

## **Feuchteentwicklung in geneigten Dachsystemen**

### **Einsatz von hochdiffusionsoffenen Unterspannbahnen - Vergleich zwischen Versuch und Berechnung**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

#### **1 Zusammenfassung**

Ziel eines durchgeführten Forschungsvorhabens war die messtechnische Bestimmung der Feuchteentwicklung in nichtbelüfteten, geneigten Dachsystemen bei Einsatz einer Sparrenvoldämmung in Verbindung mit hochdiffusionsoffenen Unterspannbahnen. Die Versuche wurden in einer Doppelklimakammer durchgeführt. Ergänzend und vergleichend zu den Versuchen wurde mittels dynamischer, zweidimensionaler Modellrechnungen für verschiedene Innen- und Außenklimate das Feuchteverhalten des Dachsystems beschrieben.

Aus den Versuchen sowie den Berechnungen konnte festgestellt werden, dass diese Systeme bauphysikalisch unbedenklich auszuführen sind. Hierbei können hohe Einbaufeuchten des Holzes beschleunigt reduziert und somit das Gefahrenpotential entscheidend verringert werden.

Unterschiedliche Klimazonen zeigen, wie zu erwarten, unterschiedliche Entwicklungen der Feuchten in den Dachsystemen, bei denen u. U. auf eine Dampfsperre verzichtet werden kann.

#### **1.1 Abstract**

##### **Moisture development in inclined roof-systems**

###### **Application of diffusion open underslating sheets - comparison test with calculation**

The task of an executed research was the measuring technical determination of the moisture behaviour of non ventilated inclined roof-systems with full insulated rafters in combination with underslating sheets. A double climate was used to perform the test. In addition and comparison to the test dynamical, two dimensional modelled calculations were carried out to describe the moisture behaviour of the roof system.

Both, the test and the calculation lead to the result that the regarded systems are able to carry out without any objections concerning the building physics.

Thus it is possible to reduce the wood moisture of the state of installing rapidly and thereby the danger zone decreases decisively.

As expected varried climate zones show a different moisture development in the roof-sytem which lead to a possible renunciation of the vapour barrier.

## 2 Einleitung

Um die von der Bundesregierung zugesagte Einsparung der CO<sub>2</sub>-Immissionen bis zum Jahre 2005 zu realisieren, werden künftig in erheblichem Umfang Dämmmaßnahmen im Bereich des Altbestandes der Gebäude mit herangezogen werden müssen. Hier stehen u.a. die nicht, oder unzureichend gedämmten Bereiche der geneigten Dächer zur Verfügung. Die Dachräume dieser Dächer sind oftmals vollständig ausgebaut und es besteht so kaum die Möglichkeit die 'erforderliche' Dampfsperre raumseitig einzubauen. Auch kann die nach DIN 4108 erforderliche ungestörte Belüftungsebene zwischen Wärmedämmung und Unterspannbahn sowie die Lüftungsein- und Auslässe oftmals baukonstruktiv nicht gewährleistet werden.

Mit der zu erwartenden Novelle der Novelle der Wärmeschutzverordnung zum Januar 1999 wird der Wärmeverlust der Gebäude weiter erheblich reduziert werden müssen, wodurch in der Folge im geneigten Dachbereich erhebliche Mehrdicken der Wärmedämmung eingebaut werden müssen.

In der Folge führt dies zu Vollsparrendämmungen und zu nichtbelüfteten Dächern, die bauphysikalisch grundlegend anders belastet werden als belüftete Dachsysteme.

Auf der Grundlage unterschiedlicher Richtlinien und Untersuchungen ergeben sich gerade für diese Dachsysteme für die Unterspannbahnen (USB) folgende Anforderungen:

1. Dachsystem ohne Dampfsperre:  $s_d\text{-USB} < 0.02\text{/}^1\text{/}$
2. Dachsystem mit Dampfsperre  $s_d > 2.0\text{ m}$ :  $s_d\text{-USB} < 0.3\text{ m}^2\text{/}$
3. Dachsystem mit Dampfsperre  $s_d > 1.0\text{ m}$ :  $s_d\text{-USB} < 0.15\text{ m}^3\text{/}$

Aus den Untersuchungen wird deutlich, dass die bauphysikalische Unbedenklichkeit und Zulässigkeit geneigter Dachsysteme im Wesentlichen von der Diffusionsfähigkeit der Unterspannbahnen abhängig gemacht wird.

Die Randbedingungen bei diesen Betrachtungen sind:

1. Innenklima, d.h. wie wird der Raum genutzt?
2. Außenklima, d.h. wo steht das Gebäude (an der Nordseeküste oder im Bergland)?
3. Dachsystem mit (mit welcher?) oder ohne Dampfsperre?

Betrachtet man die bis dato geführten Untersuchungen, so muss man erkennen, dass die Festlegung der Unbedenklichkeit vordergründig auf einen Standort oder die Klimaparameter nach DIN 4108<sup>4</sup>/ festgelegt wurden.

Ziel einer durchgeführten Forschungsarbeit war die in einer Doppelklimakammer durchgeführten, messtechnischen Bestimmungen der Feuchteentwicklung in geneigten Dachsystemen in Verbindung mit einer dynamischen Modellrechnung für unterschiedliche Innen- und Außenklimate zu beurteilen, um eine allgemeingültige Aussage über die Feuchteentwicklung unter instationären, unterschiedlichen Klimabedingungen zu erhalten.

### 3 Versuchstechnische Bestimmung der Temperatur- und Feuchteverteilung in geneigten Dachsystemen

Auf der Grundlage der DIN 4108 wird der Tau- und Verdunstungswasseranfall in Bauteilen unter eindimensionalen, stationären Innen- und Außenklimabedingungen überprüft. Hierbei sind Aussagen über den mehrdimensionalen Feuchtetransport nicht möglich.

Es galt so ein stationäres Innen- und instationäres Außenklima auf ein Dachelement (Bild 1 und Tabelle II).

mit diffusionsoffener USB, ohne Dampfsperre

aufzubringen und die Temperatur- und Feuchteentwicklung messtechnisch aufzuzeichnen, siehe auch <sup>5/</sup>.

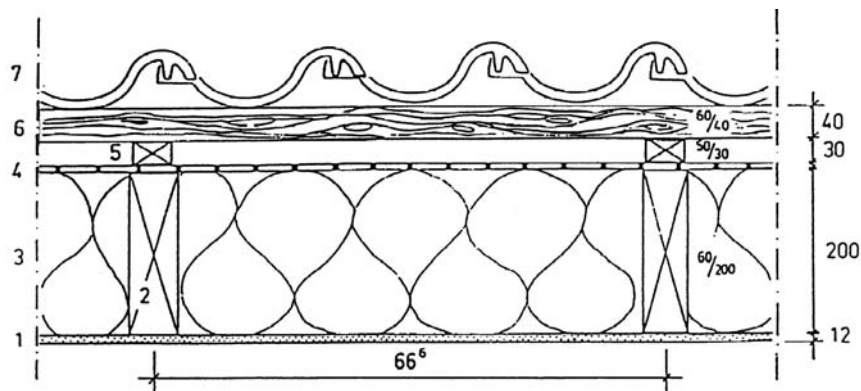


Bild 1 Das geneigte Dach als nichtbelüftetes Dachsystem

#### Messwertaufnahme - Feuchtemessung

In der Literatur ist die Problematik der Feuchtebestimmung umfangreich dargestellt und diskutiert. Für die durchgeführte Untersuchung galt es die Feuchten, hier ein Feuchtebereich des Holzes unter Fasersättigung (ca. 28 M-%), mit Hilfe der elektrischen Widerstandsmessung zu bestimmen. Eine Temperaturkompensation sowie ein Abgleich der gemessenen Feuchten zu denen aus der gravimetrischen Bestimmung wurden durchgeführt. Nach Abschluss der Versuche wurde die Feuchte des Holzes mittels Darmmethode exakt bestimmt und kalibriert.

#### 3.1 Ansatz Normalklima

##### Klimaräume und Klima

Die Versuche wurden in Zusammenarbeit mit dem WKI<sup>6/</sup> in einer Doppelklimakammer durchgeführt. Während der Versuchsdauer erfolgte die kontinuierliche Aufzeichnung der Klimadaten. Die Versuchszeit entsprach einem Jahreszyklus, der durch eine im Vorfeld berechnete Klimaüberhöhung mit einer Versuchsdauer von 2 Monaten durchlaufen wurde. Versuchsbeginn lag nach Vorberechnung im Prüfmonat September.

Als Außenklima wurde das Testreferenzjahr Deutschland Zone 4, nördliche und westliche Mittelgebirge ohne Hochlagen, angesetzt. Die Bild 2 zeigt die Außenklimabedingungen. Die Abweichungen der Klima-

kammer lagen hierbei für die Lufttemperatur außen  $\theta_{La} = \pm 2.0 \text{ K}$ , für die rel. Luftfeuchte außen  $\varphi_a = \pm 5\%$ . Das Innenklima konnte konstant bei einer Lufttemperatur  $\theta_{Li} = 20 \text{ °C}$  ( $\pm 0.2 \text{ K}$ ) und rel. Luftfeuchte  $\varphi_i = 50 \%$  ( $\pm 2 \%$ ) gesteuert werden.

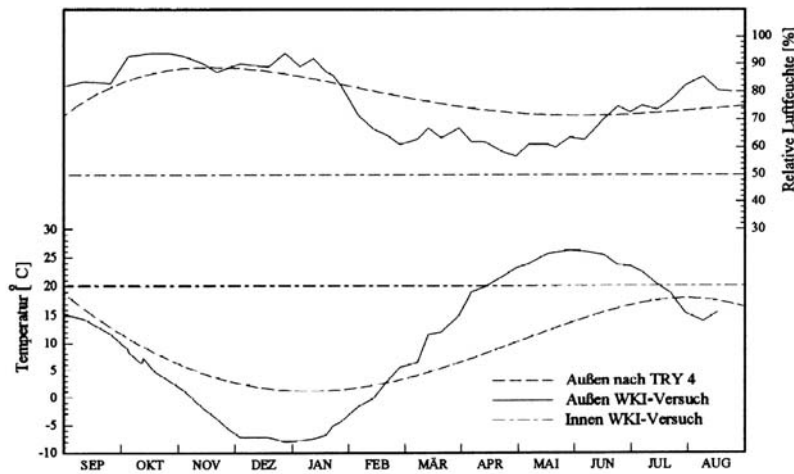


Bild 2 Versuchsklima

### Feuchteentwicklung der Sparren

In den Abbildungen sind die Feuchteverläufe des Sparren über den Holzquerschnitt von innen nach außen während eines Jahreszeitraumes aufgetragen.

Es wird hierbei nach Lage des Messpunktes im Sparren unterschieden:

Innen/raumseitig  $t = 20 \text{ mm}$ ; Mitte  $t = 100 \text{ mm}$ ; Außen/an Außenklima  $t = 180 \text{ mm}$ .

Die Darstellung eines sägefrisch eingebauten Holzes, d.h. ein Holz mit hoher Einbaufeuchte erfolgt in Bild 3, eines trockenem, hier vorklimatisiert eingebauten Holzes erfolgt in Bild 5.

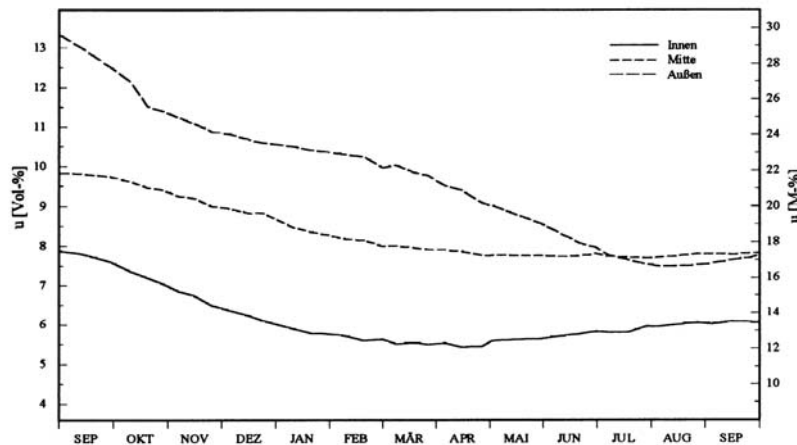


Bild 3 Feuchteentwicklung im Sparren, sägefrisch eingebautes Holz

### 3.2 Ansatz Extremklima

Um die Auswirkungen eines Extremklimas auf das Dachsystem zu überprüfen, wurde über die Dauer von 5 Versuchstagen ein konstantes Extremklima auf das Bauteil aufgebracht.

( $\theta_a / \varphi_a = -10\text{°C} / 92 \%$  /  $\theta_i / \varphi_i = 28\text{°C} / 70 \%$ ).

Das gewählte Klima entspricht den Klimaverhältnissen in einem Hallenschwimmbad während einer Kälteperiode im Winter.

#### Auswirkungen des Extremklimas

Bei dem Extremklima bildete sich im außenliegenden Teil der Dämmung sowie auf der Unterseite der USB eine Eisschicht. Dies ist auf eine Taupunktunterschreitung im Außenbereich vor der Unterspannbahn und der hier fehlenden Sorptionsmöglichkeit zurückzuführen. Am Versuchsende wurde die Feuchte der Mineralfaser (MIFA) gravimetrisch an 4 Positionen in 3 Tiefen an 10 x 10 cm<sup>2</sup> großen Mineralfaserteilen bestimmt (Tabelle I). Die Unterspannbahn selbst konnte versuchsbedingt nicht gewogen werden.

Tiefenbereich	Pos.I		Pos.II		Pos.III		Pos.IV	
	u [M-%]	m [g/m <sup>2</sup> ]	u [M-%]	m [g/m <sup>2</sup> ]	u [M-%]	m [g/m <sup>2</sup> ]	u [M-%]	m [g/m <sup>2</sup> ]
außen - 20 mm	10,4	39	172	868	303	908	291	835
20 - 50 mm	22,5	93	4,9	32	22,8	72	22,8	97
50 - 80 mm	6,6	25	1,9	8	2,2	9	2,4	19
Summe		157		908		989		951

Tabelle I Feuchte/MIFA sowie Eis- bzw. Wassermasse im Bauteilquerschnitt

Die Bild 4 zeigt die Feuchteentwicklung im Bereich der Holzbauteile im Zeitraum des Extremklimas.

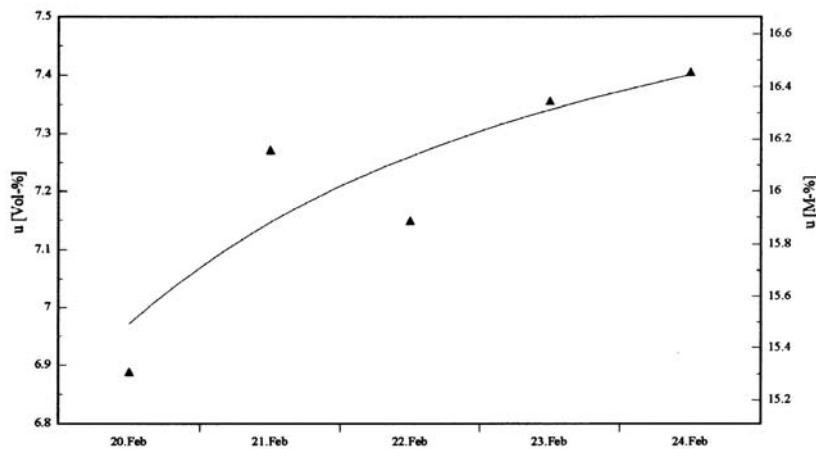


Bild 4 Feuchteentwicklung im Sparren / außen, bei Extremklima

Überaus deutlich wird ein Feuchteausfall zwischen USB und MIFA erkennbar. Die Feuchtezunahme beträgt, mit Ausnahme der Pos. I, im Bereich "außen - 20 mm" > 800 g/m<sup>2</sup> und fällt nach innen stark ab. Im Bereich der Holzfeuchten ist ein Anstieg, innerhalb von nur 5 Tagen, um 1 M-% zu erkennen. Vergleicht man die Versuchsergebnisse mit den Versuchen von Schulze<sup>7/</sup> (Extremklima<sub>a</sub> /  $\theta_a = -10$  °C;  $\theta_i / \varphi_i = 20$  °C / 65 %) wird deutlich, dass Feuchten unter stationären Bedingungen verstärkt durch das Bauteil hindurch diffundieren und den Bauteilquerschnitt feuchtetechnisch belasten. Betrachtet man den Unterschied der stationären zu den instationären Feuchteentwicklungen in den Holzbauteilen muss, wie auch vergleichende Messungen anderer Bauteile zeigen<sup>8/</sup>, die Gültigkeit eines, in DIN 4108 festgelegten, konstanten Klimas diskutiert werden, da hier erhöhte Baufeuchten zu erwarten sind.

### 3.3 Bewertung der Messergebnisse

Die Feuchteentwicklung in den Holzbauteilen kann wie folgt bewertet werden:

- Die sägefrisch eingebauten Hölzer erreichen in den innenliegenden Bereichen ( $t = 20 \text{ mm}$ ) nach ca. 5 Monaten die Werte des trockenen Holzes mit ihrer Ausgleichsfeuchte von  $u = 14 \text{ M-\%}$ .
- Die Feuchten der sägefrisch eingebauten Hölzer der mittleren und außenliegenden Bereiche ( $t = 100, 180 \text{ mm}$ ) liegen mit einer Holzfeuchte von  $u = 17 \text{ M-\%}$  ca.  $3 \text{ M-\%}$  oberhalb der Feuchten des trockenen Holzes.
- Die Holzfeuchten außen folgen dem Jahresverlauf des Außenklimas.
- Alle Holzfeuchten erreichen nach ca. 8 Monaten einen Bereich der außerhalb einer Gefährdung des Holzes von  $20 \text{ M-\%}$  liegt.
- Eine Kondensatbildung im Bereich unter der USB, wie sie bei dampfdichten USB auftritt, ist bei Ansatz eines Normalklimas TRY 04 nicht erkennbar.
- Eine erhebliche Kondensatbildung findet jedoch bei konstanten Extremklima statt.

## 4 Rechentechnische Bewertung des Dachsystems

Auf der Grundlage bestehender Normen ist eine genaue Aussage über die zu erwartenden Feuchteänderungen in geneigten Dachsystemen nur bedingt möglich.

So besteht u.a. kein gesichertes Prüfverfahren, dass in der Lage ist eine Bestimmung des  $s_d$ -Wertes von hochdiffusionsoffenen USB zu bestimmen, andererseits werden für die Überprüfung der Zulässigkeit von Dachsystemen die in der DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau festgelegten, vereinfachten Berechnungsverfahren angesetzt. Folgende von realen Verhältnissen abweichende Randbedingungen werden nach DIN 4108 zugrunde gelegt:

- Eindimensionale Berechnung jeweils getrennt für den Bereich des Sparren und der Wärmedämmung (WD). Somit keine Berücksichtigung der gestörten, schmalen Holzbauteile mit ihren Abhängigkeiten und zweidimensionalen Wechselwirkungen.
- Stationäres Winter- sowie Sommerklima für außen und innen.
- Begrenzung der anfallenden Tauwassermassen auf  $0,5 \text{ kg/m}^2$  in der Winterperiode im Bereich der Wärmedämmung und der USB sowie Begrenzung der Erhöhung der Holzfeuchte infolge Tauwassermassen auf  $3 \text{ M-\%}$  des Holzes.
- Keine Berücksichtigung der Sorption sowie des Kapillarwassertransports.

Da auf der Grundlage der durchgeführten Versuche in der Klimakammer eine allgemeingültige Aussage über die zu erwartenden Feuchteänderungen in geneigten Dachsystemen jedoch nur bedingt möglich ist, so wird es erforderlich, folgende Fragen in Ergänzung zu Laborexperimenten mittels numerischer Simulationsrechnungen zu untersuchen:

- Wie verhalten sich Dachsysteme unter zweidimensionalen Bedingungen?
- Wie groß ist der Einfluss instationärer, unterschiedlicher Klimabedingungen?
- Unter welchen Bedingungen führen hohe Einbaufeuchten, z. B. frisches Holz, bei diesen Bedingungen zu Bauschäden?
- Können geneigte Dächer ohne raumseitige Dampfsperren ausgeführt werden?
- Ist die Gebrauchstauglichkeit der Baustoffe WD/USB/Holz überhaupt gefährdet?

Grundlage der Berechnungen bildet auch hier das Dachsystem nach Bild 1. Die Einbauzustände berücksichtigen vorklimatisiertes Bauholz mit einer Einbaufeuchte von 6.2 Vol-% sowie sägefriesches Holz mit einer hohen Einbaufeuchte von 9 - 12 Vol-%.

#### 4.1 Grundlagen der Berechnung

Die numerische Simulation ist in Zusammenarbeit mit der TU Dresden<sup>9/</sup> durchgeführt worden. Das verwendete Programmsystem basiert auf der Lösung eines parabolischen Differentialgleichungssystems, welches den gekoppelten Flüssigkeits-, Dampf- und Energietransport in kapillarporösen Medien beschreibt<sup>10/</sup>.

Kennwert	Formelzeichen	Einheit	Gipskarton GKB	Unterspannbahn USB	Mineralfaser MIFA	Holz Fichte
Hygroskopische Feuchte	$W_h$	Vol-%	0,5	0	5	10
Sättigungsfuchte	$W_s$	Vol-%	40	0	80	60
Flüssigkeitsleitfähigkeit bei Sättigung	$a_{w0}$	m <sup>2</sup> /s	1,97 E-7	1,0 E-23	7,0 E-11	5,0 E-10
Formparameter Flüssigkeitsleitfähigkeit	$k$	---	7	2	7	7
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	$\mu$	---	8	90*	1,2	40
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_0, \lambda_1$	W/mK	0,21;1,3	0,2;0,0	0,044;0,47	0,13;0,96
Dichte	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.000	1.000	30	450
Wärmekapazität	$c$	j/kgK	1.000	1.400	840	2.500
* Die Bestimmung des $\mu$ -Wertes wurde auf der Grundlage der DIN 52615 bei einem Klimasatz 50/95 % geführt. Auf der Grundlage anderer Verfahren können bei der Bestimmung des $s_d$ - Wertes Größen von 0,015...0,08 m ermittelt werden.						

Tabelle II Hygrische und thermische Kennwerte der Materialien

## 4.2 Vergleich der Messungen mit den Berechnungen

Um eine allgemein gültige Aussage für die weiteren Berechnungen zu erhalten, wurden die gemessenen und die berechneten Feuchteentwicklungen in den Holzbauteilen miteinander verglichen.

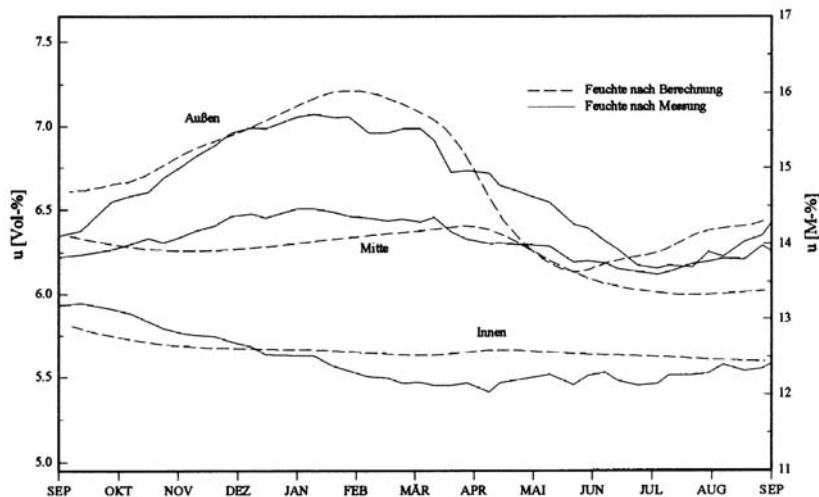


Bild 5 Feuchteentwicklung Sparren Vergleich Versuch / Berechnung bei vorklimatisiertes Holz

Es zeigt sich, dass die berechneten Feuchteentwicklungen den gemessenen Werten entsprechen. Die erkennbaren Abweichungen und Verschiebungen liegen einerseits in der zeitgerafften Versuchsdurchführung, die Holzbauteile können sich einem veränderlichen Klima nicht so schnell anpassen, andererseits in den zugrunde gelegten Baustoffparametern aus den Versuchen (siehe Tabelle II/\*) begründet.

## 4.3 Berechnungen der Feuchteentwicklung für unterschiedliche Klimazonen

### Grundlagen der Berechnung:

Die äußeren Klimarandbedingungen der Temperatur und Luftfeuchte entsprechen den Testreferenzjahren (TRY):

- TRY 02 - Nord- und westdeutsches Tiefland
- TRY 04 - Nördliches und westliches Mittelgebirge ohne Hochlagen
- TRY 09 - Alpenvorland 600 - 1000 m
- TRY 11 - Hochlagen der nördlichen und westlichen Mittelgebirge

Um die Interpretation der Ergebnisse nicht durch ein schwankendes Innenklima zu beeinträchtigen, wurde auf der Innenseite ein stationäres Klima mit  $\theta_i = 20 \text{ °C}$  und  $\varphi_i = 50 \text{ %}$  aufgebracht.



### Darstellung der Ergebnisse

Die in Bild 7 dargestellten Feuchteentwicklungen bei Dachsystemen mit hochdiffusions-offenen USB lassen keine Zunahmen der Feuchten infolge eines mehrjährigen Jahreszyklusses erkennen. Die maximalen Feuchten werden so durch den Berechnungszeitraum jeder Variante von 450 Tage, entsprechend vom 1. Januar bis 31. März des 2. Jahres, erfasst. Die Diagramme zeigen die berechneten Feuchten in Abhängigkeit der Zeit.

#### 4.3.1 Simulationsberechnung TRY02 - Nord- und westdeutsches Tiefland

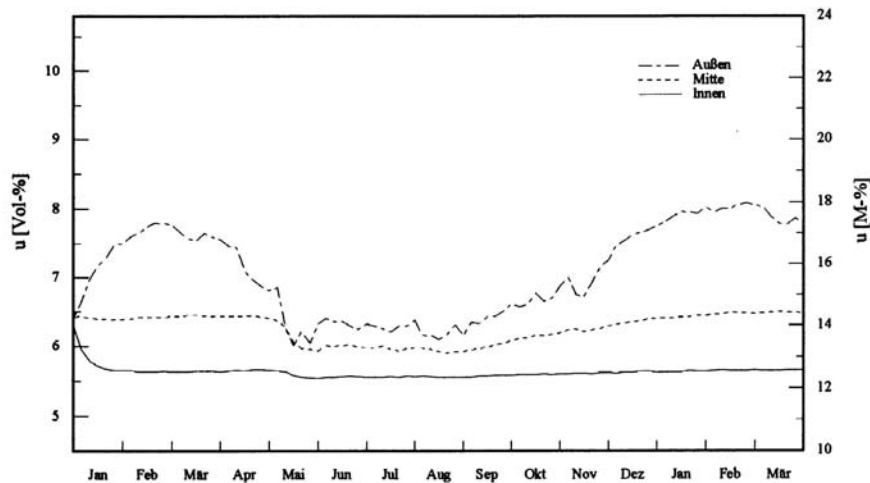


Bild 6 Feuchteentwicklung im Sparren im Jahresverlauf TRY 02

#### 4.3.2 Simulationsberechnung TRY 04 - Nördliches und westliches Mittelgebirge ohne Hochlagen

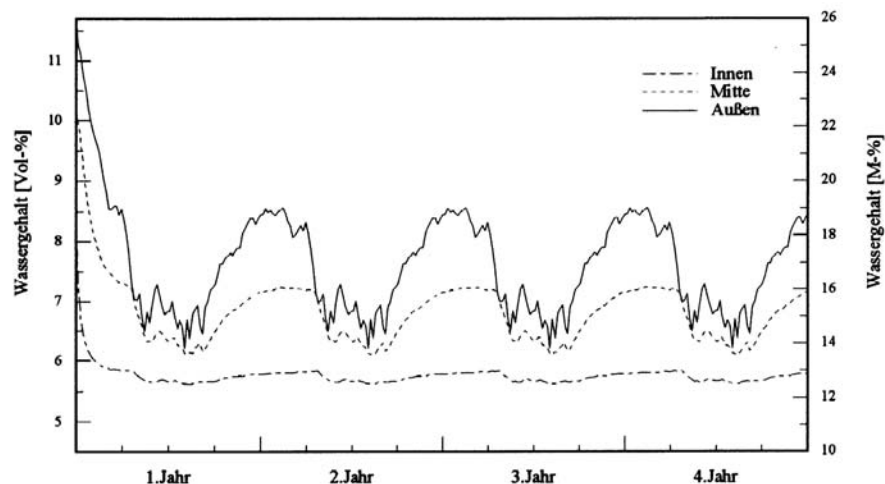


Bild 7 Feuchteentwicklung im Sparren im 4-jährigen Jahresverlauf TRY 04

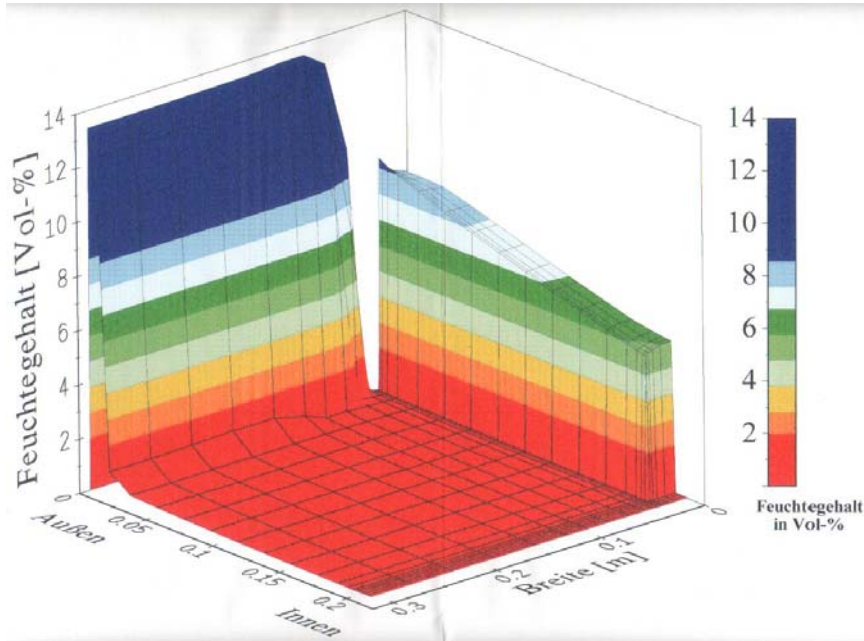


Bild 8 Feuchteprofil eines Segmentes des Dachelementes am Anfang der Winterperiode

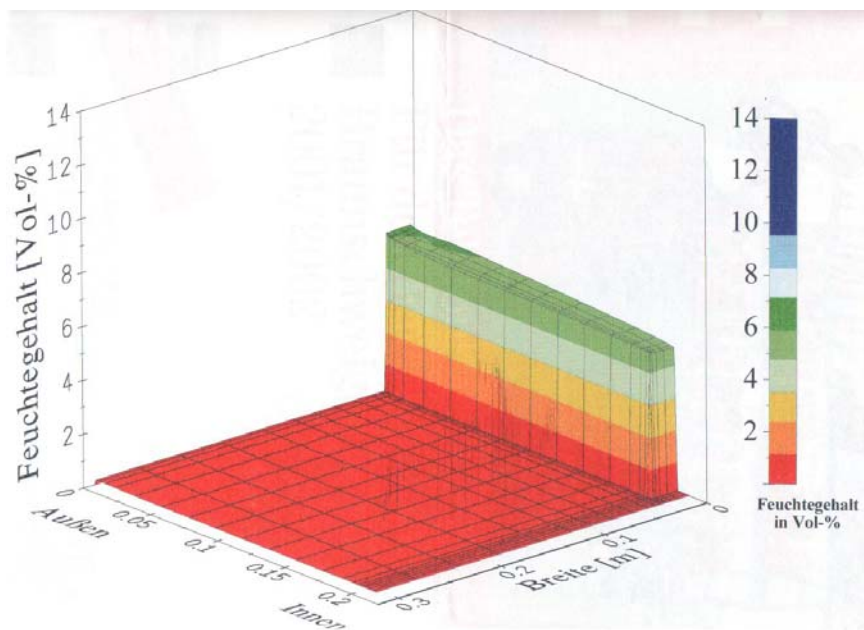


Bild 9 Maximales Feuchteprofil eines Segmentes des Dachelementes in der Winterperiode

**4.3.3 Simulationsberechnung TRY 09 - Alpenvorland 600 - 1000 m**

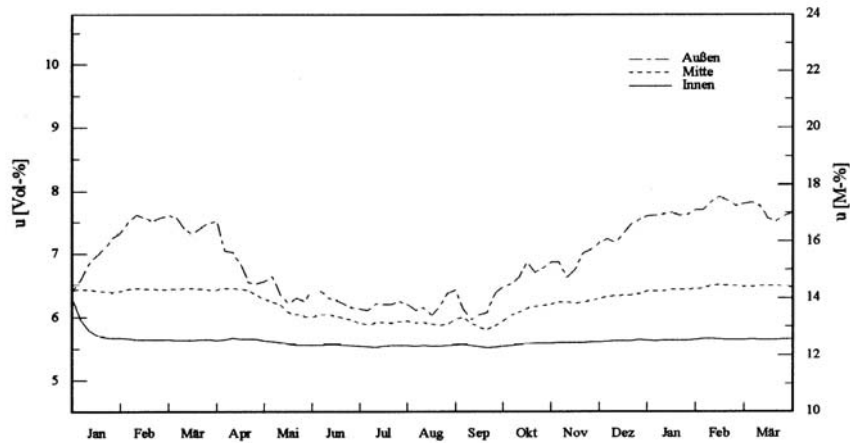


Bild 10 Feuchteentwicklung im Sparren im Jahresverlauf TRY 09

**4.3.4 Simulationsberechnung TRY 11 - Hochlagen der nördlichen und westlichen Mittelgebirge**

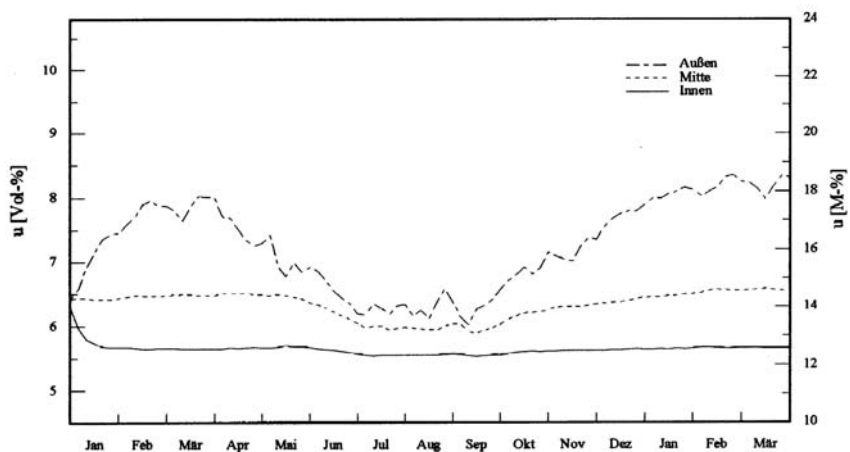


Bild 11 Feuchteentwicklung im Sparren im Jahresverlauf TRY 11

**4.4 Feuchteentwicklung des Dachelementes über den Jahresverlauf**

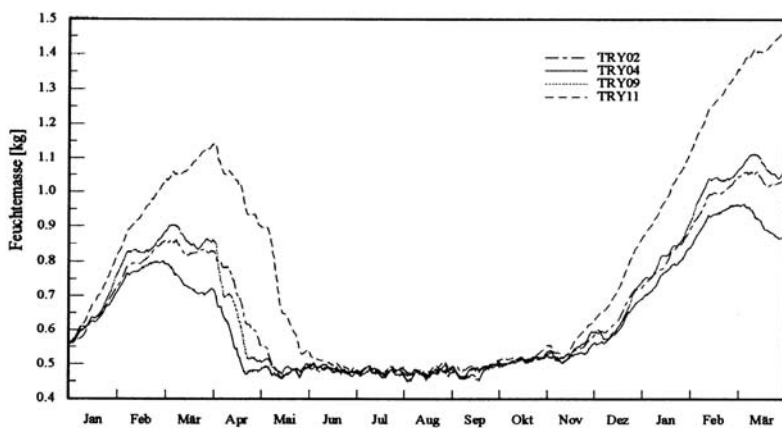


Bild 12 Feuchteentwicklung im Dachelement im Jahresverlauf TRY 02,04,09,11

#### 4.5 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Die Feuchteentwicklung in den Holzbauteilen kann wie folgt bewertet werden:

- Die Feuchten der innenliegenden Bereiche ( $t = 20 \text{ mm}$ ) stellen sich bei Ansatz eines konstanten Innenklimas bei ihrer Ausgleichsfeuchte  $u = 12\text{-}13 \text{ M-\%}$  ein. Bei veränderlichem Innenklima werden die Feuchten somit im Rahmen ihrer Sorption schwanken.
- Die Feuchten der mittleren Bereiche ( $t = 100 \text{ mm}$ ) liegen, nahezu ohne Beeinflussung durch das Außenklima, bei Holzfeuchten von  $u = 14\text{-}15 \text{ M-\%}$ , eine Veränderungen des Außenklimas hat nahezu keinen Einfluss auf die Holzfeuchte.
- Die Feuchten der außenliegenden Bereiche ( $t = 180 \text{ mm}$ ) folgen der Veränderung des Außenklimas. Eine Erhöhung der Holzfeuchte infolge Tauwasser/Kondensat ist nicht zu erkennen. Die Holzfeuchten liegen unterhalb einer Gefährdung des Holzes von  $20 \text{ M-\%}$  /<sup>11</sup>.
- Eine Kondensatbildung im Bereich unter der USB, wie sie bei dampfdichten USB auftritt, ist bei den Berechnungen nicht zu erkennen.

Die maximalen Feuchten der USB liegen bei

TRY 02 :  $15 \text{ V-\%} = 15 \text{ M-\%} \approx 24 \text{ g/m}^2$  Kondensat

TRY 04 :  $13 \text{ V-\%} = 13 \text{ M-\%} \approx 21 \text{ g/m}^2$  Kondensat

TRY 09 :  $16 \text{ V-\%} = 16 \text{ M-\%} \approx 26 \text{ g/m}^2$  Kondensat

TRY 11 :  $20 \text{ V-\%} = 20 \text{ M-\%} \approx 32 \text{ g/m}^2$  Kondensat

- Die maximale Feuchtezunahme des berechneten Dachsystems zeigt sich zu:

TRY 02 :  $0.60 \text{ kg} = 1.82 \text{ kg/m}^2$

TRY 04 :  $0.30 \text{ kg} = 0.91 \text{ kg/m}^2$

TRY 09 :  $0.65 \text{ kg} = 1.97 \text{ kg/m}^2$

TRY 11 :  $1.05 \text{ kg} = 3.18 \text{ kg/m}^2$

Die Auswirkungen der Klimabedingungen der TRY auf den Bauteilquerschnitt sind, wie zu erwarten unterschiedlich.

Die maximalen Holzfeuchten zeigen sich in der Reihenfolge ihrer Höhe

Max -- TRY 11, TRY 02, TRY 09, TRY 04 -- Min.

Die maximalen Feuchtemassen im gesamten Bauteil zeigen sich zu

Max -- TRY 11, TRY 09, TRY 02, TRY 04 -- Min.

Aus den Ergebnissen der Berechnungen wird deutlich, dass unterschiedliche Außenklimate die Feuchteentwicklung im Bauteil in Hinblick auf Ihre Größe, Ort und Dauer unterschiedlich beeinflussen.

## 5 Schlussbetrachtung

Zusammenfassend kann aus den Versuchen sowie den Berechnungen bei Einsatz von hochdiffusionsoffenen Unterspannbahnen festgestellt werden:

- Sparrenvolldämmungen sind bauphysikalisch unbedenklich auszuführen.
- Hohe Einbaufeuchten des Holzes können beschleunigt reduziert werden. Das Gefahrenpotential wird entscheidend reduziert.
- Die unterschiedlichen Klimazonen in Deutschland zeigen, wie zu erwarten, unterschiedliche Entwicklungen der Feuchten in den Dachsystemen.
- Bei extremen Klimabedingungen, z. B. hohe Raumfeuchte oder extreme Außentemperaturen kann auf eine Dampfsperre nicht verzichtet werden.
- Es zeigt sich, dass auf der Grundlage der durchgeführten Versuche sowie der durchgeführten Bauteilsimulationen auf eine Dampfsperre bei Einsatz von hochdiffusionsoffenen Unterspannbahnen für die untersuchten Klimazonen verzichtet werden kann. Eine Angabe eines sd-Grenzwertes ist jedoch zzt. nicht möglich, da keine einheitlichen Prüfverfahren für hochdiffusionsoffene Baustoffe vorhanden sind und somit ein Vergleich der Hersteller auch in Bezug auf die durchgeführten Versuche nicht möglich ist.
- Feuchtekonvektion in den Bauteilquerschnitt z. B. durch Fehlstellen, wie Anschlüsse, Durchdringungen oder Installationen muss durch eine geschlossene dichte raumseitige Bekleidung ausgeschlossen werden. Die Einflüsse von Feuchtekonvektion in den Bauteilquerschnitt werden zzt. im Rahmen von weiteren Forschungsvorhaben untersucht.

---

<sup>1</sup> Schulze, H.: Kommentar zur DIN 68800 Entwurf, Dezember 1994.

<sup>2</sup> Fachzeitschrift des Dachdeckerhandwerks: Merkblatt Wärmedämmung bei Dachdeckungen, Dez.1991.

<sup>3</sup> Künzel, H.-M.: Kann bei vollgedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden? Einsendung, Bauphysik 1995.

<sup>4</sup> DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, August 1981.

<sup>5</sup> Leimer, H.-P.: Diffusionsoffene Unterspannbahnen. Bauen mit Holz 3/1995.

<sup>6</sup> Untersuchungsbericht Nr.U31 7/95 Fraunhofer Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig.

<sup>7</sup> Schulze, H.; Warum diffusionsoffene Unterspannbahnen? wksb Heft 1993/33.

<sup>8</sup> Leimer, H.-P.: Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Außenbauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude, Dissertation Weimar 1991.

<sup>9</sup> Häupl, P., Institut für Bauklimatik, TU Dresden.

<sup>10</sup> Fechner, H.; Grunewald, J.; Häupl, P.; Stopp, H.: Zur numerischen Simulation des gekoppelten Feuchte-, Luft- und Wärmetransportes in kapillarporösen Baustoffen, Tagungsband zum 9. Bauklimatischen Symposium an der TU Dresden 1994.

<sup>11</sup> DIN 68800, Teil 2: Holzschutz; Vorbeugende bauliche Maßnahmen, Entwurf Dezember 1994.