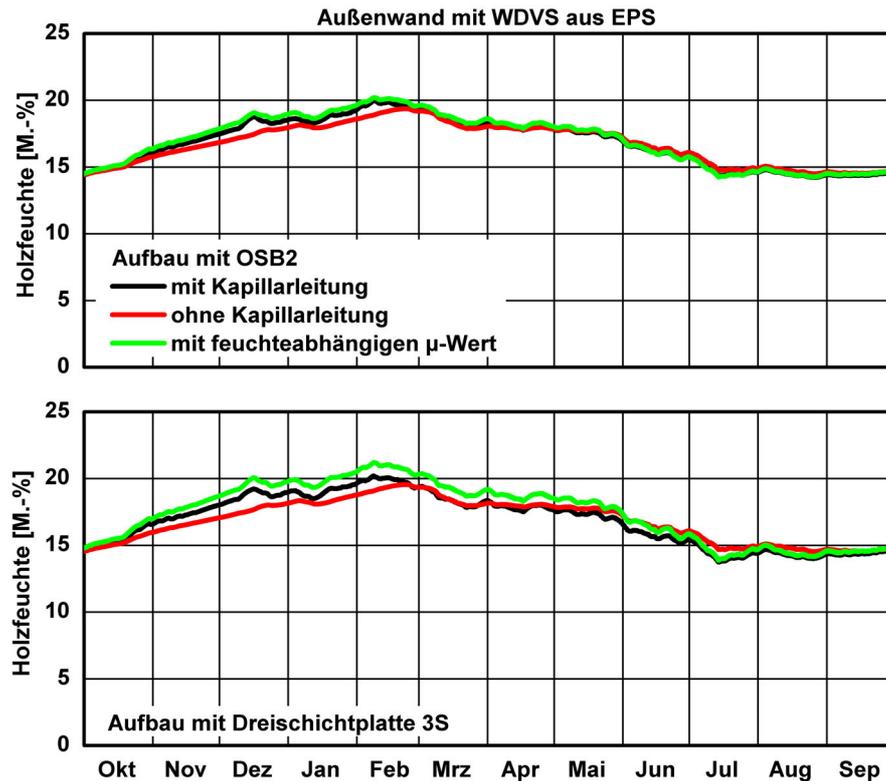


Bild 22:

Verlauf der Holzfeuchte in der äußeren Holzwerkstoffplatte für eine Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem aus EPS. Im oberen Bild sind die Berechnungsergebnisse für den Aufbau mit Oriented Strand Board (OSB2) und im unteren Bild mit einer Dreischichtplatte (3S) dargestellt. Es wurden jeweils 3 Varianten berechnet, die Erste mit Berücksichtigung des Feuchtetransportes durch Kapillarleitung, die zweite Variante ohne Kapillarleitung und die Dritte mit feuchteabhängiger Diffusionswiderstandszahl der Holzwerkstoffe.

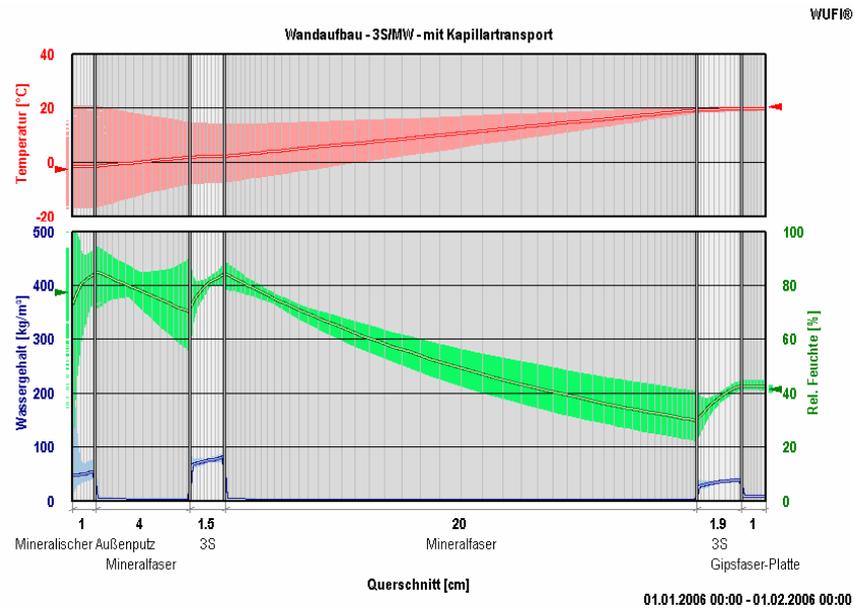


Bild 23: Temperatur- und Feuchteverteilung im Bauteil mit Dreischichtplatte und EPS als WDV für die Berechnungsvariante mit Kapillarleitung. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte für den Monat Januar (jeweils durchgezogene Linie) und die Schwankungsbreite der Größen (farbig hinterlegter Bereich).

Anhang

1. Normen bezüglich Holzwerkstoffe
2. Zulassungen für Holzwerkstoffe (Quelle: IRB, Stand 23.6.04)

Holzspanplatten

DIN 68764-1, Ausgabe:1973-09: Spanplatten; Strangpressplatten für das Bauwesen, Begriffe, Eigenschaften, Prüfung, Überwachung.

DIN 68764-2, Ausgabe:1974-09: Spanplatten; Strangpressplatten für das Bauwesen, beplankte Strangpressplatten für die Tafelbauart.

DIN EN 309 (Norm-Entwurf), Ausgabe:2004-06: Spanplatten - Definition und Klassifizierung; Deutsche Fassung prEN 309:2004.

DIN EN 312, Ausgabe:2003-11: Spanplatten - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 312:2003.

DIN EN 12369-1, Ausgabe:2001-04: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten; Deutsche Fassung EN 12369-1:2001

Zementgebundene Holzspanplatten

DIN EN 633, Ausgabe:1993-12: Zementgebundene Spanplatten; Definition und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 633:1993.

DIN EN 634-1, Ausgabe:1995-04: Zementgebundene Spanplatten - Anforderungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 634-1:1995.

DIN EN 634-2, Ausgabe:1996-10: Zementgebundene Spanplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an Portlandzement (PZ) gebundene Spanplatten zur Verwendung im Trocken-, Feucht- und Außenbereich; Deutsche Fassung EN 634-2:1996.

OSB

DIN EN 300 (Norm-Entwurf), Ausgabe:2004-07: Platten aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (OSB) - Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 300:2004.

DIN EN 12369-1, Ausgabe:2001-04: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten; Deutsche Fassung EN 12369-1:2001.

MDF

DIN EN 622-5 (Norm-Entwurf), Ausgabe:2004-05: Faserplatten - Anforderungen - Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF); Deutsche Fassung prEN 622-5:2004.

DIN EN 12369-1, Ausgabe:2001-04: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten; Deutsche Fassung EN 12369-1:2001.

Baufurniersperrholz

DIN 68705-3, Ausgabe:1981-12: Sperrholz; Bau-Furniersperrholz.

DIN 68705-4, Ausgabe:1981-12: Sperrholz; Bau-Stabsperrholz, Bau-Stäbchensperrholz.

DIN 68705-5, Ausgabe:1980-10: Sperrholz; Bau-Furniersperrholz aus Buche.

DIN EN 314-1, Ausgabe:1993-08: Sperrholz; Qualität der Verklebung; Teil 1: Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 314-1:1993.

DIN EN 314-1 (Norm-Entwurf), Ausgabe:2001-12: Sperrholz - Qualität der Verklebung - Teil 1: Prüfverfahren; Deutsche Fassung prEN 314-1:2001.

DIN EN 314-2, Ausgabe:1993-08: Sperrholz; Qualität der Verklebung; Teil 2: Anforderungen; Deutsche Fassung EN 314-2:1993.

DIN EN 635-1, Ausgabe:1995-01: Sperrholz - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 1: Allgemeines; Deutsche Fassung EN 635-1:1994.

DIN EN 635-2, Ausgabe:1995-08: Sperrholz - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 2: Laubholz; Deutsche Fassung EN 635-2:1995.

DIN EN 635-3, Ausgabe:1995-08: Sperrholz - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 3: Nadelholz; Deutsche Fassung EN 635-3:1995.

DIN V ENV 635-4, Ausgabe:1996-11 (Vornorm): Sperrholz - Klassifikation nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 4: Einflussgrößen auf die Eignung zur Oberflächenbehandlung - Leitfaden; Deutsche Fassung ENV 635-4:1996.

DIN EN 635-5, Ausgabe:1999-05: Sperrholz - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 5: Messverfahren und Angabe der Merkmale und Fehler; Deutsche Fassung EN 635-5:1999.

DIN EN 636, Ausgabe:2003-11: Sperrholz - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 636:2003.

DIN EN 12369-2, Ausgabe:2004-05: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 2: Sperrholz; Deutsche Fassung EN 12369-2:2004.

Mehrschichtplatten (3S, 5S)

DIN EN 12775, Ausgabe:2001-04: Massivholzplatten - Klassifizierung und Terminologie; Deutsche Fassung EN 12775:2001.

DIN EN 13017-1, Ausgabe:2001-03: Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 1: Nadelholz; Deutsche Fassung EN 13017-1:2000.

DIN EN 13017-2, Ausgabe:2001-03: Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 2: Laubholz; Deutsche Fassung EN 13017-2:2000.

DIN EN 13353, Ausgabe:2003-09:Massivholzplatten (SWP) - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13353:2003.

DIN CEN/TS 13354 (Vornorm), Ausgabe:2003-09: Massivholzplatten - Qualität der Verklebung - Prüfverfahren; Deutsche Fassung CEN/TS 13354:2003.

Furnierschichtholz

DIN EN 14279, Ausgabe:2001-12 (Norm-Entwurf): Furnierschichtholz (LVL) - Spezifikationen, Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 14279:2001.

Harte und mittelharte Holzfaserplatten

DIN EN 622-1, Ausgabe:2003-09: Faserplatten - Anforderungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 622-1:2003.

DIN EN 622-2, Ausgabe:2004-07: Faserplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an harte Platten; Deutsche Fassung EN 622-2:2004.

DIN EN 622-3, Ausgabe:2004-07: Faserplatten - Anforderungen - Teil 3: Anforderungen an mittelharte Platten; Deutsche Fassung EN 622-3:2004.

DIN EN 12369-1, Ausgabe:2001-04: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten; Deutsche Fassung EN 12369-1:2001.

Poröse Holzfaserplatten

DIN EN 622-4, Ausgabe:1997-08: Faserplatten - Anforderungen - Teil 4: Anforderungen an poröse Platten; Deutsche Fassung EN 622-4:1997.

DIN EN 13171, Ausgabe:2001-10: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) - Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13171:2001.

Organisch gebundene Spanplatten

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
128	Holzspan-Flachpreßplatten mit phenolmodifiziertem Melamin- Harnstoff-Formaldehyd-Leim in den Deckschichten und einem Isocyanat-Leim in der Mittelschicht	Neste Resins B.V.	Zulassung abgelaufen
129	Holzspan-Flachpreßplatten mit einer Mischharzverleimung	Neste Resins B.V.	Zulassung abgelaufen
134	Holzspan-Flachpreßplatten mit KAURAMIN-Leim 533 flüssig, KAURAMIN-Leim 534 flüssig, KAURAMIN-Leim 536 flüssig oder Kauramin-Leim 537 flüssig	BASF Aktiengesellschaft	
156	Holzspan-Flachpreßplatten mit KAURAMIN-Verleimung in den Deckschichten und Isocyanat-Verleimung in der Mittelschicht	BASF Aktiengesellschaft	
176	Holzspan-Flachpreßplatten mit dem Leim 'Pressamine 6310'	ATOFINA S.A. Dept.Resines-Formol DRF	
182	Holzspan-Flachpreßplatten mit dem Leim MELUREX 5150	Neste Resins B.V.	Zulassung abgelaufen
202	Holzspan-Flachpressplatten mit dem Leim Dynomel L-472	Dynea ASA	
215	COLORPAN-Fassadenelemente 400/600	Werzalit AG & Co. KG	Zulassung abgelaufen
224	Holzspan-Flachpreßplatten mit dem Leim HIACOLL HMP 45	Krems Chemie AG	Zulassung abgelaufen
303	Holzspan-Flachpreßplatten im Dickenbereich 2,8 mm bis < 8,0 mm (Dünnsanplatten) zur Verwendung als Deckschicht von Sandwichelementen	Fritz Egger GmbH & Co.	Zulassung abgelaufen
398	Holzspan-Flachpressplatten des Plattentyps V 20 mit einem Tannin-Leim	Ludwig Kuntz GmbH	
405	Mende-Dünnsanplatten zur Verwendung als Deckschicht von Sandwichelementen	Wilhelm Mende GmbH & Co.; 37505 Osterode; Bundesrepublik Deutschland	
421	Holzspan-Flachpreßplatten mit dem Leim 'HIACOLL HMP 296' oder dem Leim 'HIACOLL HMP 297= MELUREX 5150'	DYNEA AUSTRIA GmbH	
456	Holzspan-Flachpreßplatten mit dem Leim 'Pressamine 6311'	ATOFINA S.A. Dept.Resines-Formol DRF	

Zementgebundene Spanplatten

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
89	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'Betonyt'	Falco Spanplattenwerk	
120	Mineralisch gebundene Flachpressplatten (Holzzementplatten) 'Duripanel'	Eternit AG	
173	Mineralisch gebundene Flachpreßplatten 'Fulgurit-Isopanel' für die Holztafelbauart	Fulgurit Baustoffe GmbH	
267	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'CETRIS'	CIDEM HRANICE A.S.	
285	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'AMROC-Panel'	AMROC Baustoffe GmbH	
325	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'Masterpanel' für die Holztafelbauart	CAPE CALSIL Deutschland GmbH	
328	Mineralisch gebundene Flachpressplatte 'Cospan-Massivbauplatte'	SchwörerHaus GmbH & Co. KG	
340	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'Cospanel'	SchwörerHaus GmbH & Co. KG	
384	Mineralisch gebundene Flachpreßplatten 'Masterpanel-C' für die Holztafelbauart	CAPE BOARDS Deutschland GmbH	
486	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'AMROC-Panel F'	AMROC Baustoffe GmbH Magdeburg	
490	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'AMROC-A2 Panel'	AMROC Baustoffe GmbH Magdeburg	
540	Mineralisch gebundene Flachpressplatten 'BETOPAN'	EPE BETOPAN Yapi Malzemeleri Sanayi ve Ticaret A.S.	

OSB

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
275	STERLING OSB	CSC Forest Products Ltd	
326	Agepan Triply OSB-Flachpreßplatten	Glunz-Deutschland GmbH	
387	Kronospan OSB-Flachpreßplatten	Kronospan Sanem Ltd & Cie	
414	OSB-Flachpressplatten 'KRONOPLY 3'	KRONOPOL Sp.z.o.o	
424	Agepan OSB/3	Glunz AG	
503	OSB KRONOPOLY 4	KRONOPOL Sp.z.o.o	
504	EUROSTRAND OSB	EGGER Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co.KG	
538	INNOTEK OSB	Pfleiderer Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG	
542	AGGLOPLY-Z/OSB	AGGLO N.V. -Afd. Genk	
560	AGGLOPLY-Z/OSB 4	AGGLO N.V. -Afd. Genk	
562	EUROSTRAND OSB 8000	EGGER Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co.KG	
566	EUROSTRAND OSB TOP	EGGER Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co.KG	
570	OSB 'Kronoply 3d'	KRONOPOL Sp.z.o.o	
594	OSB 'KRONOPOL POWER'	KRONOPOL Sp.z.o.o	
599	PICObau OSB	hagebau Handelsgesellschaft für Baustoffe mbH & Co. KG	

Baufurniersperrholz

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
7	Kanadische Bau-Furnierplatten Canply Exterior DFP und Canplyl Exterior CSP	Canadian Plywood Association	
43	Bau-Furniersperrholz 'APA'	APA - The Engineered Wood Association	Zulassung abgelaufen
430	WISA-Sperrholz für den Gerüstbau	UPM-Kymmene Wood GmbH	
431	Sperrholz für den Gerüstbau	Wilhelm Layher GmbH & Co. KG	
455	Bau-Furniersperrholz BFU 100 aus tropischen Holzarten mit einer MUF-Verleimung	Bruynzeel multipanel GmbH	
569	KOSKISEN-Sperrholz für den Gerüstbau'	Koskisen Oy	

Mitteldichte Faserplatten

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
234	Mitteldichte Faserplatten (MDF) 'Kronogen SPEZIAL FO'	KRONOSPAN GmbH; Mühlbacher Straße 1; 01561 Lampertswalde	
382	Holzfaslerplatten 'Agepan DWD'	Glunz-Deutschland GmbH	
442	Holzfaslerplatten KRONOTEC WP 50 und DP 50	KRONOTEX GmbH	
443	Holzfaslerplatten 'Hornitex Masterwood D+W'	Hornitex Werke Nidda Kunststoff- und Holzwerkstoffplatten GmbH & Co. KG	Zulassung abgelaufen
454	Holzfaslerplatte 'FORMline DHF'	EGGER Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co.KG	
493	KRONOWOOD DWD	Kronospan GmbH	
500	Holzfaslerplatten 'AGEPAN IWP'	Glunz AG Werk Meppen	
505	Holzfaslerplatten 'KRONOTEC WP35' und 'KRONOTEC DP35'	KRONOPOL Sp.z.o.o	
513	Holzfaslerplatten 'KRONOSPAN DFP'	Kronospan Sanem Ltd & Cie	

Furnierschichtholz

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
100	'KERTO'-Furnierschichtholz	Finnforest Oyi Kerto Business Unit	
245	Furnierschichtholz 'MicrollamR LVL 2.0 E'	Trus Joist MacMillan	Zulassung abgelaufen
291	Furnierschichtholz 'Kerto-T'	Finnforest Oy Kerto Division	Zulassung abgelaufen
377	Swedlam-S-Furnierschichtholz	Mälärply AB	Zulassung abgelaufen
539	Furnierschichtholz 'SVL'	Bright Wood Corp. Quality Millwork	
573	Birke-SVL	SVL-TEC	

Furnierstreifenholz

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
241	Furnierstreifenholz 'Parallam PSL'	Trus Joist sprl.	

Langspanholz

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
323	Langspanholz TimberStrand P (1,3E Structural Panel) und TiberStrand S (1,5E LSL)	Trus Joist sprl.	

Massivholzplatten

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
209	Dreischichtplatten aus Nadelholz	SchwörerHaus KG	
242	'K1 multiplan' Drei- und Fünfschichtplatten aus Nadelholz	Kaufmann Holzbauwerk GmbH	
258	Drei- und Fünfschichtplatten aus Nadelholz	Dold Südwestdeutsche Sperrholzwerte GmbH	
320	TILLY - Dreischichtplatten aus Nadelholz	Tilly Holzindustrie GmbH	
376	Dreischichtplatten HPA 3-S und Fünfschichtplatten HPA 5-S aus Nadelholz	Holzwerke Pröbstl GmbH	
394	'WIEHAG-Profiplan' Drei- und Fünfschichtplatten aus Nadelholz	Wiesner-Hager Baugruppe Ges.m.b.H.	
401	Dreischichtige Massivholzplatten 'MHP-GL-3S standard', 'MHP-UGL-3S normal' und 'MHP-UGL-3S geschlitz'	Gebrüder Heißerer	
404	Haas' Drei- und Fünfschichtplatten aus Nadelholz	Haas Fertigbau GmbH	
413	Drei- und Fünfschichtplatten 'Multistat'	BINDER HOLZ	
465	NORDPAN Drei- und Fünfschichtplatten	NORDPAN SPA AG	
477	GMACH-Dreischichtplatten aus Nadelholz	Holzwerke GMACH GmbH & Co. KG	
572	Dreischichtplatten AGROP NOVA	AGROP NOVA A.G.	

Harte und mittelharte Faserplatten

Zulassung Z-9.1-...	Gegenstand	Antragsteller	Bemerkung
122	Harte Holzfaserplatten (HFH) der Holzwerkstoffklasse 100	Masonite AB	