

Berechnung der Feuchte im geneigten Dach

Ansatz des 'wahren' s_d - Wertes von Unterspannbahnen

H.-P. Leimer
BBS INGENIEURBÜRO, Wolfenbüttel

Zusammenfassung

In letzter Zeit werden in geneigten Dächern vermehrt diffusionsoffene Unterspannbahnen (USB) eingebaut. Diese Bahnen ermöglichen bei einer Wasserundurchlässigkeit das Entweichen von Feuchte aus der Konstruktion, sei es aus den abtrocknenden Sparren oder aus anderen, die Konstruktion belastenden, Feuchteprozessen.

Die Ermittlung der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl dieser Bahnen nach den herkömmlichen Prüfverfahren zeigen je nach Prüfverfahren und Randbedingungen jedoch stark schwankende Ergebnisse.

Aus diesem Grund wurde ein übliches, nichtbelüftetes Dachsystem mit Sparrenvollämmung im Hinblick auf die Abhängigkeiten unterschiedlicher s_d - Werte untersucht. Hierbei wurden die Kennwerte des s_d - Wertes der Unterspannbahnen aus Versuchen nach DIN 52615 [1] sowohl konstant als auch in Abhängigkeit von der umgebenden Luftfeuchte angesetzt.

Die Berechnungen zeigen, dass in Abhängigkeit des angesetzten s_d - Wertes einer USB erhebliche Gefährdungen (annähernd bis zu einem Faktor 10) der Dachsysteme möglich sind. Für eine genaue Beurteilung der Dachsysteme wurden hierauf Vorschläge für die labortechnische Ermittlungsmethode des 'wahren s_d - Wertes' gemacht.

Summary

Lately diffusion open under-slatting sheets (USS) have been inserted to pitched roofs increasingly. These sheets allow the escape of moisture from the construction while they remain waterproof.

The conventional procedures to determine the water vapour diffusion resistance of the USS cause high deviations of the test readings depending on the test methods and the boundary conditions.

For this reason an ordinary, non-ventilated roof-system with insulated rafters was tested in consideration of the different s_d - values. The characteristic s_d - values of under-slatting sheets according to experiments of DIN 52165 [1] were set constant and in relation to the humidity. The calculation proves that a serious danger to the roof-systems (almost by a factor of 10) is possible considering the chosen s_d - value of an USS.

Thereupon recommendations for a laboratory experiment method of the 'real s_d - value' were made to be able to judge the roof-system precisely.

1. Einleitung

In letzter Zeit werden in geneigten Dächern vermehrt diffusionsoffene Unterspannbahnen (USB) eingebaut. Diese Bahnen ermöglichen bei einer Wasserundurchlässigkeit das Entweichen von Feuchte aus der Konstruktion, sei es aus den abtrocknenden Sparren oder aus anderen, die Konstruktion belastenden, Feuchteprozessen.

Die Ermittlung der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ dieser Bahnen nach den herkömmlichen Prüfverfahren (DIN 52615) ergibt je nach Prüfverfahren stark schwankende Ergebnisse, siehe auch Liersch, Jaspers [2]. Gleichzeitig werden von verschiedener Seite unterschiedliche Grenzwerte $s_d = \mu \cdot s$ für den Einbau in geneigten Dächern gefordert. Im folgenden soll der Einfluss eines unterschiedlichen s_d - Wertes auf die Dachkonstruktion ermittelt werden. Mit Hilfe des Programmsystems WUFI, IBP Holzkirchen, [3] wurden Berechnungen an einem Dachsystem mit unterschiedlichen Unterspannbahnen vorgenommen.

2. Grundlage der Berechnungen

Die Berechnungen wurden auf der Grundlage der geführten Messungen im Rahmen eines Doppelklimaversuchs [4] sowie mehrdimensionalen Berechnungen nach [5] verifiziert. Der nachfolgend beschriebene Dachquerschnitt war Grundlage der Berechnungen. Es ist dabei anzumerken, dass bei der Schalung das wärme- und feuchtetechnische Verhalten nicht berücksichtigt wurde. Die Schalung dient hier vielmehr als Indikator für die Feuchtebelastung der unterschiedlichen Systeme.

| außen | d [cm] |
|------------------------------------------------------------------------|--------|
| > Unterspannbahn - Multidenier - Mikroporöse - allgemeine USB | |
| > Schalung | (1) |
| > Mineralfaserdämmung | 20 |
| > Gipskartonplatte | 1,25 |
| innen | |

Tabelle I Aufbau des untersuchten Dachquerschnittes

Für die Berechnungen wurden zwei Ansätze gewählt:

Bei Ansatz 1 wurden die Kennwerte der Unterspannbahnen nach Versuchen nach DIN 52615 konstant angesetzt. Für 'Multidenier' (Vliesprodukte) und 'mikroporöse Folie' (Vlies-/Filmprodukte) wurde eine Abhängigkeit der s_d - Werte von der umgebenden Luftfeuchte auf der Grundlage der punktuellen Versuchsergebnisse angesetzt (Ansatz 2). Die verwendeten Werte für s_d sind in der Tabelle II zusammengestellt.

| Unterspannbahn | Ansatz | s_d [m] | Erläuterungen |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------------------------|
| Multidenier | Ansatz 1 | 0.06 | nach DIN 52615 (23°C-50/95 r.F.) |
| | | 0.03 | nach DIN 52615 (23°C-0/85 r.F.) |
| | | 0.01 | nach DIN 52615 (23°C-0/50 r.F.) |
| | Ansatz 2 | 0-0.0875 | $s_d = f(\varphi)^{*1}$ |
| Mikroporöse Folie | Ansatz 1 | 0.176 | nach DIN 52615 (23°C-50/95 r.F.) |
| | | 0.032 | nach DIN 52615 (23°C-0/85 r.F.) |
| | | 0.025 | nach DIN 52615 (23°C-0/50 r.F.) |
| | Ansatz 2 | 0-0.308 | $s_d = f(\varphi)^{*1}$ |
| Allgemeine USB | Ansatz 1 | 0.30 | nach DDH-Merkblatt ^{*2} |
| | | 0.10 | nach WG 9 ^{*3} |
| | | 0.02 | nach DIN 68800-T2 ^{*4} |
| <p>*1 Durch dynamische Klimaveränderungen, in der Hauptsache der umgebenden Luftfeuchte, zeigen die Baustoffe ein unterschiedliches feuchtetechnisches Verhalten auf. Um diesem Effekt Rechnung zu tragen, wurde die Bandbreite des Diffusionsverhaltens einer USB bestimmt.</p> <p>*2 Merkblatt "Wärmedämmung bei Dachdeckungen" des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks; Ausgabe Dezember 1991 Kap. 2.2.3: Rechnerischer Nachweis nicht erforderlich, wenn s_d (USB) < 0.3 m und s_d (Innen) > 2.0 m.</p> <p>*3 Vorschlag des Deutschen Spiegelausschusses CEN TC 254, WG 9 "Dachunterspannbahnen".</p> <p>*4 Geneigte, nicht belüftete Dachquerschnitte dürfen der Gefährungsklasse 0 zugeordnet werden, wenn z. B. s_d (USB) < 0.02 m ist. (Erfordernis der Dampfsperre innen nur nach Nachweis).</p> | | | |

Tabelle II Bei der Berechnung angesetzte Werte für s_d nach Ansatz 1 und 2

Für die Berechnungen wurden die stündlichen Wetterdaten eines 4-jährigen Außen- und Innenklimas angesetzt (siehe Tabelle III).

| | Temperatur [°C] | rel. Feuchte [%] |
|------------|-------------------------------------------------------------------|------------------|
| Außenklima | instationäre Wetterdaten Holzkirchen 1991 extremes Jahr [3] | |
| Innenklima | 20 | 50 |

Tabelle III Ansatz der Klimabedingungen für die Berechnung

Als Beurteilungsmaßstab gelten für die Holzfeuchte u des Indikatormaterials 'Schalung' die folgenden Grenzwerte:

- $u > 20$ M-% : nach DIN 4074 T1 'halbtrockenes' bzw. 'frisches' Holz.
- $u > 28$ M-% : ca. Fasersättigung des Holzes.

In DIN 68800 T3 (2.3.1) heißt es hierzu: "Eine Gefahr durch den Befall holzerstörender Pilze liegt vor, wenn die Holzfeuchte 20 % langfristig übersteigt". Es zeigt sich jedoch, dass ein Pilzwachstum bereits nach einer 3-wöchigen Periode unter optimalen Bedingungen beginnen kann.

3. Berechnungen

3.1. Ansatz 1 - s_d konstant

Für diesen Ansatz konnten die folgenden Ergebnisse ermittelt werden. In den Abbildungen 1 bis 3 sind hierzu Ausschnitte aus der Berechnungsperiode dargestellt.

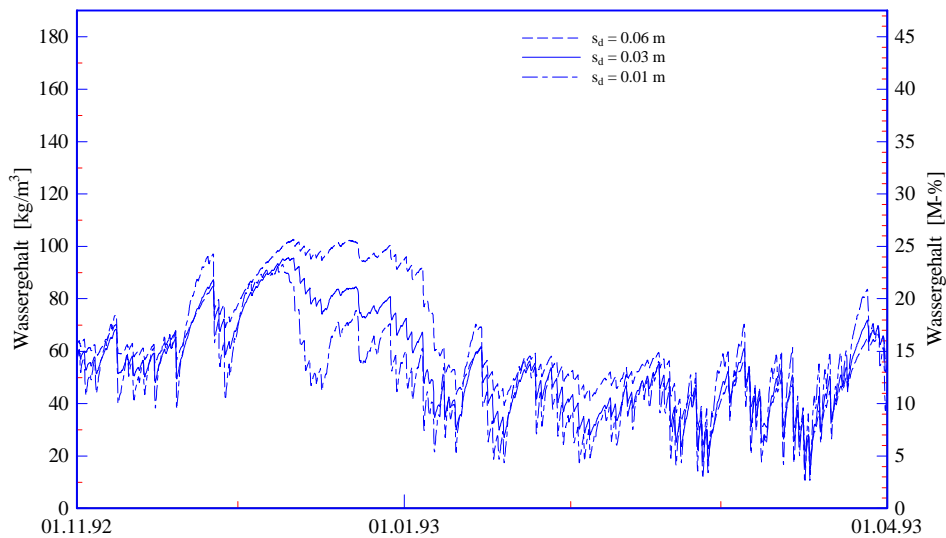


Bild 1 Berechnung des Wassergehaltes der Schalung nach Ansatz 1 bei Verwendung einer USB Multidenier

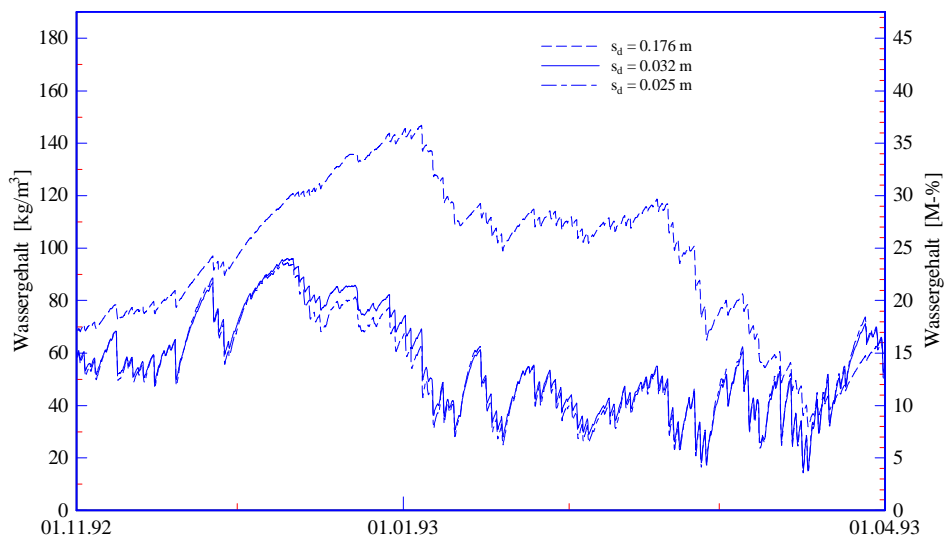


Bild 2 Berechnung des Wassergehaltes der Schalung nach Ansatz 1 bei Verwendung der USB Mikroporöse Folie

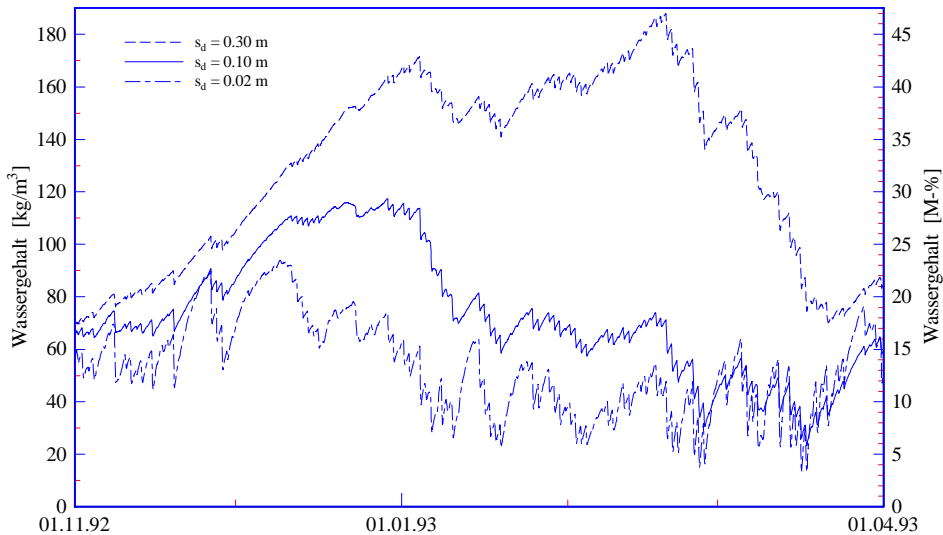


Bild 3 Berechnung des Wassergehaltes der Schalung nach Ansatz 1 bei Verwendung einer Allgemeinen – USB

In der nachfolgenden Tabelle sind die Überschreitungsdauern der Grenzfeuchten sowie die minimale und maximale Holzfeuchte im Indikatormaterial 'Schalung' dargestellt (Tabelle IV).

| Material | s_d [m] | $t(u > 20 \text{ M-\%})$ [h/a] | $t(u > 28 \text{ M-\%})$ [h/a] | max u [kg/m ³] | min u [kg/m ³] |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Multidenier | 0.06 | 838 | 0 | 25.8 | 3.4 |
| | 0.03 | 478 | 0 | 23.9 | 2.7 |
| | 0.01 | 402 | 0 | 24.3 | 2.1 |
| Mikroporöse Folie | 0.176 | 2.117 | 992 | 36.8 | 4.0 |
| | 0.032 | 533 | 0 | 24.0 | 2.8 |
| | 0.025 | 356 | 0 | 23.5 | 2.6 |
| Allgemeine USB | 0.30 | 2.874 | 1.947 | 46.8 | 4.1 |
| | 0.10 | 1.109 | 314 | 29.4 | 4.0 |
| | 0.02 | 300 | 0 | 23.5 | 2.5 |

Tabelle IV Zusammenstellung der wesentlichen Ergebnisse nach Ansatz 1

3.2. Ansatz 2 - s_d veränderlich

Bei diesem Ansatz wurde die Abhängigkeit des s_d - Wertes in Bezug zur relativen Luftfeuchte gesetzt, d. h. die diffusionstechnische Funktionsweise der USB kennzeichnet das 'wahre' Verhalten der Unterspannbahn.

Die Ergebnisse zeigen die Bilder 4 und 5.

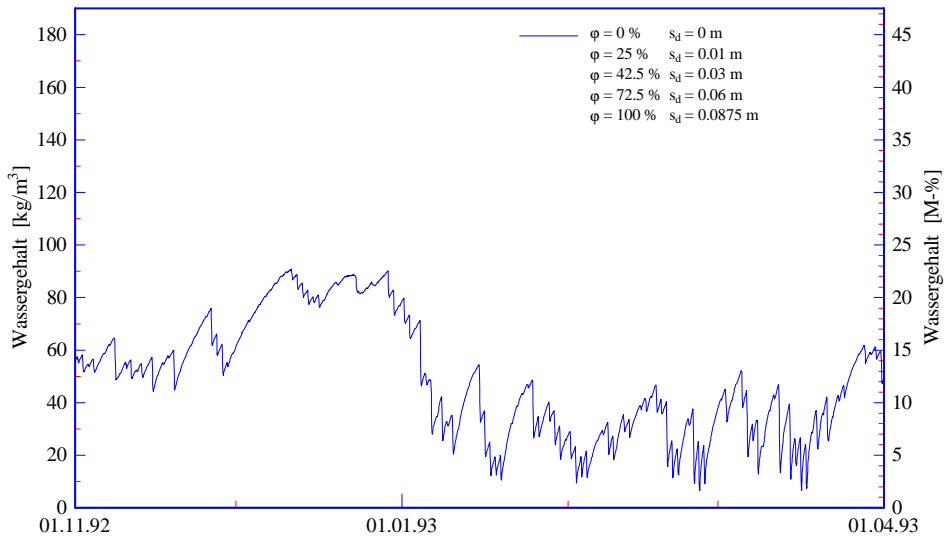


Bild 4 Berechnung des Wassergehaltes der Schalung nach Ansatz 2 bei Verwendung der USB Multidenier

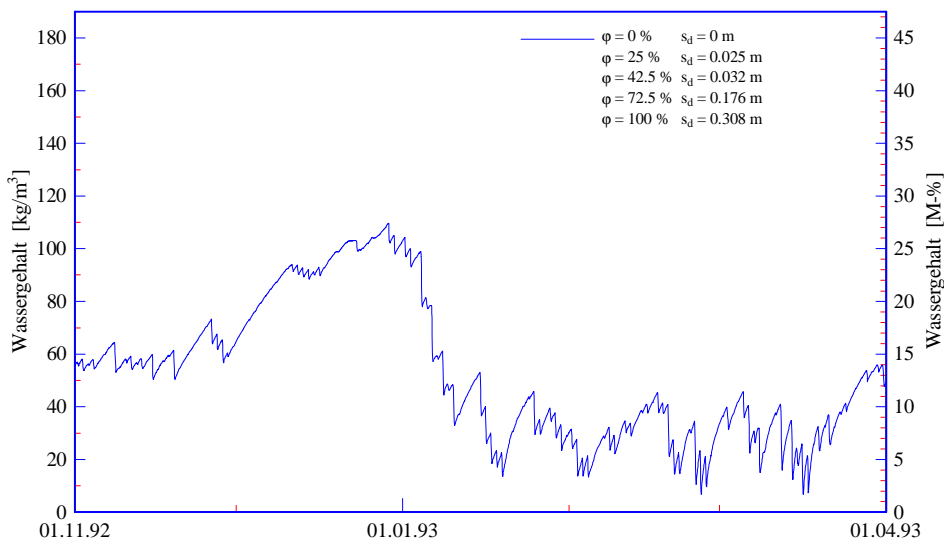


Bild 5 Berechnung des Wassergehaltes der Schalung nach Ansatz 2 bei Verwendung der USB Mikroporöse Folie

| Material | s_d [m] | $t(u > 20 \text{ M-\%})$ [h/a] | $t(u > 28 \text{ M-\%})$ [h/a] | max u [kg/m ³] | min u [kg/m ³] |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Multidenier | $f(\varphi)$ | 512 | 0 | 22.7 | 1.5 |
| Mikroporöse Folie | $f(\varphi)$ | 703 | 0 | 27.4 | 1.4 |

Tabelle V Zusammenstellung der wesentlichen Ergebnisse nach Ansatz 2

Die kritischen Zeiten mit einer Holzfeuchte $u > 20 \text{ M-\%}$ (Tabelle 5) zeigen sich erwartungsgemäß wie interpolierte Werte der Berechnungen der konstanten s_d -Werte mit

$$s_{d, \text{Multidenier}} = 0.032 \text{ m} \quad \text{und} \quad s_{d, \text{Mikroporöse Folie}} = 0.047 \text{ m.}$$

3.3. Auswertung

Für die untersuchten Unterspannbahnen ergaben sich die nachfolgend dargestellten Überschreitungsdauern einer kritischen Holzfeuchte von 20 M-% (Bild 6).

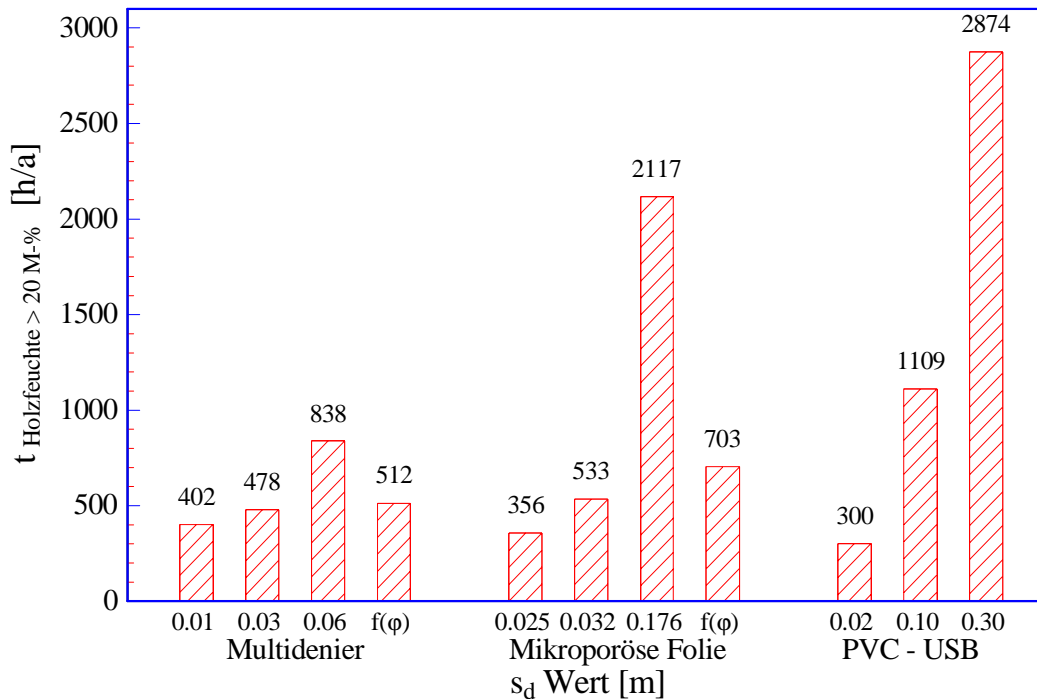


Bild 6 Überschreitungsdauer der kritischen Holzfeuchten bei unterschiedlichem Ansatz

Bei der berechneten Spannweite der s_d - Werte von 0.01 m bis 0.30 m konnten große Unterschiede (annähernd bis zu einem Faktor 10) hinsichtlich der Überschreitungszeit festgestellt werden. Die Zeiten reichen von ca. 12 Tagen bis max. 4 Monate.

Unter Zugrundelegung einer zulässigen Überschreitungsdauer von ca. 3 Wochen (ca. 504 h) zeigt sich eine Zulässigkeit der Überschreitungsdauer bei folgenden s_d - Werten:

- Multidenier; $s_d = 0.01$ m
- Multidenier; $s_d = 0.03$ m
- Multidenier; $s_d = f(\varphi)$
- Mikroporöse Folie; $s_d = 0.025$ m
- Mikroporöse Folie; $s_d = 0.032$ m
- Allgemeine-USB; $s_d = 0.02$ m

Der Zusammenhang zwischen s_d - Wert der Unterspannbahn und der Überschreitungszeit der kritischen Holzfeuchte wurde ermittelt. Dabei wird ergänzend der Wert für eine fiktive Unterspannbahn ($s_d = 0$ m!) untersucht.

4. Folgerungen und Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, dass der s_d - Wert einer USB in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen unterschiedlich zu ermitteln ist. Um den 'wahren' s_d - Wert dennoch unter stationären Versuchsbedingungen bestimmen zu können, würde sich ein Prüfklima

23 °C - 0 / 95 %
 23 °C - 50 / 85 %

anbieten. Diese Größen sind zu diskutieren.

Aus ersten Laborversuchen wurden hierzu die in der Tabelle VI dargestellten Ergebnisse ermittelt:

| Versuchsbedingungen | sd - Wert [m] | |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|
| | Multidenier | Mikroporöse Folie |
| erforderlich nach Abb. 6 und 7 | ca. 0.032 | ca. 0.047 |
| aus Versuch 23°C - 0/95% r.F. | 0.024 | 0.035 |
| aus Versuch 23°C - 50/85% r.F. | 0.015 | 0.049 |

Tabelle VI Vergleich der Rechenwerte mit den Meßergebnissen

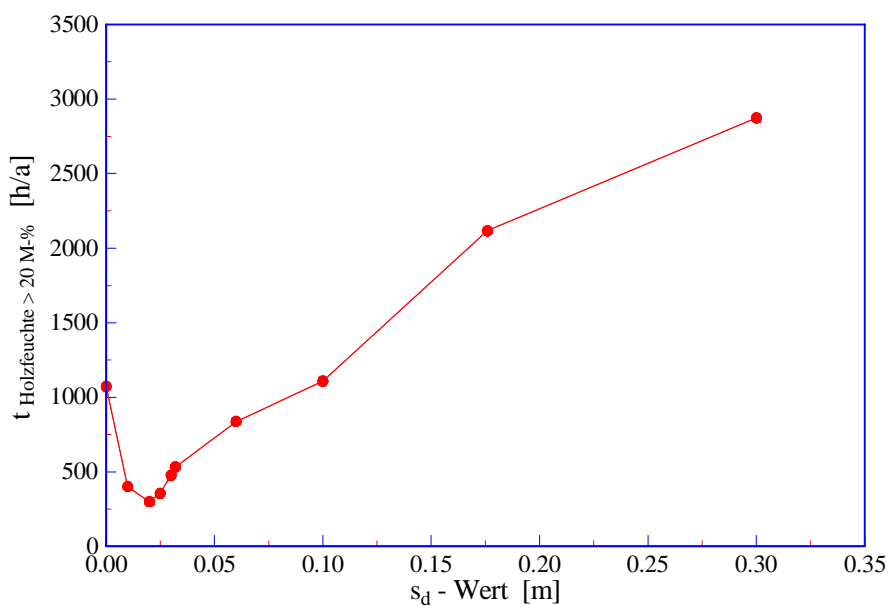


Bild 7 Überschreitungsdauer der kritischen Holzfeuchte in Abhängigkeit vom s_d - Wert

Bei den Berechnungen zeigte sich:

- Bei $s_d = 0$ m wird die Holzfeuchte von der Außenluftfeuchte über die Sorptionseigenschaften des Holzes bestimmt. Der aus diffusionstechnischen Gründen anfallende Wasserdampf kann ohne Behinderung nach außen gelangen und hat auf die Feuchteentwicklung keinen Einfluss.
- Ist $s_d > 0$ m, wird der Einfluss des Außenklimas gedämpft.
- Bei $s_d > 0.02$ m wird die Holzfeuchte zunehmend vom Innenklima beeinflusst, wobei sich der Dampfdruck mit steigendem s_d - Wert vermehrt aufbaut. Der Kontakt nach außen wird behindert.
- Bei einem optimalen s_d - Wert von ca. 0.02 - 0.03 m optimiert sich der geringere Einfluss des Außen- und Innenklimas, so dass die Überschreitungzeit minimiert wird.

Literaturangaben

- 1 DIN 52615;
Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen;
Beuth Verlag GmbH, Berlin 1987
- 2 Liersch K.W., Jaspers D.;
Eine einfache Methode zur Bestimmung realitätsnaher s_d - Werte von extrem
diffusionsoffenen Unterspannbahnen in Anlehnung an DIN 52615; wksb, 37/1996
- 3 Künzel, H.M.;
Verfahren zur ein- und zeidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und
Feuchtetransportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten
Dissertation Universität Stuttgart 1994
- 4 Leimer, H.-P.;
Diffusionsoffene Unterspannbahnen auf Vliesstoff-Basis;
Bauen mit Holz, 3/95.
- 5 Leimer, H.-P.;
Feuchteentwicklung in geneigten Dachsystemen;
Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, 6/95.