

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hygrothermisch unter die Lupe genommen

Hygrothermal Properties of Ecological Insulation Materials - A Closer Look

*Krus, M., Dr.-Ing.; Sedlbauer, K., Prof. Dr.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fraunhofer Str. 10, D-83626 Valley/Oberlaindern,
GERMANY (Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)*

Kurzfassung

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (DNR) fristen im Hochbau eher ein Nischendasein. Ein Grund dafür ist der mangelnde Kenntnisstand von Architekten, Planern, Ingenieuren und Bauherren. Für herkömmliche Dämmstoffe wie Mineralwolle und Polystyrol finden sich dagegen feuchtetechnische und energetische Kennwerte in den wichtigsten Datenbanken. Die dargelegten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sie sich in ihren hygrothermischen Materialeigenschaften vor allem durch eine höhere Sorptionsfähigkeit und spezifische Wärmekapazität unterscheiden. Letzteres führt zusammen mit meist höherer Rohdichte zu einem verbesserten sommerlichen Wärmeschutz bei Verwendung von DNR. Die höhere Feuchtespeicherfähigkeit bewirkt eine geringere zeitliche Schwankungsbreite in Bezug auf den Wassergehalt. Die Messung der Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Dämmstoffe zeigt eine feuchtebedingte Erhöhung, die allerdings vor allem auf Latentwärmeeffekte zurückzuführen ist. Der in den entsprechenden Normen verankerte hohe Feuchtezuschlag für DNR erscheint demnach nicht gerechtfertigt. Dies muss durch weitergehende Untersuchungen genauer bestimmt und in den zuständigen Gremien erörtert werden. Bei einer Außendämmung kann die DNR die ihr eigene hohe Wärmekapazität als Vorteil nutzen, da dadurch die auf der Außenoberfläche anfallende Tauwassermenge deutlich reduziert wird. Es ist zu erwarten, dass damit die Gefahr eines biologischen Bewuchses der Fassade mit Algen oder Pilzen maßgeblich verringert wird.

Abstract

Ecological insulation materials made from renewable primary resources are not encountered often in building construction. One of the reasons is that architects, planners, engineers and building owners have too little information about the advantages and the correct application of these materials, while thermal and hygric data for conventional insulation materials such as mineral wool or polystyrene foam can be found in many common databases. The measurements of hygrothermal properties reported here show that ecological materials are distinguished by higher moisture sorption and higher specific heat capacity. In conjunction with usually higher bulk density the latter results in somewhat better thermal protection in summer. The higher moisture sorption capacity increases the hygric inertia and thus reduces the fluctuation over time of the water content. Measurements of thermal conductivity show an increase with higher moisture content, but it can be demonstrated that most of this increase is due to water vapour transport with phase change driven by the thermal gradient during the measurement. Therefore, the high design values required by the relevant standards to allow for the moisture-induced increase of thermal conductivity do not appear to be justified. This needs further investigation and discussion by the relevant committees. Due to their high thermal capacity, ecological materials used as an exterior insulation can markedly reduce the amount of dew forming on the facade. It can be expected that this will crucially reduce the danger of infestation of the facade by algae and fungi.

Problemstellung und Zielsetzung

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen fristen im Hochbau eher ein Nischendasein. Ein Grund dafür ist der mangelnde Kenntnisstand von Architekten, Planern, Ingenieuren und Bauherren. Für herkömmliche Dämmstoffe wie Mineralwolle und Polystyrol finden sich feuchtetechnische und energetische Kennwerte in den wichtigsten Datenbanken; für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen fehlen diese oft gänzlich oder sind nur zum Teil vorhanden. Dabei können diese Produkte durch ihre speziellen Eigenschaften, wie ausgeprägte Wärme- und Feuchtespeicherfähigkeit sowie in einigen Fällen auch Kapillaraktivität, oftmals Vorteile gegenüber konventionellen Dämmstoffen besitzen. Andererseits schränkt die aus ökologischen Gründen wünschenswerte biologische Abbaubarkeit deren Gebrauchstauglichkeit vor allem im feuchtwarmen Milieu ein. Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen ist es, die Akzeptanz dieser Dämmstoffe bei Architekten, Ingenieuren, Planern, aber auch Hausbesitzern zu erhöhen, indem das hygrothermische Verhalten näher untersucht wird und Vorteile sowie Einsatzgrenzen definiert werden. Dazu sind die hygrothermischen Materialkennwerte dieser Materialien mit denen konventioneller Dämmstoffe verglichen worden, um deren Einfluss z.B. auf den sommerlichen Wärmeschutz zu beurteilen. Der Einfluss der meist höheren Feuchtespeicherfähigkeit und die Konsequenzen in Bezug auf das Schimmelpilzwachstumsrisiko werden ebenso betrachtet und die Frage diskutiert, ob die in den Normen festgelegten relativ hohen feuchtebedingten Zuschlagswerte für die Wärmeleitfähigkeit dieser Materialien gerechtfertigt sind.

Materialkennwerte

Für den Vergleich der Materialkennwerte von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen mit denen konventioneller Dämmstoffe wie Mineralwolle und Polystyrol liegen Ergebnisse aus einer eigenen Literaturrecherche vor. Als Quelle dienen Herstellerangaben, Zulassungsbescheide, Normprüfungen der Güteüberwachung, sowie Eigenmessungen und Veröffentlichungen. Verglichen werden die Rohdichte, die spezifische Wärmekapazität, die Diffusionswiderstandszahl und die Ausgleichsfeuchte (Sorptionsfeuchte bei 80% r. F.) (vergl auch DIN4108 [1]).

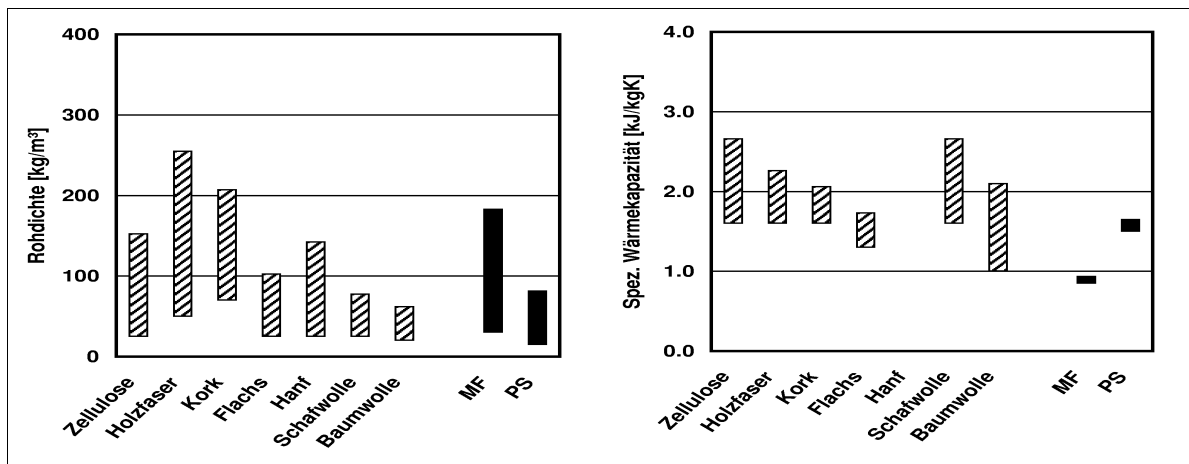


Bild 1: Gegenüberstellung der Materialkennwerte von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und konventionellen Dämmstoffen. MF bedeutet Mineralfaser, PS Polystyrol.

Links: Rohdichte

Rechts: spezifische Wärmekapazität

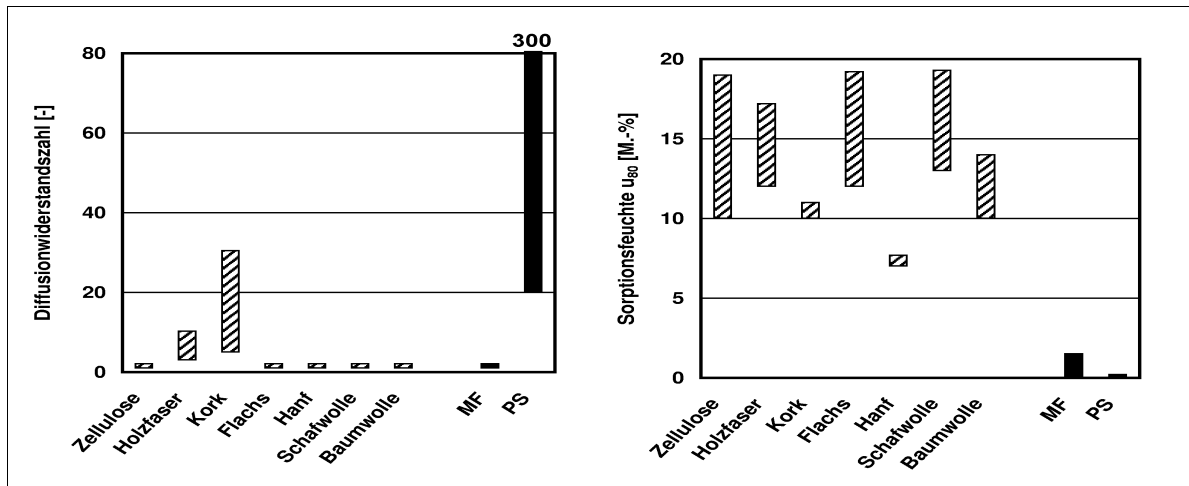


Bild 2: Gegenüberstellung der Materialkennwerte von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und konventionellen Dämmstoffen.

Links: Diffusionswiderstandszahl.

Rechts: Sorptionsfeuchte bei 80 % r.F.

Die Bandbreite der Kennwerte ist in Bild 1 links für die Rohdichte und rechts für die spezifische Wärmekapazität dargestellt. Dabei decken die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (DNR) einen größeren Rohdichtebereich ab, vor allem wenn man bedenkt, dass Mineralwolle nur in Ausnahmefällen mit Rohdichten über 100 Kg/m³ eingesetzt wird. Ein typisches Kennzeichen von DNR ist, wie auch aus Bild 1 rechts ersichtlich, die hohe spezifische Wärmekapazität dieser organischen Materialien. Im Mittel liegen deren Werte bei annähernd 2 kJ/kg und damit mehr als doppelt so hoch wie bei Mineralwolle. Das Polystyrol, ebenfalls ein organischer Baustoff, zeigt dagegen nur geringfügig niedrigere spezifische Wärmekapazität.

Bei den DNR handelt es sich um diffusionsoffene Materialien, deren Diffusionswiderstandszahlen in den meisten Fällen, wie auch bei der Mineralwolle, nur geringfügig über 1 liegen (siehe Bild 2 links). Nur Kork zeigt mit Werten von 5 bis 30 höhere Diffusionswiderstände. Auffällig ist dagegen die relativ hohe Wasserdampfdiffusionsdichtheit des Polystyrols. Noch deutlicher sind die Unterschiede zwischen DNR und den als hydrophob einzustufenden konventionellen Dämmstoffen bei der Sorptionsfähigkeit (Bild 2 rechts). Es ist zu erwarten, dass dies einen Einfluss auf den Feuchtehaushalt des Dämmstoffs im Einbaufall hat.

Sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes dienen bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen zur Vermeidung einer zu hohen Erwärmung der Aufenthaltsräume an heißen Sommertagen (Behaglichkeit) bzw. bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen und Klimatisierung zur Minimierung der für die Kühlung erforderlichen Energie. Noch vor wenigen Jahren war in der Baupraxis oft die Meinung anzutreffen, dass das Raumklima im Sommer allein über das Temperaturamplitudenverhältnis (TAV), teilweise auch über die Phasenverschiebung der Außenwände und Dächer, geregelt werden könne. Der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit der Innenbauteile auf die den sommerlichen Wärmeschutz ist aber bereits wesentlich größer als derjenige des TAV.

Nach dem heutigen Erkenntnisstand kann man die einzelnen baulichen und nutzungsspezifischen Maßnahmen hinsichtlich ihres Einflusses auf das sommerliche Raumklima in folgender Reihenfolge von stark nach weniger bedeutsam ordnen:

1. Gebäudestandort
2. Energieeintrag durch die transparenten Außenbauteile (Größe, Orientierung und Sonnenschutz der Fenster).

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hygrothermisch unter die Lupe genommen

3. natürliche oder mechanische Lüftung der Räume (vor allem abends und nachts).
4. Wärmespeicherfähigkeit der Innenbauteile
5. instationäre Wärmeleiteigenschaften der nichttransparenten Außenbauteile (TAV).

Bei Dämmstoffen ergibt sich aufgrund der bei organischen gegenüber mineralischen Materialien höheren Wärmespeicherkapazität für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (DNR) ein gewisser Vorteil. Bild 3 zeigt den rechnerisch ermittelten Wärmestrom durch die Innenoberfläche eines südorientierten Steildaches mit 18 cm Sparrendämmung aus drei verschiedenen Materialien mit gleicher Wärmeleitfähigkeit beispielhaft an zwei Tagen im August. Der über den Tagesverlauf gemittelte Wert des innenseitigen Wärmestroms ist bei den drei Konstruktionen nahezu identisch (nicht dargestellt) während Maxima und Phasenverschiebung deutlich voneinander abweichen. Die mit Mineralwolle gedämmte Konstruktion weist bereits kurz nach Mittag des ersten Tages ein Maximum für den Wärmestrom in Höhe von etwa 8 W/m^2 auf, bei Zolulosedämmung verschiebt sich das Maximum um etwa zwei Stunden und liegt bei ca. 7 W/m^2 . Besonders günstig verhält sich die Konstruktion mit Dämmung aus Holzfaser: Das Maximum wird erst am späten Abend erreicht und liegt mit etwa $3,5 \text{ W/m}^2$ noch einmal deutlich niedriger als bei Zellulose.

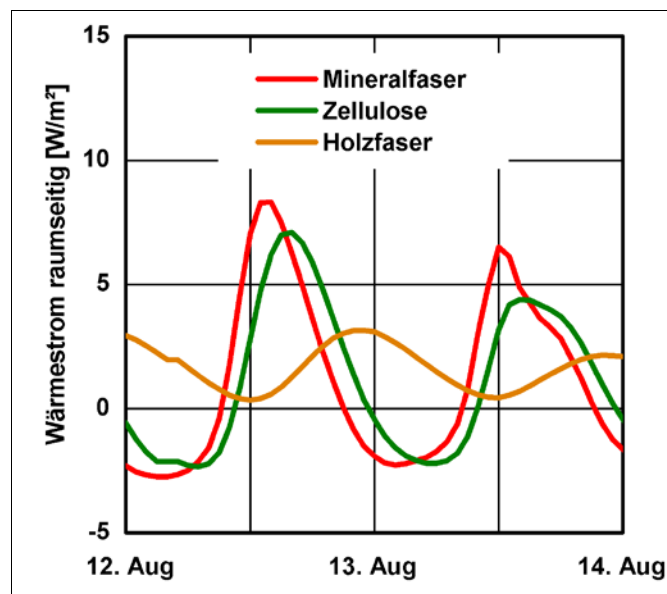


Bild 3: Berechneter Wärmestrom an der Dachinnenseite für zwei ausgewählte heiße Sommertage bei Verwendung einer Zwischensparrendämmung aus Mineralwolle, Zolulosedämmstoff, oder Holzfaserdämmplatten. Während sich die Mittelwerte der Wärmeströme kaum unterscheiden, führt die Holzfaserdämmstoffplatte aufgrund ihres hohen Wärmespeichervermögens zu einer Verschiebung des Wärmestrom-maximums in die Nachtstunden bei niedrigeren Maximalwerten.

Die Berechnung der Raumlufttemperaturen einer unter diesem Dach angeordneten Mansarde mit gedämmten Innenwänden (Extremfall), Teppichboden, einem 1 m^2 großen Gaubenfenster sowie einer internen Wärmequelle von 150 W ergibt für 20 Tage im Juli die in Bild 4 dargestellten Ergebnisse. Während sich die Mittelwerte der Temperatur bei den drei verschiedenen Konstruktionen wiederum nur geringfügig unterscheiden, liegen die Maximalwerte bei der Konstruktion mit Mineralwolle an heißen Tagen um über zwei Grad über denen der Konstruktion mit Holzfaserdämmung. In Bezug auf die Behaglichkeit hat eine Raumtemperaturänderung von zwei Grad einen deutlichen Einfluss.

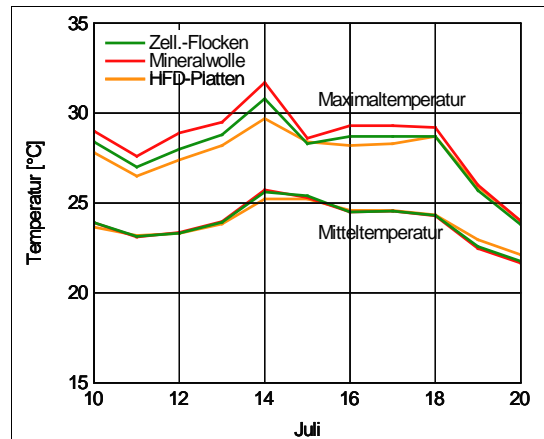


Bild 4: Berechnete mittlere und maximale Raumlufttemperaturen in einer Mansarde für einen ausgewählten heißen Sommertag bei Verwendung einer Zwischensparrendämmung aus Mineralwolle, Zellulosedämmstoff, und Holzfaserdämmplatten. Während sich die Mitteltemperaturen kaum unterscheiden, führt die Holzfaserdämmstoffplatte aufgrund ihres hohen Wärmespeichervermögens zu etwa zwei Grad niedrigeren Maximalwerten.

Einfluss der Feuchtespeicherfähigkeit

Die Durchführung der rechnerischen Untersuchungen zur Untersuchung des Einflusses der Feuchtespeicherfähigkeit erfolgen mit dem auch für Dämmstoffe mehrfach verifizierten PC-Programms WUFI [2, 3]. Den Materialdaten der verwendeten Dämmstoffe liegen die Ergebnisse der Literaturrecherche bzw. der Umfrage bei Herstellern von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zugrunde. Die Daten der übrigen Materialien stammen aus der WUFI-eigenen Datenbank. Als Anwendungsbeispiel wurde als repräsentative Konstruktionen eine Zwischensparrendämmung im Neubau ausgewählt.

Als klimatische Randbedingungen werden gemessene Stundenmittelwerte eines für Holzkirchen typischen Jahres herangezogen. Als raumseitiges Klima werden sinusförmige Jahresverläufe für Temperatur und relative Feuchte bei normaler Feuchtelast angenommen [4]. Als Anfangsbedingungen sind im Bauteil 15 °C sowie die Ausgleichsfeuchte bei 80 % r.F. gewählt. Für die äußeren Wärmeübergangskoeffizienten werden 17 W/m²K und auf der Innenseite 8 W/m²K angesetzt. Die Dachkonstruktion besitzt eine Neigung von 50° und ist nach Norden orientiert (worst case).

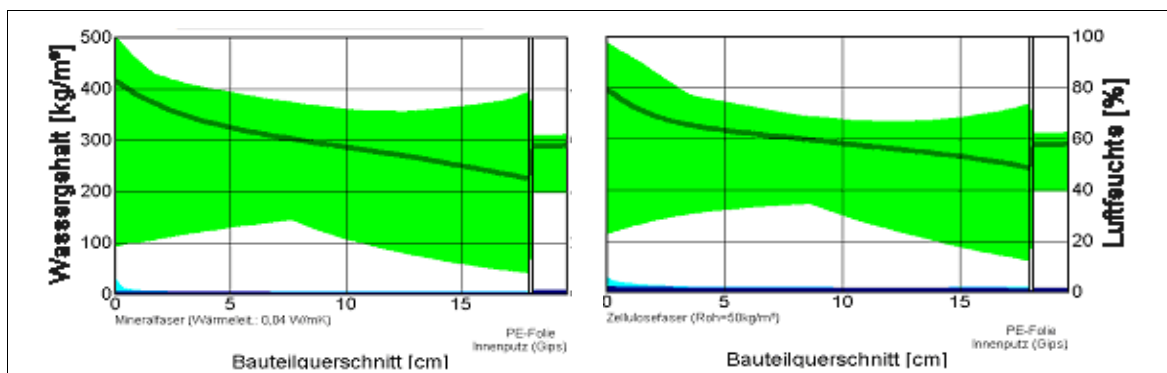


Bild 5: Profildarstellung der berechneten Wassergehalte (blau) und Luftfeuchten (grün) über den Querschnitt eines Dachs mit Zwischensparrendämmung im eingeschwungenen Zustand während eines Jahres. Die dunklen Linien stellen den Jahresmittelwert und die hellen Flächen die im Jahresverlauf auftretenden Werte dar.
Links: Mineralfaser
Rechts: Zellulosefaser (DNR)

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hygrophthermisch unter die Lupe genommen

Bild 5 stellt die Schwankungen von Wassergehalt und rel. Feuchte während eines Jahres im eingeschwungenen Zustand sowie deren Mittelwerte über den Bauteilquerschnitt dar. Verglichen wird hierbei eine Konstruktion mit Mineralwolle (links) mit einer Konstruktion mit Zelloesedämmung (rechts). Bei dem jeweiligen mittleren Profil der rel. Feuchte (dunkle Linien) sind keine Unterschiede erkennbar. Bedingt durch die fehlende Feuchtepufferung bei Mineralwolle fallen die jährlichen Schwankungen der rel. Luftfeuchte im Dämmstoff etwas höher aus. Der Wassergehalt ist aufgrund der Sorptionseigenschaften vor allem auf der Außenseite der Zelloesedämmung deutlich höher als bei der Mineralwollendämmung (Bild 6).

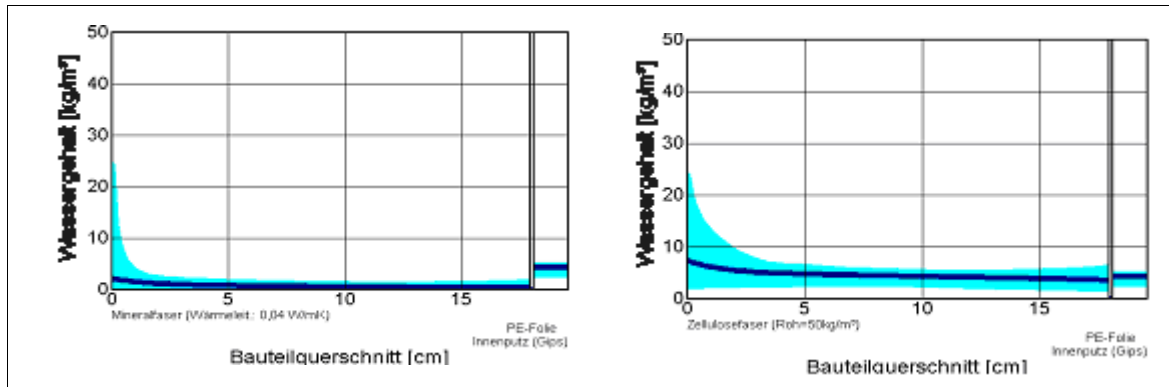


Bild 6: Profildarstellung der Wassergehalte über den Querschnitt eines Dachs mit Zwischensparrendämmung im eingeschwungenen Zustand während eines Jahres. Die dunklen Linien stellen den Jahresmittelwert und die hellen Flächen die im Jahresverlauf auftretenden Werte dar.
Links: Mineralfaser
Rechts: Zelloesefaser (DNR)

Bewertung der Schimmelpilzbildung

Für die Bewertung einer möglichen Schimmelpilzgefahr in den einzelnen Konstruktionen wird ein biohygrothermisches Verfahren verwendet [5], das die Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf Basis der drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen (Feuchte, Temperatur und Substrat) von Schimmelpilzen bei instationären Randbedingungen ermöglicht. Die wesentlichen Merkmale werden in [6] erläutert. Dabei werden sog. Isoplethensysteme verwendet, welche für einzelne Substratgruppen gelten. Dazu erfolgte in [5] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

- Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen daher die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die absolute Wachstumsgrenze (Bild 7 links).
- Substratgruppe I: Biologisch gut verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen, stark verschmutztes Material (Bild 7 Mitte).
- Substratgruppe II: Biologisch kaum verwertbare Substrate, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen (Bild 7 rechts).

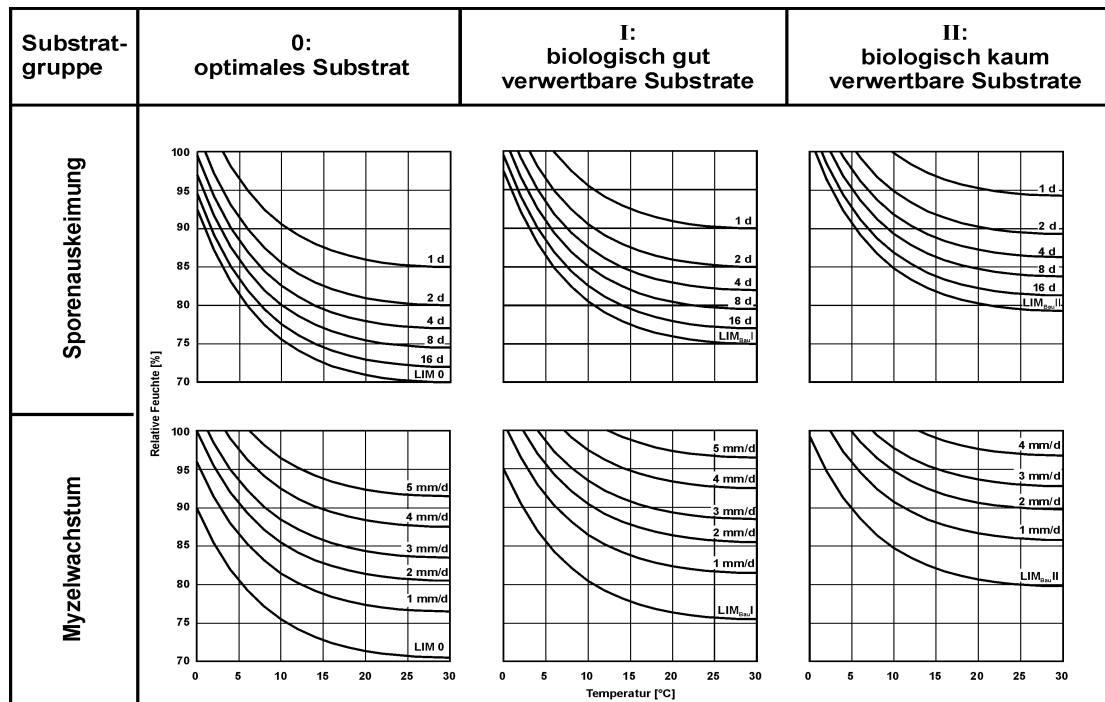


Bild 7: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (oben) bzw. für Myzelwachstum (unten) nach [5], das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt. Die im Bild dargestellten Diagramme gelten links für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und rechts für Substratgruppe II. Die angegebenen Kurvenscharparameter charakterisieren für die Sporenauskeimungszeit (oben) die Dauer in Tagen, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist und für das Myzelwachstum (unten) die maximal mögliche Wachstumsrate in mm/d.

Ein Isoplethensystem benennt dabei die Sporenauskeimzeiten in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte (siehe Bild 7). Die jeweils unterste Linie (Wachstumsgrenze) wird als LIM (Lowest Isopleth for Mould) bezeichnet. Mineralwolle ist gemäß dieser Einteilung der Substratgruppe II zuzuordnen. Bei DNR kann noch keine eindeutige Zuordnung zur Substratgruppe erfolgen. Einige DNR werden in die Substratgruppe I fallen, sofern keine biozide Ausrüstung gegeben ist, wobei auch die beigegebenen Flammschutzmittel biozid wirken können. Andere DNR, wie z.B. Kork, sind dagegen schimmelwidrig, womit deren Wachstumsbedingungen sogar oberhalb der Substratgruppe II liegen. Bei der Beurteilung des Schimmelpilzrisikos werden hier für die DNR sowohl Substratgruppe I als Substratgruppe II angesetzt.

Bild 8 zeigt die klimatischen Zustände in der Mitte sowie an Innen- und Außenseite der Dämmung. Man erkennt, dass nur an der Dämmstoffaußenseite die unteren Wachstumsgrenzen überschritten werden und deshalb dort Schimmelwachstum möglich sein könnte. Allerdings wird aus dem Vergleich ersichtlich, dass selbst bei Zugrundelegung von Substratgruppe I für DNR die Wachstumsgrenzen nur kurzfristig und nicht häufiger als bei Mineralwollendämmung überschritten werden. Dies bedeutet, dass auch die Verwendung von DNR die Schimmelpilzwachstumsgefahr nicht zu vergrößern scheint.

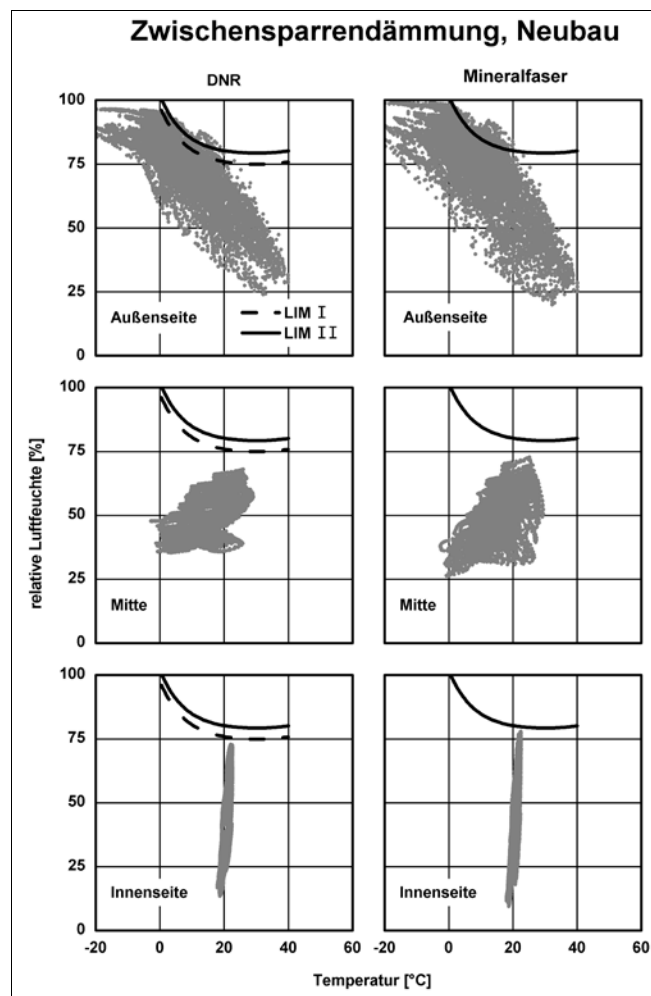


Bild 8: Klimatische Zustände an der Dämmstoffaußenseite (Bild oben), Dämmstoffmitte (Bild Mitte) und Dämmstoffinnenseite (Bild unten) für eine Konstruktion mit Dämmstoff aus nachwachsendem Rohstoff (links) im Vergleich zu derselben Konstruktion mit einer Dämmung aus Mineralwolle (rechts). Mit eingezeichnet sind die untersten Wachstumsgrenzen (LIM) für die Substratgruppen I und II gemäß Bild 7.

Feuchtezuschlag der Wärmeleitfähigkeit

In Tabelle 1 sind die Feuchtezuschläge nach DIN 52612-2 [8] bzw. DIN 4108-4 [1] für DNR denen für Mineralwolle und Polystyrol gegenübergestellt. Es ist zu klären, ob derart hohe, die DNR benachteiligende Zuschlagswerte wirklich gerechtfertigt sind. Hierbei ist es nicht das Ziel, eine normgerechte Bestimmung des Feuchtezuschlags als Bemessungsgrundlage durchzuführen. Der Zweck dieser Untersuchungen liegt eher darin, die im feuchten Baustoff bei anliegendem Temperaturgradienten auftretenden Effekte zu untersuchen und darzustellen.

Tabelle 1 nach DIN 52612-2 [8] bzw. DIN 4108-4 [1]

Material	Zuschlagswert Z [%]
Zelluloseflocken	20
Holzfaslerplatten	10 bis 15
Holzwolleleichtbauplatte	10 bis 20
Hanf	20
Mineralwolle	5
Polystyrol	5

Zur Bestimmung des Feuchtezuschlags für die Wärmeleitfähigkeit wird zunächst die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{ tr}}$ der Schüttdämmung aus Zelluloseflocken durch Messung mit einem Plattenapparat nach DIN 52616 [9] bestimmt. Anschließend werden die Proben bei 23 °C / 80 % r.F. konditioniert. Nach Gewichtskonstanz werden analoge Messungen und Auswertungen durchgeführt, um die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{ u80}}$ zu erhalten. Bezieht man die relative Differenz der Wärmeleitfähigkeiten von $\lambda_{10\text{ tr}}$ und $\lambda_{10\text{ u80}}$ auf den Wassergehalt, erhält man den feuchtegehaltsbezogenen Zuschlagswert in [%/M.-%]. Aus diesem feuchtegehaltsbezogenen Zuschlag und dem mittleren Feuchtegehalt bei 80 % r.F. ergibt sich der Feuchtezuschlag in [%].

Da die Dämmstoffproben im Plattenapparat nicht hermetisch dicht eingeschlossen sind, kommt es bei einer Trockenmessung zu einer geringen Feuchteaufnahme aus der Laborluft und bei der Feuchtmessung zu einer entsprechenden Feuchteabnahme. Diese wird bei der Auswertung berücksichtigt. Die hygrothermischen Vorgänge während der Messung im Plattenapparat werden mit der Software WUFI [2] nachgerechnet, mit dem Ziel, die genaue Ursache des erhöhten Wärmestroms bei den Feuchtmessungen zu ergründen bzw. zu quantifizieren. Dabei werden die thermischen Randbedingungen an der Warm- und Kaltseite des Plattenapparats übernommen und die hygrischen Randbedingungen so gewählt, dass die berechnete Materialfeuchtezunahme bzw. -abnahme den Feuchteänderungen während der Messung entspricht.

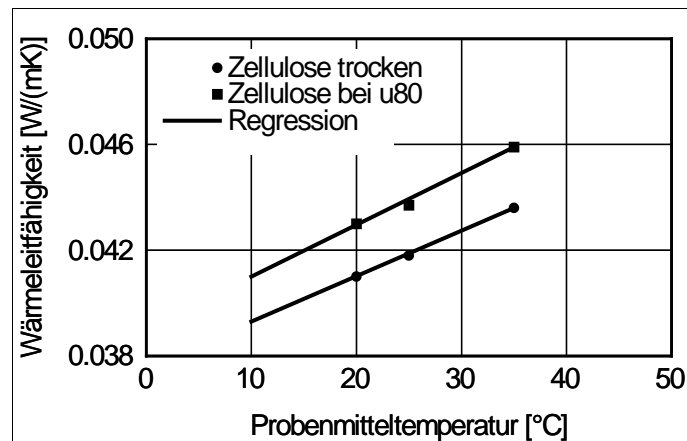


Bild 9: Darstellung der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten von trockener Zellulose und bei einem Feuchtegehalt von u_{80} bei verschiedenen Probenmitteltemperaturen. Durch Regression und anschließender Feuchtekorrektur wird jeweils die Wärmeleitfähigkeit bei einer Probenmitteltemperatur von 10°C ($\lambda_{10\text{ tr}}$ bzw. $\lambda_{10\text{ u80}}$) extrapoliert.

In Bild 9 ist dargestellt, wie durch Extrapolation die Wärmeleitfähigkeiten bei den verschiedenen Probenmitteltemperaturen ermittelt werden. Daraus ergibt sich mit dem gemessenen Feuchtegehalt der Probe ein Zuschlag für die Wärmeleitfähigkeit dieser Probe von 0,49 %/M.-%. In [10] wird durch Messungen an mehreren Proben ein mittlerer feuchtegehaltsbezogener Zuschlag bei u_{80} für Zelluloseflocken von 5 % ermittelt, was den in [1] und [8] festgelegten Wert für pflanzliche Faserdämmstoffe von 20 %, zumindest aus feuchte-technischer Sicht, nicht rechtfertigt.

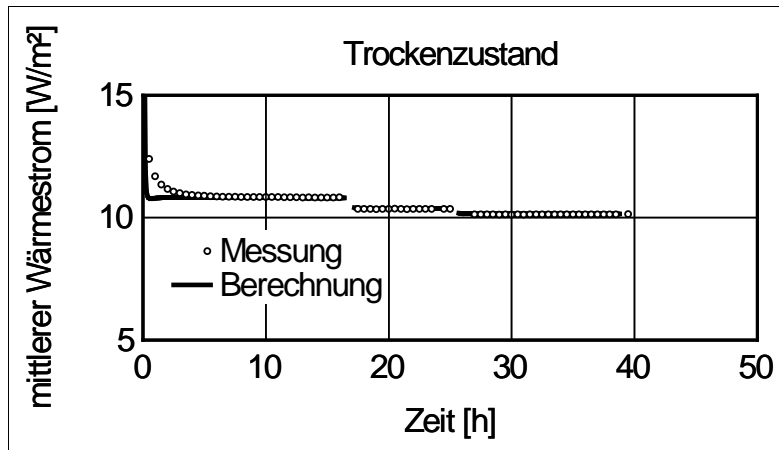


Bild 10: Vergleich von gemessenem und berechnetem mittleren Wärmestrom bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe aus Zellulose im Trockenzustand.

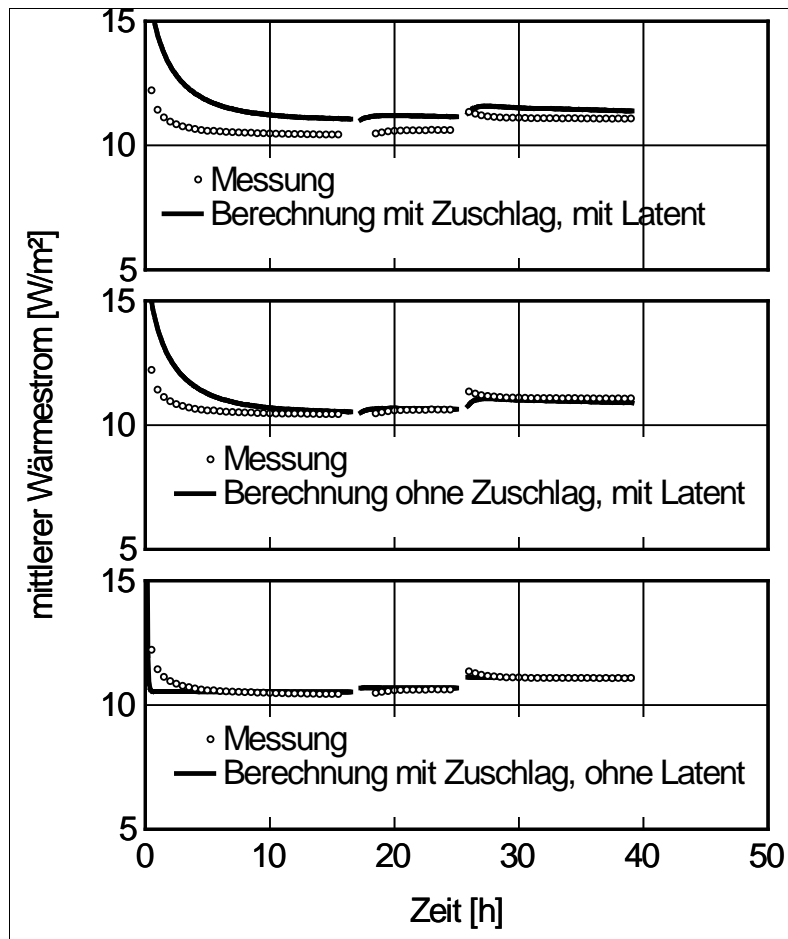


Bild 11: Vergleich von gemessenem und berechnetem mittleren Wärmestrom bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe aus Zellulose im Plattenapparat bei Feuchtegehalt u_{80} . Dabei ist eine Berechnung mit Wärmeleitfähigkeitszuschlag und Berücksichtigung der Latentwärme (Bild oben), ohne Wärmeleitfähigkeitszuschlag und mit Berücksichtigung der Latentwärme (Bild Mitte) sowie mit Wärmeleitfähigkeitszuschlag und ohne Berücksichtigung der Latentwärme (Bild unten) zu sehen. Der verwendete Wärmeleitfähigkeitszuschlag stammt aus der Auswertung der Messung.

In den Bildern 10 und 11 sind die Ergebnisse der WUFI-Nachrechnung der Messung im Plattenapparat dargestellt. In Bild 10 ist der gemessene und berechnete mittlere Wärmestrom der Probe aus Zelluloseflocken im Trockenzustand dargestellt. Dabei ist eine gute Übereinstimmung von Messung und Berechnung zu erkennen. Bild 11 zeigt den berechneten im Vergleich zum gemessenen mittleren Wärmestrom der Probe von Zelluloseflocken bei Feuchtegehalt u_{80} . Dabei werden folgende Variationen in der Berechnung gewählt: Mit feuchtegehaltsbezogenem Wärmeleitfähigkeitszuschlag und mit Latentwärme (Bild oben), nur Latentwärme (Bild Mitte) bzw. nur feuchtegehaltsbezogener Wärmeleitfähigkeitszuschlag (Bild unten). Die Berechnung ohne Latentwärme ist physikalisch unsinnig. WUFI bietet diese Möglichkeit dennoch, um die Größenordnung dieses Effektes abschätzen zu können. Als feuchtegehaltsbezogener Wärmeleitfähigkeitszuschlag wird das Ergebnis der messtechnischen Auswertung verwendet.

Bild 11 ist zu entnehmen, dass sich bei der Berechnung mit Zuschlag und Berücksichtigung der Latentwärme (Bild oben) im Vergleich zur Messung ein zu hoher Wärmestrom einstellt. Weiterhin ist zu sehen, dass sich eine gute Übereinstimmung von Messung und der Berechnung ohne Zuschlag und mit Berücksichtigung der Latentwärme ergibt (Bild Mitte). Außerdem zeigt sich ebenfalls eine gute Übereinstimmung von Messung und der Berechnung mit Zuschlag und ohne Berücksichtigung der Latentwärme (Bild unten). Letztere Feststellung ist zu erwarten, da der verwendete Zuschlag für die Wärmeleitfähigkeit aus der Messung unter Vernachlässigung der Latentwärme stammt. Weiterhin lassen die Ergebnisse im Bild oben und Bild Mitte den Schluß zu, dass es sich bei den im Vergleich zur Trockenmessung erhöhten Wärmestrom in der Messung bei Feuchtegehalt u_{80} praktisch nur um Latentwärmeeffekte handelt und ein feuchtegehaltsbezogener Wärmeleitfähigkeitszuschlag bei diesem Feuchtegehalt nicht zu erkennen ist. Das heißt, dass die „wahre“ (physikalisch richtige) Wärmeleitfähigkeit dieses Dämmstoffs bis zu seinem Ausgleichswassergehalt bei 80 % relativer Feuchte keine nennenswerte Feuchteabhängigkeit aufweist. Die gemessene Wärmestromerhöhung im Plattenapparat ist durch instationäre Sorptions- und Desorptionsvorgänge verursacht. Unter den Bedingungen im Plattenapparat laufen diese Vorgänge allerdings mit einer Intensität ab, die nicht den Verhältnissen in der Praxis entspricht. Außerdem können sich die Sorptions- und Desorptionsprozesse in der Praxis, im Gegensatz zu den Verhältnissen im Plattenapparat, auch umkehren. Das bedeutet, daß die Wärmeenergie, die zunächst verloren wird, auch wieder zurückgewonnen werden kann. Daher sollten diese instationären Latentwärmeeffekte bei der Festsetzung der Wärmeleitfähigkeit nicht berücksichtigt werden. Ob ein feuchtebedingter Zuschlag auf den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen unter diesen Umständen überhaupt begründbar ist, sollte durch weitere Messungen bestätigt und in den zuständigen Gremien des Deutschen Instituts für Bautechnik erörtert werden.

Biologischer Bewuchs auf Außenoberflächen

In den letzten Jahren hat das mikrobielle Wachstum, zum Beispiel von Algen, Pilzen und Flechten an Außenwänden zugenommen. Dies ist auf die erhöhte Wärmedämmung und das dadurch reduzierte Trocknungspotential feuchter Außenoberflächen zurückzuführen. Biozide haben nur vorübergehende Wirkung und belasten bei Auswaschung die Umwelt. Außerdem ist im Rahmen der neuen EU-Richtlinien eine deutliche Einschränkung bei der Auswahl von Bioziden zu erwarten.

Bei Außenwänden sind insbesondere Konstruktionen mit Wärmedämmverbundsystemen (WDV-Systemen) betroffen, bei denen auf der außenliegenden Wärmedämmschicht nur eine dünne Putzschicht angeordnet ist. Diese Schicht ist durch die dahinterliegende Dämmung von der restlichen Baukonstruktion gewissermaßen thermisch abgekoppelt. Sie selbst besitzt eine geringe Wärmespeicherkapazität und unterliegt instationär wesentlich größeren Temperaturschwankungen als Putze bei Massivbauweise. Daher können sich vor allem in klaren Nächten infolge Wärmeabstrahlung rasch Temperaturen unterhalb der Außenlufttemperatur einstellen, wodurch

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hygrophthermisch unter die Lupe genommen

Oberflächentauwasser entsteht. Die Abtrocknung durch Regen befeuchteter Oberflächen hat sich gegenüber früher durch die verbesserte Wärmedämmung und dem dadurch reduzierten Transmissionswärmestrom ebenfalls verschlechtert.

Eine Verringerung des Dämmstandards kann schon aus umweltpolitischen Gründen nicht die Lösung für dieses Problem darstellen. Ein erfolgversprechender Ansatz wäre aber die Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit der oberflächennahen Schicht. Genau hierbei könnten Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen Vorteile bieten. Einerseits besitzen organische Materialien eine deutlich höhere spezifische Wärmekapazität als anorganische, andererseits stehen hierbei auch Dämmstoffe mit vergleichsweise hoher Rohdichte zur Verfügung (z.B. Holzfaserdämmplatte mit einer Rohdichte von 150 kg/m^3). Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen wurde deshalb ein Wandaufbau mit einem Wärmedämmverbundsystem auf Basis von Holzfaserdämmstoff im Vergleich zu einem konventionellen WDV-System experimentell und rechnerisch untersucht.

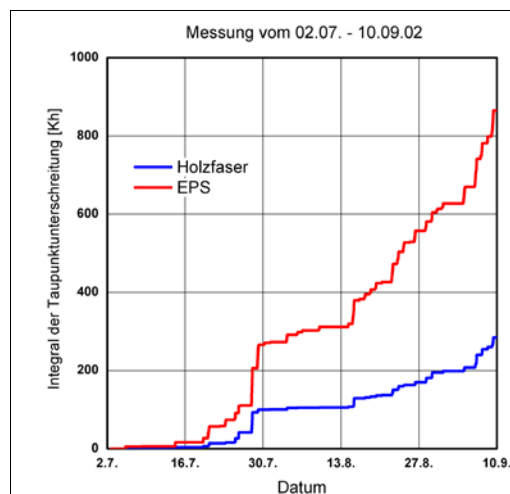


Bild 12: Gemessene und mit dem Grad der Taupunktunterschreitung gewichtete Verläufe der Taupunktunterschreitung für eine westorientierte Wand mit WDV-System (konventionell und mit HFD) für einen Zeitraum von etwa 2 Monaten.

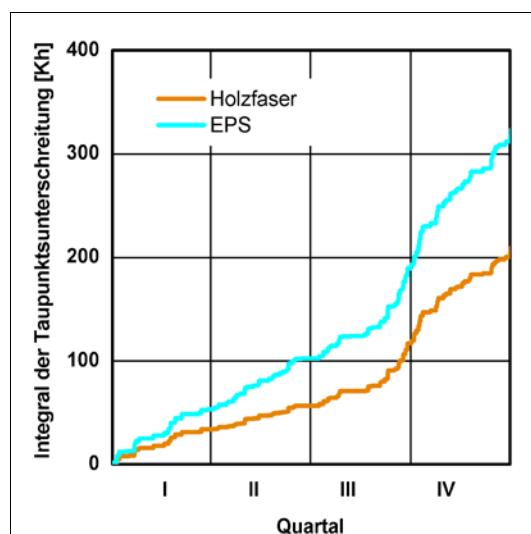


Bild 13: Berechnete und mit dem Grad der Taupunktunterschreitung gewichtete Jahresverläufe der Taupunktunterschreitung für eine westorientierte Wand mit WDV-System (konventionell und mit HFD).

Bild 12 zeigt für eine westorientierte Wand mit WDV-System (konventionell und mit HFD) die gemessenen und mit dem Grad der Taupunktunterschreitung gewichteten Jahresverläufe. Man erkennt deutlich die Abnahme der Taupunktunterschreitung bei Verwendung von HFD im Vergleich zu Polystyrol (konventionelles WDVS). Analoge Ergebnisse ergeben auch die durchgeführten Berechnungen, wie aus Bild 13 ersichtlich.

Zusammenfassung

In ihren hygrothermischen Materialeigenschaften unterscheiden sich Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen vor allem durch höhere Sorptionsfähigkeit und spezifische Wärmekapazität. Letzteres führt zusammen mit meist höherer Rohdichte zu einem etwas verbesserten sommerlichen Wärmeschutz bei Verwendung von DNR. Die höhere Feuchtespeicherfähigkeit bewirkt eine geringere zeitliche Schwankungsbreite in Bezug auf den Wassergehalt. Am Beispiel einer Zwischensparrendämmung beim Neubau zeigt sich, dass das Schimmelpilzrisiko je nach Zuordnung der DNR in die Substratgruppe I bzw. II etwas höher bzw. etwas niedriger als bei Verwendung von Mineralwolle sein kann. Eine begründete Zuordnung der jeweiligen DNR muss in Zukunft noch unbedingt erfolgen. Bei sachgemäßem Einbau sind demnach keine Probleme zu erwarten.

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Dämmstoffe zeigt eine feuchtebedingte Erhöhung, die allerdings vor allem auf Latentwärmeeffekte zurückzuführen ist. Das heißt, dass die „wahre“ (physikalisch richtige) Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe bis zu ihrem Ausgleichswassergehalt bei 80 % relativer Feuchte keine wesentliche Feuchteabhängigkeit zeigt. Die gemessene Wärmestromerhöhung im Plattenapparat ist demnach, wie hygrothermische Vergleichsrechnungen ergeben, durch instationäre Sorptions- und Desorptionsvorgänge verursacht. Eine Umverteilung der Feuchte im Bauteilquerschnitt findet nur im jahreszeitlichen Wechsel statt. Dies bedeutet, dass über die gesamte Heizperiode diese Latentwärmeverluste einmalig auftreten und deshalb in der Gesamtbilanz vernachlässigt werden können. Daher sollten diese instationären Latentwärmeeffekte bei der Festsetzung der Wärmeleitfähigkeit nicht berücksichtigt werden. Ob ein feuchtebedingter Zuschlag auf den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen unter diesen Umständen begründbar ist, muss durch weitergehende Untersuchungen bestimmt und in den zuständigen Gremien des Deutschen Instituts für Bautechnik erörtert werden.

Gerade bei einer Außendämmung kann die DNR die ihr eigene hohe Wärmespeicherkapazität als Vorteil nutzen, da dadurch, wie dargelegt wurde, die auf der Außenoberfläche anfallende Tauwassermenge deutlich reduziert wird. Es ist zu erwarten, dass damit die Gefahr eines biologischen Bewuchses der Fassade mit Algen oder Pizen maßgeblich verringert wird.

Ein Nachteil von Faserdämmstoffe aus Zellulose und Flachs, ihr Setzungsverhalten bei Kontakt mit flüssigem Wasser, muss bei deren Anwendung aber unbedingt Berücksichtigung finden. Diese Dämmstoffe sind daher sorgfältig vor größeren Wassereintrüben zu schützen. Eine kurzzeitig vorübergehende Aufweitung durch Tauwasserbildung ist in diesem Zusammenhang jedoch als unkritisch zu bezeichnen. Weiterhin sind auch noch andere Eigenschaften von DNR, wie z.B. das akustische und brandschutztechnische Verhalten, genauer zu überprüfen.

Quellen

- [1] DIN-V 4108-4: Wärmeschutz im Hochbau. Wärme- und Feuchteschutztechnische Kennwerte. Februar 2002
- [2] Künzel, H.M., Schmidt, Th.; Holm, A.: WUFI-3.1: Programm zur instationären Berechnung des eindimensionalen Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen, Holzkirchen (2001).
- [3] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart (1994)
- [4] Künzel, H.M.: Raumluftverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung 24 (1997) Nr. 314.
- [5] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation, Universität Stuttgart (2001).
- [6] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Bauphysik 24 (2002), H. 3, S. 167 - 176.
- [7] Gertis, K.: Die Wärmeleitfähigkeit in feuchten Stoffen bei endo- bzw. exothermer Phasenänderung der Feuchtigkeit. Gesundheits-Ingenieur, 93 (1972), H. 12, S. 354 – 369.
- [8] DIN 52612-2: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät. Weiterbehandlung der Meßwerte für die Anwendung im Bauwesen. Juni 1984.
- [9] DIN 52616: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Wärmestrommeßplatten-Gerät. Beuth-Verlag. Berlin, November 1977.
- [10] Kehrer, M.; Künzel, H.M.; Sedlbauer, K.: Bestimmung feuchtetechnischer Kennwerte an Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. IBP-Bericht HTB-12/2001.