

Diffusionsoffene Unterspannbahnen - Eine Möglichkeit zur Vermeidung von Bauschäden? -

1. Einleitung

Mit der Einführung der EnEV der Wärmeschutzverordnung zum Februar 2001 wird der Wärmeverlust der Gebäude nochmals erheblich reduziert, wodurch in der Folge erhebliche Mehrdicken der Wärmedämmung eingebaut werden müssen (siehe auch z.B. /1/). Betrachtet man hierbei, dass zusätzliche Wärmedämmschichten, -dicken in den Bauteilen positioniert werden müssen, werden Überlegungen für einen optimalen Einbau, auch/gerade unter wirtschaftlichen Überlegungen, erforderlich.

Einer der möglichen Einbaubereiche sind die Sparrenfelder in geneigten Dachsystemen. Zur Zeit kommen im Bereich der Bautechnik unterschiedlichste, mehrschichtige Dachaufbauten als belüftete und nicht belüftete Dächer zum Einsatz, hierbei wurden aufgrund der traditionellen Herkunft in der Vergangenheit den belüfteten Systemen der Vorzug gegeben. Gerade bei diesen Systemen stehen nun für den Einbau zusätzlicher Dämmschichtdicken die Belüftungsebenen zur Disposition.

Eine der erforderlichen Bauteilschichten bei diesen Systemen sind nun die Dachunterspannbahnen oder Vordeckungen (USB), die unter harten Bedachungen, z.B. Ziegeldächer von Häusern, zusätzliche Dichtungsebenen bilden, um Feuchten aus einem Außenklima, z.B. Schnee oder Regen, nicht in die Konstruktion eindringen zu lassen.

Da nicht belüftete Dächer bauphysikalisch grundlegend anders belastet werden als belüftete Dachsysteme, müssen gerade die USB auf diese speziellen Einsatzgebiete ausgerichtet sein.

Die USB sind nun eine der wenigen Produkte für die, auch im europäischen Bereich, nahezu keine Normen und Prüfbedingungen festgelegt sind. Dieses führt dazu, dass im Wettbewerb die Produkte nur noch anhand von Kennwerten, nicht aber auf der Grundlage ihrer Anforderungen bewertet werden können.

Eine der vordergründigen aktuellen Aufgaben besteht somit darin die bauphysikalischen Abhängigkeiten in Dachelementen zu erforschen und Prüfverfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von USB festzulegen.

2. Belüftete Steildächer - eine nicht mehr zeitgemäße Konstruktion?

Das belüftete Steildach war, bedingt durch seine bewährte Konstruktion über einen langen Zeitraum als Stand der Technik festgeschrieben. Es zeigte sich jedoch immer mehr, dass diese Konstruktion auch Nachteile mit sich brachte. Überlegungen wurden nötig um Antworten auf unterschiedliche Fragen zu finden.

In den letzten Jahren sind namhafte Institute, wie die TU Braunschweig, IBP Stuttgart, IBP Holzkirchen sowie auch das BBS INGENIEURBÜRO beauftragt worden, diese Arten von Dachkonstruktionen genauer zu untersuchen.

Diese Entwicklungen führen und führten vom

zum belüfteten
nicht belüfteten Steildach.

2.1. Das belüftete Steildach

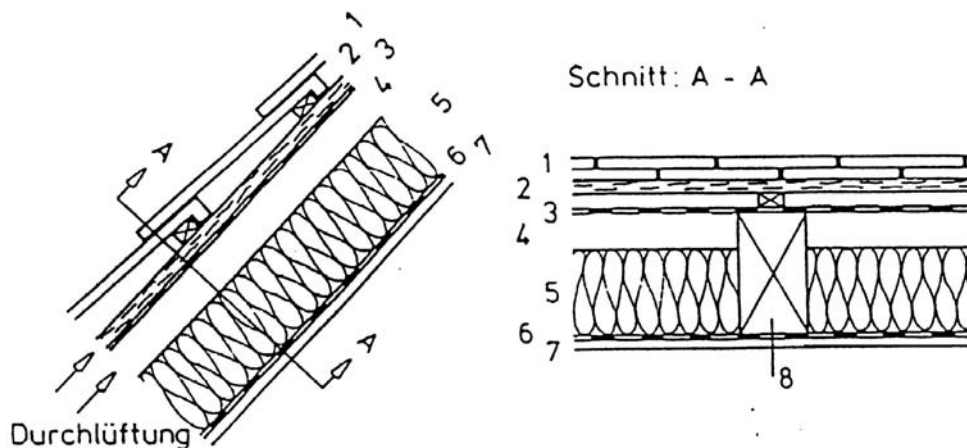


Bild 1 Schnitt geneigtes Dach, belüftet

Schichtenaufbau:

1. Dachstein
2. Lattung
3. Vordeckung aus Unterspannbahn (USB)
auch auf Holzschalung, z.B. in schneereichen Gebieten
4. Luftraum
5. Wärmedämmung in Sparrenebene
6. Dampf- / Windsperre
7. raumseitige Bekleidung
8. Sparren

Das Konstruktionsprinzip (Bild 1) des geneigten, belüfteten Daches war zunächst für untergeordnete Lagerräume konzipiert, die mittels einer harten Bedachung gedeckt werden sollten. Es zeigte sich, dass die Konstruktion den geringen Ansprüchen eines Lagerraumes, Schutz vor Flugschnee, Rückstauwasser, und Staub ausreichend gerecht wurde.

Es wurde in der Folge für den ausgebauten/bewohnten, im Weiteren gedämmten Dachraum nahezu unverändert übernommen. Hierbei treten im Unterschied gänzlich andere bauphysikalische Belastungen des Bauteils, bedingt durch ein erhöhtes Dampfdruckgefälle vom Innen- zum Außenklima, auf. Die Vordeckungen verhindern hierbei die ungehinderte Feuchtediffusion.

Somit wurde die Anordnung einer belüfteten Luftschicht bei dampfdichten Vordeckungen oder die Verwendung von diffusionsoffenen USB erforderlich, wenn raumseitig nicht gebrauchstaugliche Dampfsperren vorhanden sind.

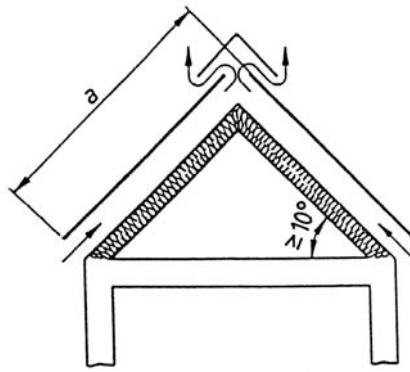


Bild 2 Prinzip des belüfteten Daches nach DIN 4108

Nach DIN 4108, T1 ist bei Steildächern über 10° Neigung kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls infolge Dampfdiffusion erforderlich, wenn die Konstruktion mit einer Belüftungsebene unter der Vordeckung unter Einhaltung bestimmter Lüftungsquerschnitte für den Dach-, Trauf- und Firstbereich ausgeführt wird. Bedingt durch die Aussagen der Norm galten belüftete Konstruktionen sicherer als die nicht belüfteten, da sie unter Zugrundelegung der dargestellten Randwerte ohne Nachweis und unabhängig von Art und Ausführung der Dampfsperre sowie von den Eigenschaften der USB ausgeführt werden konnten.

Die vorgeschlagene Konstruktion eines belüfteten Daches ist bei genauerer Betrachtung jedoch ungleich komplizierter und versagensempfindlicher als es zunächst den Anschein hatte.

Es erfordert eine sehr detaillierte Planung und eine sorgfältige Ausführung, um die vorgeschriebene Mindestbelüftung, z.B. bei komplizierten Dachlandschaften, auch in der Praxis zu gewährleisten^{ii/iii/}.

2.2. Das nicht belüftete Steildach

Um den aktuellen energetischen Entwicklungen Rechnung zu tragen, müssen in der Folge erhebliche Dämmschichtdicken im Dachbereich platziert werden^{iv/v/}, die in den, bei den belüfteten Dächern, vorzusehenden Lüftungsquerschnitten oder oftmals in der Höhe überdimensionierten Sparrenquerschnitten platziert werden können. Es werden somit homogene Querschnitte erreicht, deren energetisches Verhalten erheblich besser ist als bei belüfteten Konstruktionen. Bedingt durch das erhöhte Dampfdruckgefälle vom Innen- zum Außenklima treten bei dampfdichten Vordeckungen (USB) eine Behinderung der Feuchtediffusionen auf. Wie die Literatur zeigt, sind Schäden im Bereich geneigter Dächer im Wesentlichen auch auf nicht exakt verlegte Dampfsperren zurückzuführen. Hierbei wird deutlich, dass die theoretisch/planerische Verlegung von Dampfsperren gerade in den Detail- und Anschlußpunkten bei noch so sorgfältiger handwerklicher Ausführung nicht zu gewährleisten ist.

Somit wird der Einsatz von besonderen, hochdiffusionsoffenen USB erforderlich, um zum einen die Diffusionsströme, zum anderen die Austrocknungen der oftmals sägeförmig eingebauten Hölzer zu ermöglichen.

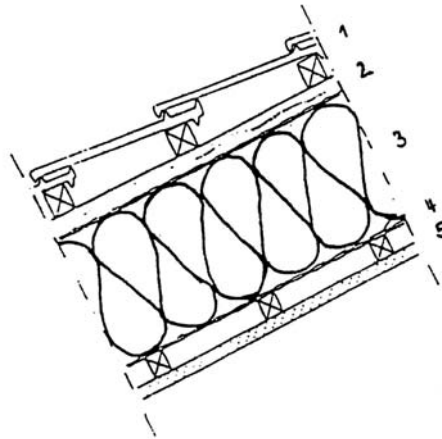


Bild 3 Schnitt geneigtes Dach, nicht belüftet

Schichtenaufbau:

1. Dachstein
2. Vordeckung aus diffusionsoffenen Unterspannbahnen (USB)
3. Sparren mit Wärmedämmung / nicht belüftete Luftschicht
4. Dampf-/Windsperre ggf. erforderlich
5. raumseitige Bekleidung

Diese Konstruktionen (Bild 3) hat auch der Zentralverband des Dachdeckerhandwerks (DDH) in Abkehr seiner vormals konservativen Einstellung in ein ergänzendes Merkblatt aufgenommen. Hierbei sind nicht belüftete, wärmegeämmte Dächer in Verbindung mit einer diffusionsoffenen Schicht über der Wärmedämmung als "Stand der Technik" aufgeführt ^{/vi/}.

3. Allgemeine Anforderungen an USB

Die Bestimmung der bautechnischen Kenngrößen von USB sind nur unvollständig im Rahmen von DIN/ISO Prüfungen geregelt. Dieses führt dazu, dass Kenngrößen von Anbietern angegeben werden, die für den baupraktischen Einsatz keine oder nur geringe Aussagekraft besitzen. Die Größen dieser Werte sind oftmals nicht nachvollziehbar, so dass eine Bewertung der Aussage oder gar ein Vergleich der bauphysikalischen und bautechnischen Eigenschaften in der Folge nicht vorgenommen werden kann.

Nach den Grundsätzen der Richtlinien des DDH zeigen sich folgende Anforderungen:

- Bei Dächern mit Wärmedämmung zwischen den Sparren soll die Luftdichtigkeit auf der inneren Seite der Wärmedämmung sichergestellt werden.
- Durch Wasserdampfwanderung (Diffusion) darf es im wärmegeämmten Dach nicht zu einer Tauwasserbildung kommen.
- Die Konstruktion, insbesondere die Wärmedämmung, soll gegen Flugschnee oder weiteren Belastungen durch die regensichere Deckung geschützt werden.

Dachsysteme müssen hierbei unterschiedliche Voraussetzungen in Hinblick auf die

- Verarbeitung der Materialien
 - bauphysikalischen Anforderungen
 - mechanischen Anforderungen
- erfüllen.

4. Anforderungen an Unterspannbahnen

Temperatur-Einsatzbereich

- Aufgrund der auf die USB wirkenden Belastungen müssen innerhalb eines Temperaturbereiches von $-20\text{ °C} < J < +80\text{ °C}$ die bautechnischen Eigenschaften der USB garantiert werden (vgl. DIN 18531). Infolge einer möglichen UV-Belastung, bedingt durch eine verzögerte Dacheindeckung, muss eine gewisse UV-Stabilität erreicht werden. Hierbei kann z.B. die Dauer von 3 - 4 Monaten als sinnfällig angesehen werden.

Verarbeitung

- Grundsätzlich sind an USB Anforderungen in Hinblick auf die werkseitige Verlegung, z.B. im Holztafelbau und auf die baustellengerechte Verarbeitung zu stellen.

Winddichtigkeit

- Eine Durchwehung der Wärmedämmung bei starken Windbelastungen, gerade bei niedrigen Außentemperaturen, führt zum Verlust der Dämmeigenschaften des Daches. Somit ist im Dach eine winddichte Ebene oberhalb der wärmedämmenden Schicht sicher zu stellen.

Schlagregendichtigkeit

- Hierbei muss die Größe des Wasserdruckes bei Schlagregen auf mehr oder weniger geneigte Flächen bei verzögerter Dacheindeckung beachtet werden. In der Folge sind somit auch die Belastungsgrößen Flugschnee und Rückstauwasser infolge eines Schlagregens abgedeckt.

Feuchtetechnisch

- Bestandteil der grundsätzlichen Überlegungen müssen hierbei die unterschiedlichen Belastungsfälle einer beschleunigten Reduktion der Feuchtebelastung der Holzbauteile infolge hoher Einbauholzfeuchten sowie die Vermeidung von Bauschäden infolge Feuchtekonvektion oder Diffusion in den Bauteilquerschnitt sein. Hierbei sind Betrachtungen der Abhängigkeit der s_{di} bzw. s_{da} -Werte erforderlich um die Anforderungen zu erfüllen. Die aktuellen Forschungsergebnisse (auch ^{2/}) zeigen, dass ohne die Berücksichtigung einer Feuchtekonvektion und bei Ausführung des Bauteils mit einer geschlossenen Bekleidung, z.B. Gipskartonbauplatten, ohne raumseitige Dampfsperre bei einem $s_{da} < 0.05$ m eine günstige diffusions-äquivalente Luftschichtdicke erreicht wird. Bei diesen Systemen kann auf kostenträchtige und komplizierte Lüftungselemente im Bereich des Daches verzichtet werden, auch besteht nach ^{vii/} die Möglichkeit den Holzschutz unter Vorgabe gewisser ergänzender Randbedingungen zu reduzieren.

Belastungen

- Die USB werden einerseits durch statische (z. B. Eigenlasten, Schnee) im Lastfall H (Hauptlasten), andererseits durch dynamische Beanspruchungen (z. B. Wind, Eintritt durch Personen) im Lastfall Z (Zusatzlasten) belastet.

Festigkeiten

- Die mechanischen Festigkeiten sind die entscheidenden Kenngrößen für die Verlegung sowie für die Aufrechterhaltung der Funktion von USB. Bestandteil der Überlegungen sind hierbei unterschiedliche in der Baupraxis vorkommende Belastungen wobei die hierbei auftretenden Energien von der USB aufgenommen werden müssen. Folgende Belastungen der USB treten hierbei auf:
 - a) Mechanische Belastungen bei Nutzung. Hierbei sind die Winddruck- und Windsogbelastungen auf die USB während des Gebrauches mit und ohne Unter- bzw. Oberbau aufzunehmen.
 - b) Mechanische Belastung bei der Verarbeitung.
 - c) Hineintreten eines Handwerkers in ein USB-Feld infolge eines Abrutschens von den als Aufstieg genutzten Dachlatten.
 - d) Absturzsicherung für einen Bauwerker, der bei der Verlegung der USB abrutscht und durch die USB an einem Absturz gehindert werden muss. Dieser Fall kann gerade bei der Verlegung von Dachsystemen bei flachgeneigten Dächern auftreten.

Der aktuelle Stand der Technik beschreibt die optimale Unterspannbahn somit als:

1. maximal diffusionsoffen
2. winddicht
3. wasserdicht
4. mit erforderlichen Festigkeiten.

5. Unterspannbahnen am Markt

Pro Jahr werden ca. 70 Mio. m² Dachflächen in der BRD erstellt. Der Einsatzbereich von Dächern mit USB oder Vordeckung liegt z. Zt. bei etwa 40%. Der Bedarf wird, wie eine durchgeführte Marktstudie zeigt, z. Zt. im Wesentlichen von diffusionsdichten Unterspannbahnen gedeckt. Der Anteil diffusionsoffener USB liegt heute bei 60%, steigend.

Die USB können grundsätzlich in folgende Gruppen eingeteilt werden:

1. Vliese, beschichtet / nicht beschichtet
2. polymere Bahnen, verstärkt / nicht verstärkt, laminiert
3. verstärkte Bitumenbahnen
4. aluminierete Bahnen
5. Pappen und Sonstige

Entwicklungsarbeiten des BBS INGENIEURBÜRO bestanden darin, auf der Basis des Materialtyps Multidenier eine neue innovative Vliesstoffgeneration zu entwickeln. Es handelt sich dabei um eine Kombination von unterschiedlichen Vliesstofftechnologien, die in einer INLINE-Fertigung unterschiedlichste Produktkombinationen herstellen kann. Im Weiteren kann dieser Stoff als Vliesstoff-komposit aus mehreren Vliesschichten umschrieben werden, in der ein diffusionsoffener Folienfilm monolithisch eingebettet wird.

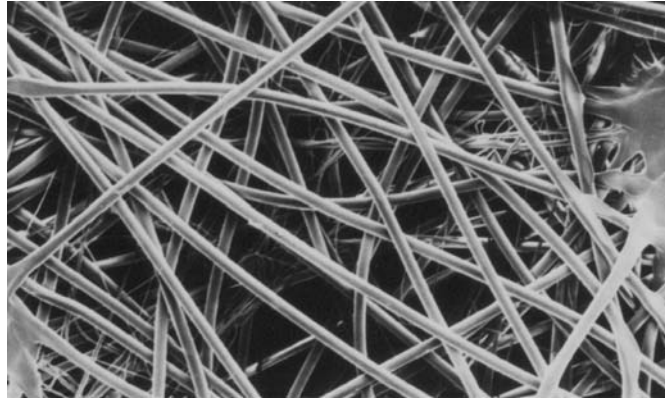


Bild 4 REM - Aufnahme eines Multidenier-Materials bei 100-facher Vergrößerung

Bild 4 zeigt anhand einer Rasterelektronenmikroskop (REM) - Aufnahme eines solchen Produktes die unterschiedlichen Faserstärken der verschiedenen Vlieslagen sowie das Entangeln der Fasern in den Grenzflächen. Ziel solch eines Aufbaues ist die Kombination unterschiedlichster Funktionen der verschiedenen Vliestechnologien mit vielfältiger Variationsmöglichkeit.

Somit sind speziell für Dachunterspannbahnen die mechanischen Eigenschaften eines Spinnvlieses mit den Barriere- und Flammseigenschaften eines Mikrofaservlieses sowie eines PE-Films unter Beibehaltung der Diffusionseigenschaften der Einzelprodukte kombiniert. Modifikationen und zusätzliche Stoffeigenschaften des Produktes waren mittels spezieller Ausrüstungsschritte realisierbar.

6. Einsatz von Dachsystemen für den bautechnischen Bereich

Bei der Beurteilung von USB ist es nun, wie schon in der Einleitung dargestellt, nicht nur erforderlich die Prüfrandbedingungen oder die verwendeten Prüfverfahren genau zu kennen um die USB direkt mit einander vergleichen zu können, sondern es zeigt sich, dass eine USB nur in einem System den Anforderungen an die Funktionssicherheit folgen kann. Unter Dachsystemen soll im Weiteren die verbindlich vorgeschriebene Konstruktion eines gesamten, anwendungsbezogenen Dachaufbaues verstanden werden.

Da das Angebot an Baustoffen auf dem Markt sehr umfangreich ist, wird es für den Anwender immer schwieriger geeignete von nicht geeigneten Dachsystemen zu unterscheiden.

Hierbei sind nicht nur die Belange Art und Einsatzgebiet, Anwendung und Handhabung sondern auch im entscheidenden Maße die der Bauphysik (z.B. Wasserdampfdurchlässigkeit, belüftet/nicht belüftet, ...) zu berücksichtigen. Es liegt nahe, dem Verbraucher ein System an die Hand zu geben, das alle die oben genannten Ansprüche erfüllt - ein System, das die gestellten Anforderungen erfüllt! Hierbei ist die Auswahl der Produkte mit ihren bautechnischen Eigenschaften, gerade im Hinblick auf Gewährleistungsansprüche, abgestimmt.

Um Aussagen über grundlegende Abhängigkeiten von USB geben zu können, wurden im Wilhelm-Klauditz Institut für Holzforschung (WKI), Braunschweig, unter den Vorgaben und

Bei dem Bauteil (Bild 6 u. 7) handelt es sich um die Nachbildung eines geneigten Dachelementes mit harter Bedachung. Die Bauteilabmessungen waren durch die Größe der Klimakammer festgelegt.

Folgende Bauteile und Einbauzustände sollten berücksichtigt werden:

1. frisch eingeschlagenes Bauholz (Achse A)
2. trockenes / klimatisiertes Bauholz, 20°C/65% (Achse B)
3. gedecktes Dach, entsprechend den Nutzerbedingungen
4. nicht gedecktes Dach, entsprechend dem Bauzustand bzw. Fehler in der Dachdeckung

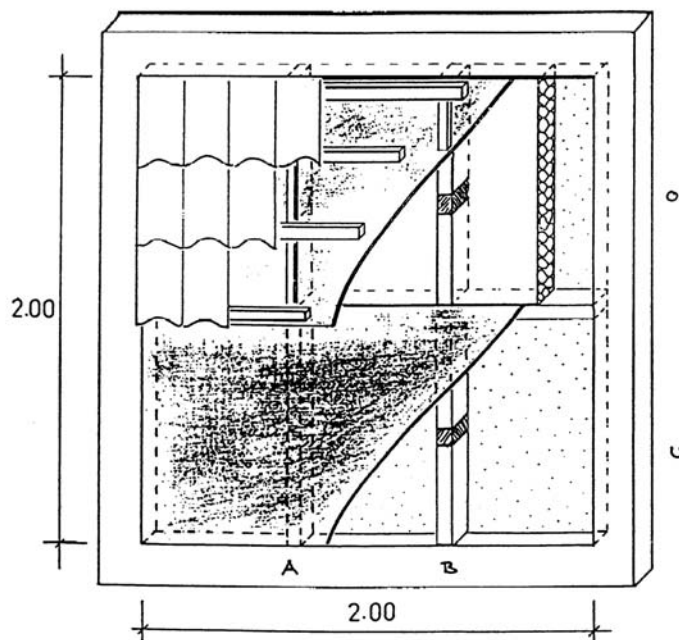


Bild 6 Bauteil als Dachsystem

Messwertaufnahme - Temperaturmessung

Die Messwertaufnahme erfolgte durch Kupfer-Konstantan Thermoelemente einer Charge, um Abweichungen unterschiedlicher Elemente auszuschließen. Das Bild 7 zeigt die Lage der Thermoelemente über den Bauteilquerschnitt.

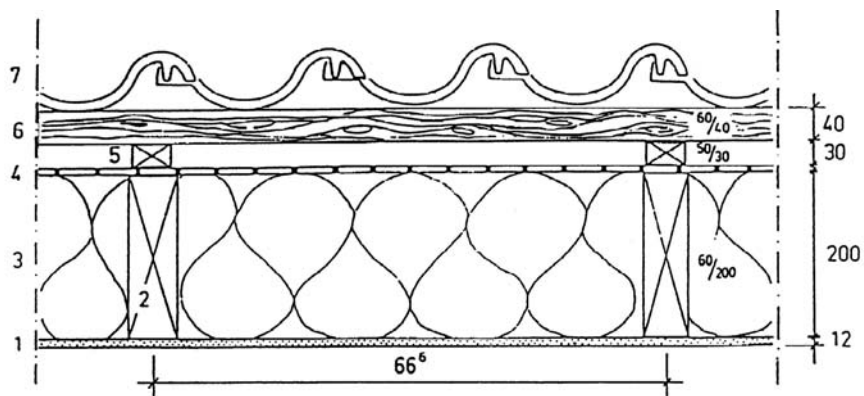


Bild 7 Lage der Thermoelemente über den Bauteilquerschnitt

Messwertaufnahme - Feuchtemessung

In der Literatur ist die Problematik der Feuchtebestimmung umfangreich dargestellt und diskutiert.

Eine Meßmethode stellt ein aktuell vom WKI entwickeltes radiometrisches Verfahren dar. Hierbei wird mittels Durchstrahlen einer Probe die Rohdichteänderung, somit auch die Wassergehaltsänderung bestimmt.

Vergleichend hierzu ist, im Feuchtebereich des Holzes unter Fasersättigung [ca. 28 M-%], mit Hilfe der elektrischen Widerstandsmessung die Änderung des Widerstandes zwischen zwei Elektroden gemessen und in die Feuchte des Messmediums umgerechnet worden. 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.

Klimaräume und Klima

Für die Durchführung des Versuches wird eine Doppelklimakammer eingesetzt. 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. Das Bild 8 zeigt die Außenklimabedingungen, hierbei ist die Außenlufttemperatur (Θ) durchgezogen und die Taupunkttemperatur (Θ_s) gestrichelt, dargestellt. Die Abweichungen der Klimakammer lagen hierbei für die Lufttemperatur außen $\Theta_e = 2.0\text{K}$, für die rel. Luftfeuchte außen $\phi_e = \pm 5\%$.

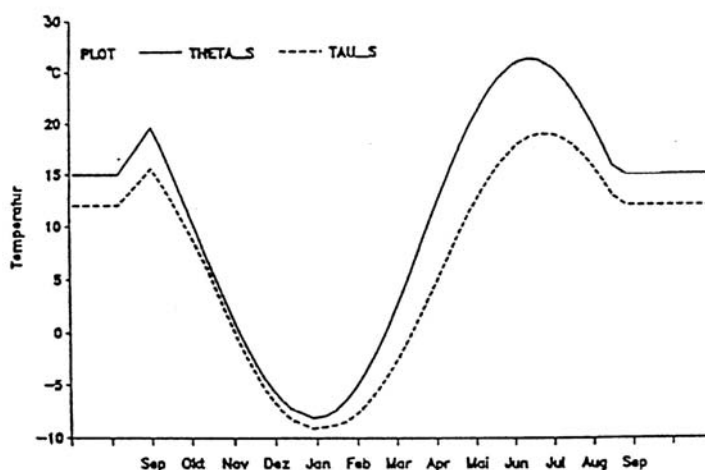


Bild 8 Versuchsklima außen

Das Innenklima konnte konstant, bei einer Lufttemperatur innen $\Theta_i = 20\text{ °C}$ ($\pm 0.2\text{ K}$) und rel. Luftfeuchte innen $\phi_i = 50\%$ ($\pm 2\%$) gesteuert werden.

7.2. Feuchteentwicklung der Sparren

In den drei nachstehenden Bildern (Bild 9, 10, 11) sind die Feuchteverläufe des Sparren über dem Holzquerschnitt von innen nach außen während eines Jahreszeitraumes aufgetragen. Es wird hierbei nach Lage des Messpunktes im Sparren unterschieden:

- raumseitig $t = 20$ mm
- mittig $t = 100$ mm
- außen $t = 180$ mm.

Die Darstellung in den Diagrammen erfolgt
 feucht eingebautes Holz (F) - gestrichelt
 trockenes / hier vorklimatisiertes Holz (T) - durchgezogen.

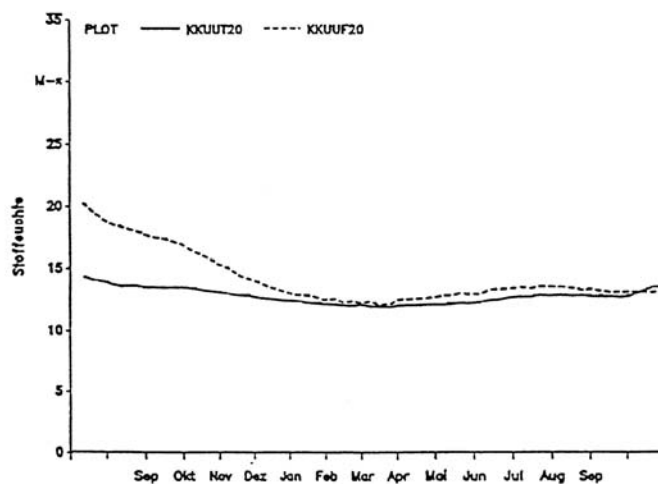


Bild 9 Feuchteentwicklung der Sparren, raumseitig $t = 20$ mm

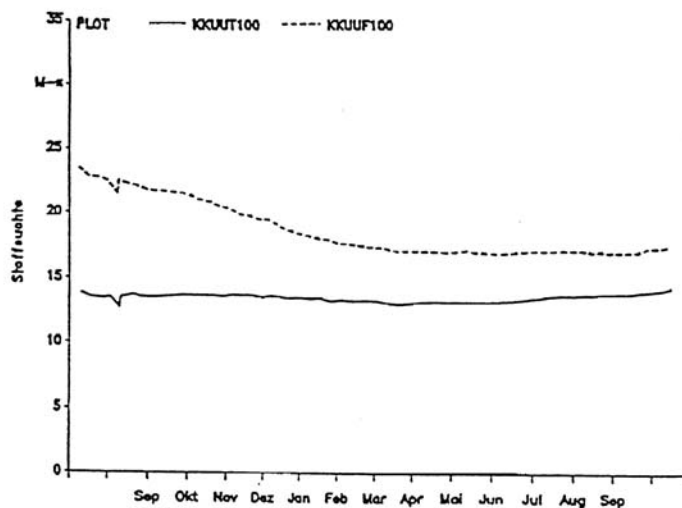


Bild 10 Feuchteentwicklung der Sparren, mittig $t = 100$ mm

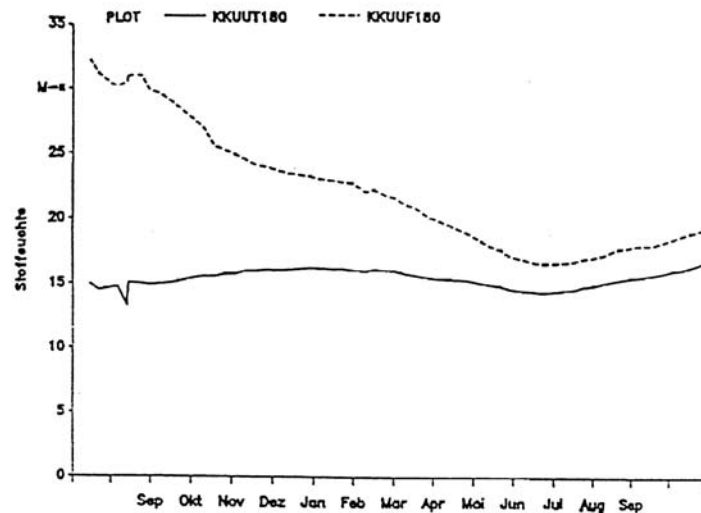


Bild 11 Feuchteentwicklung der Sparren, außen $t = 180$ mm

8. Bewertung und Ausblick

Die Feuchteentwicklung in den Holzbauteilen kann wie folgt bewertet werden:

trockenes / vorklimatisiertes Bauholz

- die Feuchten ($t = 20, 100, 180$ mm) sind nahezu konstant mit einer Holzfeuchte von $u = 14/15$ [M-%]
- die Holzfeuchten liegen außerhalb einer Gefährdung der Holzbauteile von 18 [M-%], siehe auch /^{viii}/

feuchtes Bauholz

- die Feuchten der innenliegenden Bereiche ($t = 20$ mm) erreichen nach ca. 5 Monaten die Werte des trockenen Holzes mit einer Ausgleichsfeuchte von $u = 14$ [M-%]
- die Feuchten der mittleren und außenliegenden Bereiche ($t = 100, 180$ mm) liegen mit einer Holzfeuchte von $u = 17$ [M-%] ca. 3 [M-%] oberhalb der Feuchten des trockenen Holzes
- die Holzfeuchten erreichen nach ca. 8 Monaten einen Bereich der außerhalb einer Gefährdung des Holzes von 18 [M-%] liegt.

allgemein gilt

- die Feuchten der außenliegenden Bereiche folgen dem Außenklima mit seinem Jahresverlauf
- eine Kondensatbildung im Bereich unter der USB, wie sie bei dampfdichten USB auftritt, ist nicht erkennbar.

Zusammenfassend kann aus den Versuchen festgestellt werden:

- Sparrenvolldämmungen sind bei Einsatz von hochdiffusionsoffenen Unterspannbahnen bauphysikalisch einwandfrei auszuführen.
- Hohe Einbaufeuchten des Holzes können bei Einsatz von hochdiffusionsoffenen Unterspannbahnen beschleunigt reduziert werden, das Gefahrenpotential wird entscheidend reduziert.
- Unter der Voraussetzung der Unterbindung von Feuchtekonvektion in den Bauteilquerschnitt sind bei geschlossenen raumseitigen Bekleidungen eindeutige Tendenzen erkennbar, die die Wichtigkeit der Dampfsperren und ihre Gebrauchstauglichkeit in Frage stellen. Diese Tendenzen werden zzt. im Rahmen von weiteren Forschungsvorhaben untersucht.

Weitere Forschungsarbeiten:

Klimasimulationsrechnung von geneigten Dachsystemen

- In einer Zusammenarbeit mit der TU Dresden, Institut für Bauklimatik, werden die vorgestellten Doppelklimakammer-Simulationen rechentechnisch betrachtet, um für weitere Klimazonen ergänzende, belegbare Aussagen treffen zu können.

Einflüsse der s_{da} -Werte auf das Trocknungsverhalten von Hölzern

- Um die Einflüsse der Diffusionseigenschaften der USB genauer zu beschreiben, wird in einem weiteren Projekt die Veränderung der Holzfeuchte von Sparren unterschiedlicher Holzfeuchte in Abhängigkeit der s_{da} -Werte untersucht.

Feuchtekonvektion in geneigten Dachsystemen

- Um ergänzende Erkenntnisse über die Einflüsse von Fehlstellen in Dampfsperren und deren Größe zu gewinnen, wird die in die Dachsysteme eintretende Feuchtekonvektion durch planmäßig eingebaute Fehlstellen in Dampfsperren untersucht.

-
- i BBS INGENIEURBÜRO: Bericht Nr. 6; Beurteilung des energetischen Verhaltens von Fachwerkgebäuden bei unterschiedlichen Wärmedämmmaßnahmen, Bausubstanz 6/93
 - ii H. Schulze: Geneigte Dächer ohne chemischen Holzschutz? wksb 27/1989
 - iii H. Künzel, T. Großkinsky: Nicht belüftet, voll gedämmt: Die beste Lösung für das Steildach!; wksb 27/1989
 - iv Wärmeschutzverordnung, Novelle 1/1995
 - v BBS INGENIEURBÜRO Berichte Nr. 1-12, div. Veröffentlichungen
 - vi Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks DDH: Fachregeln des Dachdeckerhandwerks
 - vii H. Schulze: Geneigte Dächer ohne chemischen Holzschutz auch ohne Dampfsperre?; bauen mit Holz 8/92
 - viii H.-P. Leimer: Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Außenbauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude, Dissertation Weimar 1991