



## UNTERSUCHUNGSBERICHT

in Kooperation der Institute **ift** Rosenheim und  
Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen

<b>Auftraggeber</b>	<b>Illbruck Bau Technik GmbH</b> Burscheider Straße 454 51381 Leverkusen
<b>Auftrag</b>	<b>Vergleichende hygrothermische Simulation der Feuchteverhältnisse im Bereich des Fensteranschlusses</b> mit dem Programm „WUFI® IFT 1.0“
<b>Gegenstand</b>	Feuchtevariable Folie „ <b>Illbruck TwinAktiv</b> “ auf der Außen- und Innenseite im Vergleich zu zwei verschiedenen marktüblichen Systemen mit dichterem Folien auf der Innen- und diffusionsoffeneren Folien auf der Außenseite.
<b>Zusammenfassendes Ergebnis</b>	Der Vergleich der feuchtevariablen Folie „ <b>Illbruck TwinAktiv</b> “ für Innen- und Außenabdichtung mit zwei anderen marktüblichen Systemen ergibt insbesondere im Winter und bei Rohbaufeuchte eine schnellere Austrocknung unter den vorgegebenen Randbedingungen. <u>Hinweis:</u> Die Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens berechtigt keine Aussage über weitere leistungs- /qualitätsbestimmenden Merkmale.
<b>Berichtsinhalt</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1 Präambel</li><li>2 Beschreibung des Gegenstands</li><li>3 Untersuchung und Einzelergebnisse</li><li>4 Bewertung und Hinweise</li></ol>

Holzkirchen, 15. März 2005

Rosenheim, 15. März 2005

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel  
Abteilungsleiter

Prof. Dipl.-Phys. Fritz Holtz  
Geschäftsführer

Fraunhofer Institut Bauphysik

LSW – das Schallschutzprüfzentrum  
des **ift** Rosenheim

Institutsleitung  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer  
  
Institutsteil Holzkirchen  
Fraunhoferstraße 10, D-83626 Valley  
  
Telefon +49 (0) 8024/643-0  
Telefax +49 (0) 8024/643-66  
info@hoki.ibp.fraunhofer.de  
www.bauphysik.de

Institusleiter  
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Sieberath  
  
LSW  
– Labor für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH  
– das Schallschutzprüfzentrum des **ift** Rosenheim  
Lackermannweg 26, D-83071 Stephanskirchen  
  
Telefon +49 (0) 8036/3006-0  
Telefax +49 (0) 8036/3006-33  
www.ift-rosenheim.de



**Fraunhofer** Institut  
Bauphysik



## Hintergrund

Der Anschluss eines Fensterrahmens an die Gebäudehüllkonstruktion ist ein besonders bezüglich Undichtheiten, Wärmebrücken und damit verbundenen Feuchteproblemen sehr kritischer Bereich. Üblicherweise wird der Bereich zwischen Fensterrahmen und Untergrund gedämmt (z.B.: mit PU-Ortschaum oder Mineralfaserdämmung) und mit Schutzfolien vor Regenwasser und Feuchte geschützt. Dabei verläuft die Folie zwischen Dämmung und Fensterrahmen und wird bei massiven Konstruktionen seitlich eingeputzt. Klassische System verwenden zwei verschiedene Folien: eine dichtere auf der Innenseite und eine diffusionsoffenerere auf der Außenseite die unter dem Rahmen dicht miteinander zu verbinden sind. Ein neuer Ansatz der Firma Illbruck Abdichtungssysteme sieht die Verwendung einer feuchtevariablen Dampfbremse sowohl auf der Außen- als auch auf der Innenseite vor. Diese Lösung schließt das Risiko eines fehlerhaften Einbaus der Folie aus und eröffnet möglicherweise ein zusätzliches Austrocknungspotential nach innen. Die vorliegende Untersuchung soll Aufschluss darüber geben, welche hygrothermischen Verhältnisse sich im Bereich des Rahmenanschlusses bei den verschiedenen Varianten einstellen und ob die neue Lösung bauphysikalisch anderen Systemen vergleichbar oder sogar überlegen ist.

## Durchgeführte Untersuchungen

Die Untersuchungen werden mit Hilfe des am Fraunhofer Institut für Bauphysik entwickelten und vielfach validierten Verfahrens zur Berechnung des instationären Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen unter realen Klimabedingungen WUFI® [1] durchgeführt. Bild 1 zeigt einen Screenshot des berechneten Bereichs des Fensteranschlusses, wie er in das Programm eingegeben wird. An den Schnitten durch die Wand und durch den Fensterrahmen werden jeweils adiabate Systemgrenzen angesetzt. Die Wand besteht aus einem 36,5 cm dicken porosierten Ziegel mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,13 W/m<sup>2</sup>K. Außen wird ein schwach saugender mineralischer Außenputz (20 mm) verwendet und auf der Innenseite ein 15 mm dicker Gipsputz. Der Bereich zwischen dem 58 mm starken Fensterrahmen und dem Ziegelmauerwerk ist mit PU-Ortschaum gedämmt. Der PU-Schaum ist zusätzlich durch eine Folie geschützt, die zwischen Rahmen und Dämmung verläuft und beidseitig am Ziegel eingeputzt wird. Um die hygrothermischen Verhältnisse im Bereich des Fensterrahmens bei Verwendung der Folie Illbruck TwinAktiv (Variante 1) mit variablem  $s_d$ -Wert zwischen 0,25 und 26 m (Bild 2) beurteilen zu können, wird diese Konstruktionsvariante mit zwei marktüblichen Lösungen verglichen. Das eine System verwendet auf der Innenseite eine dampfdichte Metallfolie und auf der Außenseite eine diffusionsoffene Folie mit einem  $s_d$ -Wert von 0,5 m (Variante 2); das andere weist innen einen  $s_d$ -Wert von 50 m und außen einen  $s_d$ -Wert von 1,0 m auf (Variante 3). Darüber hinaus sind die drei Konstruktionsvarianten identisch. Die Materialdaten stammen aus der WUFI-Materialdatenbank; die Kennwerte



**Fraunhofer** Institut  
Bauphysik



für die Folien sowie für das Dämmmaterial wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Als Außenklima werden gemessene stündliche Klimadaten des Standorts Holzkirchen im bayerischen Voralpenland verwendet, der als kritisch für deutsche Verhältnisse gilt (Bild 3). Im Innenraum herrschen Wohnraumverhältnissen mit normaler Feuchtebelastung; dies entspricht einem sinusförmigen Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte (r.F.) zwischen 20 °C / 40 % r.F. im Winter und 22 °C / 60 % r.F. im Sommer. Als Wärmeübergangskoeffizienten werden an der Außenwand, der äußeren Leibung und der Außenoberfläche des Fensterrahmens 17 W/m<sup>2</sup>K und an der Innenoberfläche der Wand 8 W/m<sup>2</sup>K verwendet – diese Werte ergeben sich aus zahlreichen Freilandversuchen am IBP in Holzkirchen. An der inneren Leibung sowie der Innenoberfläche des Rahmens wird der Übergangskoeffizient aufgrund der hier verringerten Luftbewegung auf 4 W/m<sup>2</sup>K reduziert. Die Berechnungen werden zweidimensional über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt; Berechnungsstart ist Anfang Oktober – also vor der Tauperiode. In separaten Berechnungen wird einmal das Verhalten im normalen Einbauzustand mit etwa 80 % r.F. und normaler Bewitterung und zum anderen die Austrocknung einer hohen Rohbaufeuchte (Gleichgewichtswassergehalt entsprechend 98 % relativer Feuchte) ohne Regen untersucht.

## Ergebnisse

### Normaler Einbauzustand

Bild 4 zeigt den berechneten zeitlichen Verlauf des Wassergehalts in der PU-Ortschaum-Dämmung über den berechneten Zeitraum von einem Jahr. Am Anfang der Berechnung liegt der Wassergehalt bei jeweils etwa 1,5 kg/m<sup>3</sup>. Bei Variante 1 mit feuchtevariabler Folie steigt der Wassergehalt während des Winters auf maximal etwa 2,7 kg/m<sup>3</sup> und fällt anschließend bis auf minimal etwa 1,0 kg/m<sup>3</sup> im Winter. Bei Variante 2 mit Metallfolie auf der Innenseite und einem s<sub>d</sub>-Wert von 0,5 m auf der Außenseite steigt der Wassergehalt etwas höher auf etwa 3,0 kg/m<sup>3</sup>; im Sommer ist ebenfalls eine Abnahme bis in den Bereich von 1,0 kg/m<sup>3</sup> zu beobachten. Ähnlich ist der Verlauf des Wassergehalts auch bei Variante 3 mit einer s<sub>d</sub>-Wert Kombination von 1,0 außen und 50 m innen. Der Maximalwert im Winter liegt allerdings nochmals etwas höher mit etwa 3,2 kg/m<sup>3</sup>. In Bild 5 ist der Wassergehaltsverlauf des Ziegels im Bereich hinter dem Fensterrahmen dargestellt. An dieser Stelle wäre am ehesten ein Einfluss der Folienauswahl auf den Verlauf der Materialfeuchte zu erwarten. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass dieser Einfluss nur sehr gering ist - die Kurven aller drei Varianten verlaufen nahezu analog. Der Wassergehalt im Ziegel liegt am Anfang der Berechnung



jeweils bei etwa  $15 \text{ kg/m}^3$ , steigt während des Winters auf maximal etwa  $17,5 \text{ kg/m}^3$  und sinkt im Sommer auf Werte um  $10 \text{ kg/m}^3$ . Ähnlich sieht es bei dem in Bild 6 dargestellten Verlauf der relativen Feuchte an der Innenoberfläche Gipsputzes vor dem Fensterrahmen aus. Auch hier sind Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten nur schwer zu erkennen. Lediglich im Winter liegen die Werte von Variante 1 minimal über denen der übrigen Varianten. Bezüglich der Temperaturfelder sind zwischen den verschiedenen Varianten nur unwesentliche Unterschiede festzustellen. Die instationär berechneten Temperaturfelder sind jeweils für einen Zeitpunkt im Winter und im Sommer in Bild 7 dargestellt.

#### Austrocknung der Rohbaufeuchte

In Bild 8 ist wieder der Verlauf des Wassergehalts im PU-Ortschaum dargestellt. Entsprechend der hohen Anfangsfeuchte liegt der Anfangswassergehalt bei den verschiedenen Varianten jetzt bei  $15 \text{ kg/m}^3$ . Bei der feuchtevariablen Variante 1 sinkt der Wassergehalt zunächst einige Wochen bis auf etwa  $12 \text{ kg/m}^3$ . Anschließend steigt der Wert bis auf etwa  $18 \text{ kg/m}^3$  an. Ab dem Frühjahr nimmt der Wassergehalt dann relativ zügig ab und liegt im Sommer bei unter  $5 \text{ kg/m}^3$ . Bei Variante 2 ist ebenfalls während der ersten Wochen eine Austrocknung zu erkennen – allerdings nur sehr geringfügig bis auf wenig unter  $15 \text{ kg/m}^3$ . Darauf folgt wie bei Variante 1 ein Anstieg des Wassergehalts, allerdings auf ein deutlich höheres Niveau von maximal etwa  $24 \text{ kg/m}^3$ . Die anschließende Austrocknung führt dann mit unter  $5 \text{ kg/m}^3$  im Sommer wieder auf das gleiche Niveau wie bei Variante 1. Bei der außen noch dichteren Variante 3 ist die anfängliche Abnahme des Wassergehalts ebenfalls sehr gering. Im Winter werden dann mit etwa  $27,5 \text{ kg/m}^3$  noch einmal höhere Werte erreicht als bei Variante 2. Analog zu den beiden anderen Varianten sinkt der Wassergehalt auch in Variante 3 bis zum Sommer auf unter  $5 \text{ kg/m}^3$ . Beim Wassergehalt im Ziegel hinter dem Fensterrahmen in Bild 9 ist der Unterschied zwischen den Varianten nun zwar etwas deutlicher als im normalen Einbauzustand – aber auch hier ist der Einfluss des Folientyps auf den Feuchtegehalt in diesem Bereich nur gering. Ausgehend von etwa  $95 \text{ kg/m}^3$  trocknet der Ziegel während des gesamten berechneten Zeitraums bis auf etwa  $35 \text{ kg/m}^3$  aus. Erst gegen Ende des berechneten Zeitraums liegt der Wassergehalt von Variante 1 leicht unterhalb des Wassergehalts der beiden anderen Varianten. Auch beim Verlauf der relativen Feuchte zeigen sich nun geringfügig größere Abweichungen. Die relative Feuchte an der Putzoberfläche ist bei Variante 1 meist etwas höher als bei den anderen Varianten (Bild 10). Die Differenz ist zu Beginn der Berechnung am größten und gegen Ende des Jahres nur noch sehr gering.



**Fraunhofer** Institut  
Bauphysik



## **Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerung**

Die Ergebnisse zeigen, dass die unterschiedlichen Folienvarianten hauptsächlich im Winter zu Unterschieden im Feuchtegehalt der darunter liegenden PU-Ortschaumdämmung führen. Im Sommer liegen alle betrachteten Varianten nahe beieinander. Weiterhin ist der Einfluss des Diffusionswiderstands der innenseitigen Folie deutlich geringer als der der außenseitigen Folie. Dies wird an zwei Punkten deutlich: Der Feuchtegehalt im PU-Ortschaum in Variante 2 mit innen dampfdichter Folie und außen einem  $s_d$ -Wert von 0,5 liegt im Winter immer unter dem von Variante 3, die innen mit einem  $s_d$ -Wert von 50 m diffusionsoffener ist, aber auf der Außenseite dichter mit  $s_d = 1,0$  m. Die in Bild 11 dargestellte Feuchteverteilung im Bereich des Rahmenanschlusses in einer kalten Winternacht Mitte Februar zeigt, dass in der Tauperiode weniger ein Feuchtetransport von innen in die Dämmung stattfindet als vielmehr ein Feuchtestau vor der äußeren Folie. Je dichter die äußere Folie ist, desto höhere Feuchtegehalte stellen sich in der Dämmung vor der Folie ein. Der Einfluss der Folienauswahl auf die Feuchtegehalte im Ziegel unterhalb der PU Dämmung sowie im Innenputz vor dem Rahmen sind dagegen nur gering. Der Feuchtetransport findet bei den hier gewählten Materialien weniger durch die Folien als vielmehr im Ziegel und im Putz selber statt. Bei einem für Flüssig- und Dampftransport dichteren Wandbildner wie z.B. Beton könnte dagegen die Foliwahl auch für Feuchtegehalt der Wand einen gewissen Einfluss haben. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einsatz einer feuchtevariablen Dampfbremse am Fensterrahmen im Vergleich zu den hier untersuchten marktüblichen Systemen zu einer leichten Verbesserung der hygrothermischen Verhältnisse im Rahmenbereich führt. Besonders deutlich wird der Vorteil während der Austrocknung von Rohbaufeuchte aus den Wandmaterialien. Im normalen Einbauzustand ist der Unterschied geringer aber auch hier weist die neue Variante die niedrigsten Feuchtegehalte in der Rahmendämmung auf.

## **Literatur**

[1] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart, 1994.



Fraunhofer  
Institut  
Bauphysik

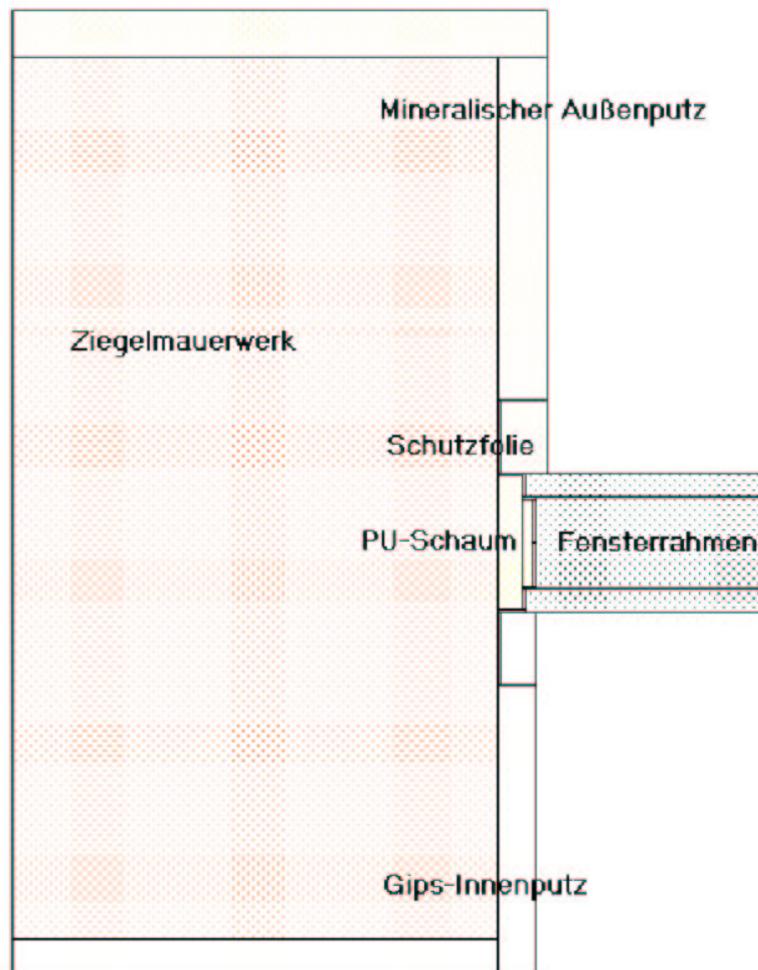


Bild 1: In WUFI® eingegebener Konstruktionsaufbau (Screenshot).



Variabler  $s_d$ -Wert der Intello-Folie in Abhängigkeit von der relativen Feuchte der Umgebung

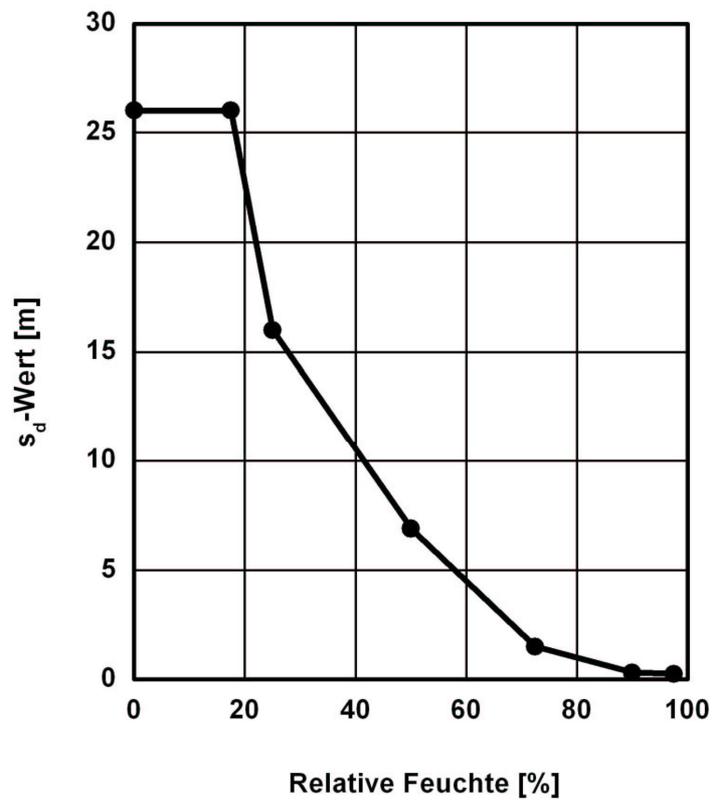


Bild 2: Variabler  $s_d$ -Wert der Illbruck TwinAktiv Folie in Abhängigkeit von der relativen Feuchte der Umgebung



### Klima Holzkirchen

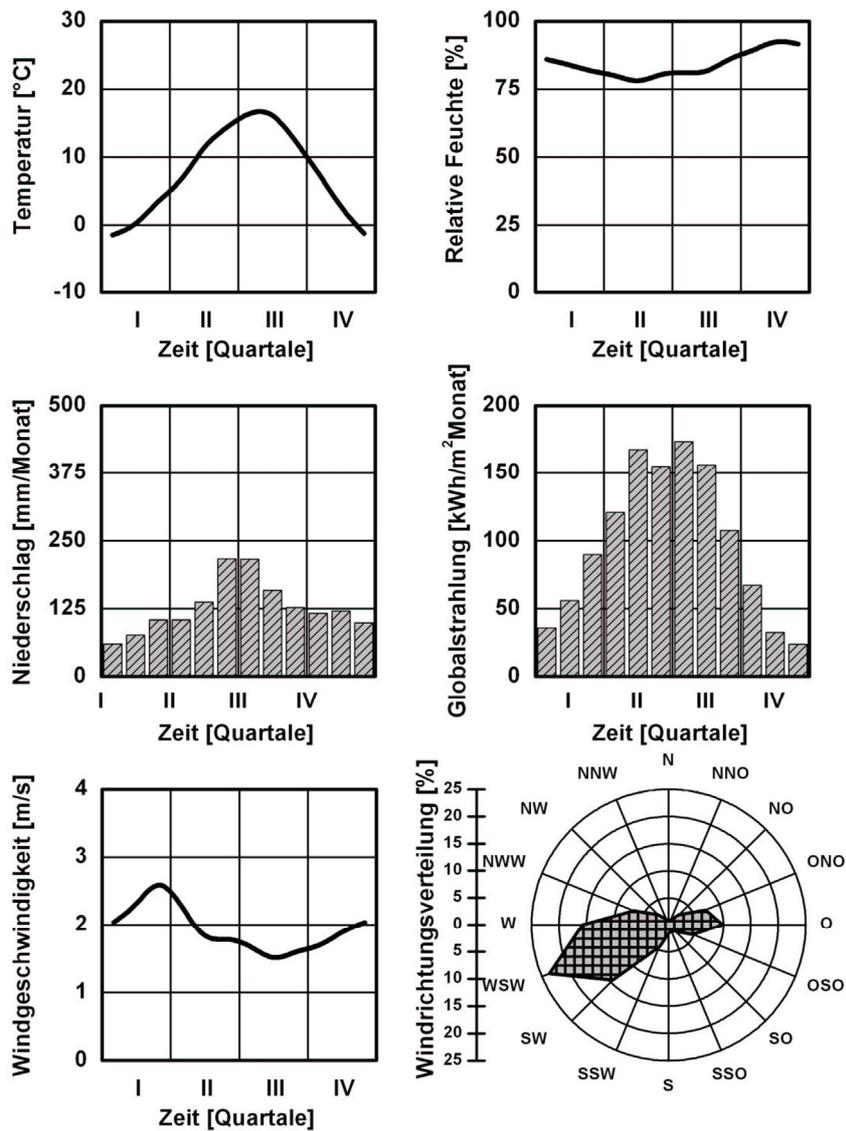


Bild 3: Klimadaten am Standort Holzkirchen (bayerisches Voralpenland), der als kritisch für die Klimaverhältnisse in Deutschland gilt.

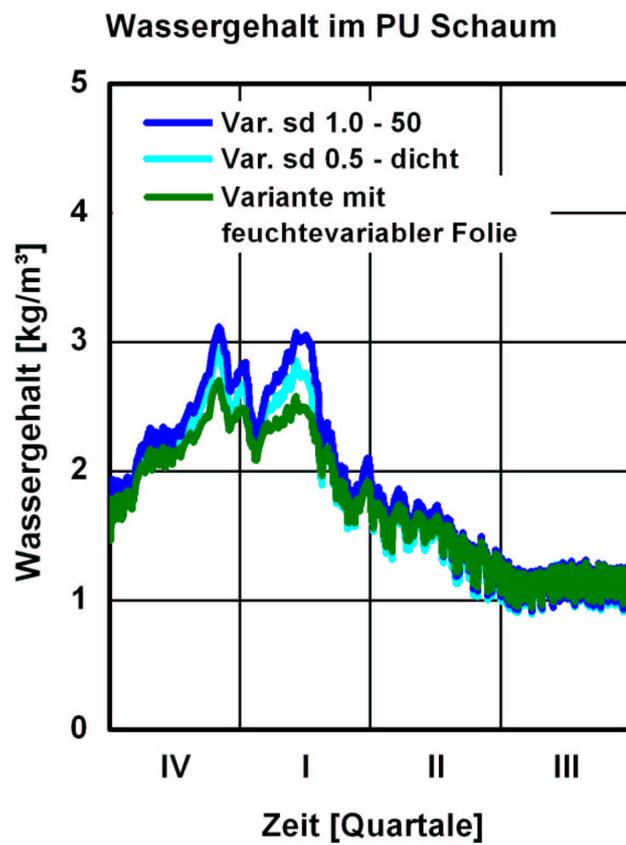


Bild 4: Berechneter zeitlicher Verlauf des Wassergehalts im PU-Ortschaum für die drei verschiedenen Folienvarianten im normalen Einbauzustand.

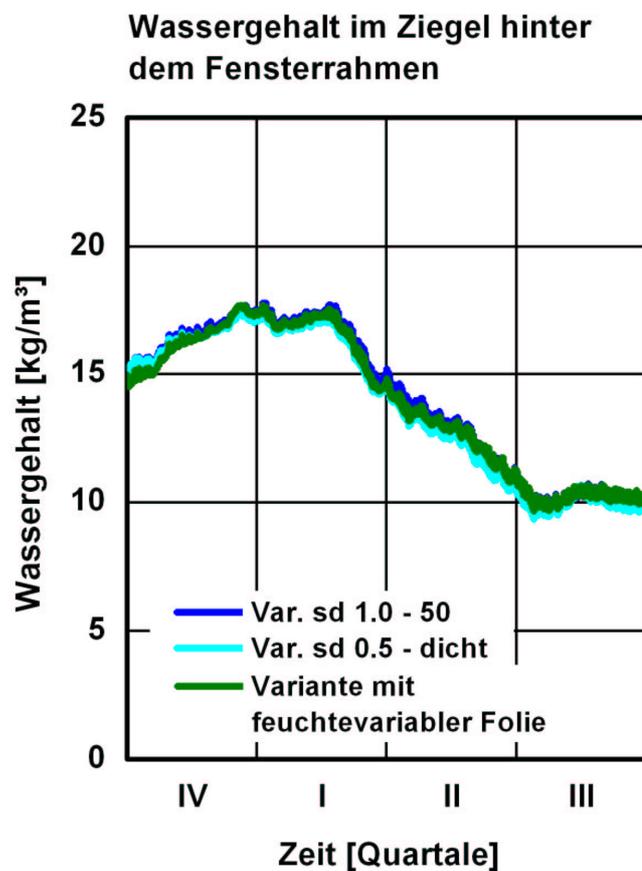


Bild 5: Berechneter zeitlicher Verlauf des Wassergehalts im Ziegel im Bereich unter dem PU-Ortschaum für die drei verschiedenen Folienvarianten im normalen Einbauzustand.

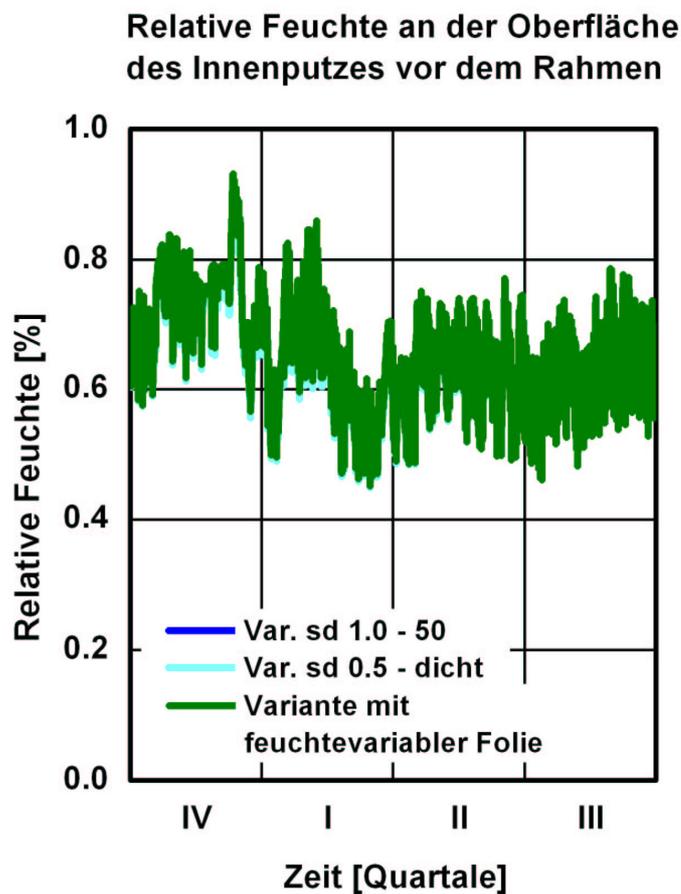


Bild 6: Berechneter zeitlicher Verlauf der relativen Feuchte an der Oberfläche des Innenputzes vor dem Fensterrahmen für den Fall des normalen Einbauzustandes.

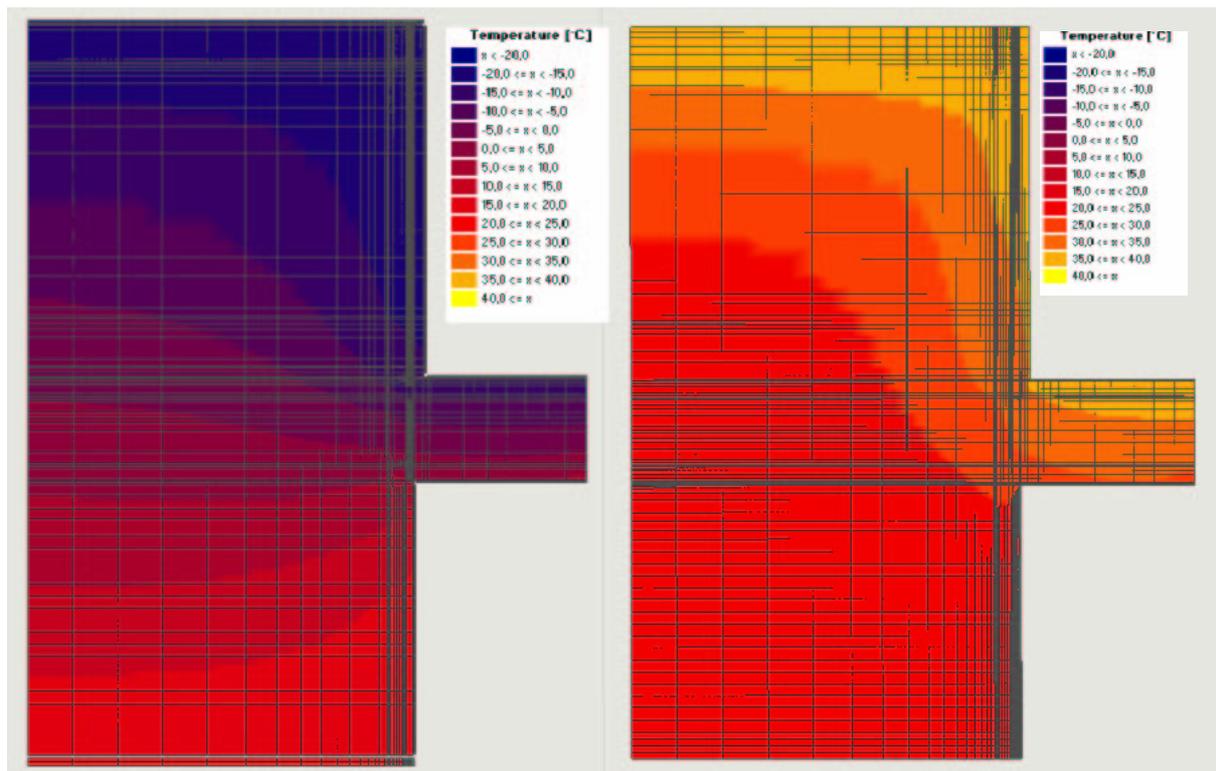


Bild 7: Instationär berechnetes Temperaturfeld in den Konstruktion im Winter (Mitte Februar nachts) und Sommer (Mitte Juli nachmittags) am Beispiel der Variante mit der feuchtevariablen Folie

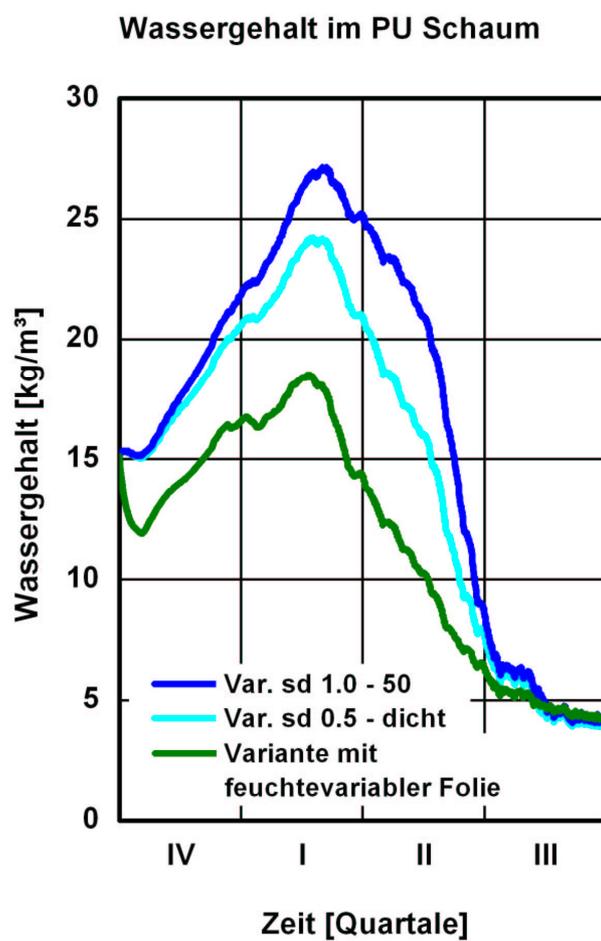


Bild 8: Berechneter zeitlicher Verlauf des Wassergehalts im PU-Ortschaum für die drei verschiedenen Folienvarianten bei Austrocknung von Rohbaufeuchte.

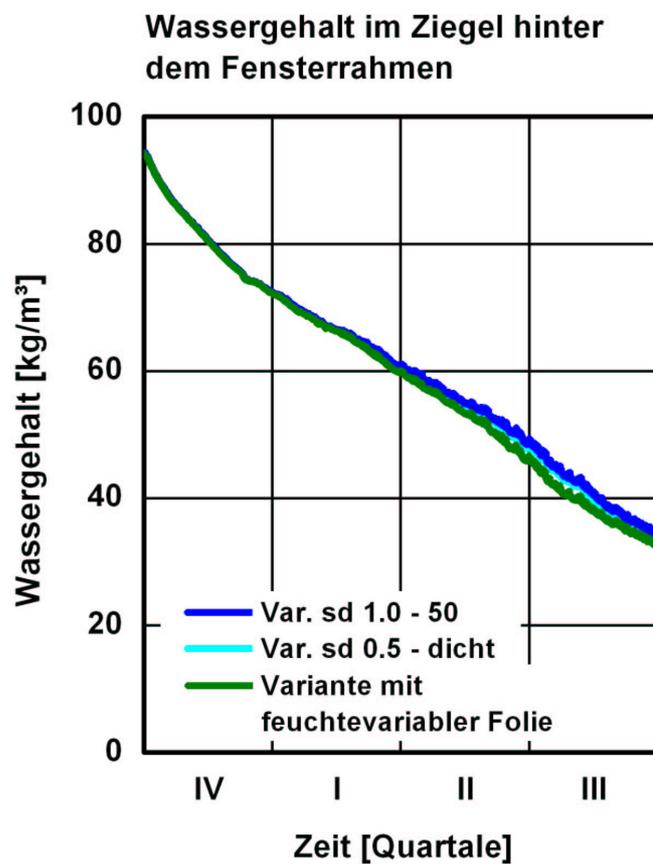


Bild 9: Berechneter zeitlicher Verlauf des Wassergehalts im Ziegel im Bereich unter dem PU-Ortschaum für die drei verschiedenen Folienvarianten bei Austrocknung von Rohbaufeuchte.

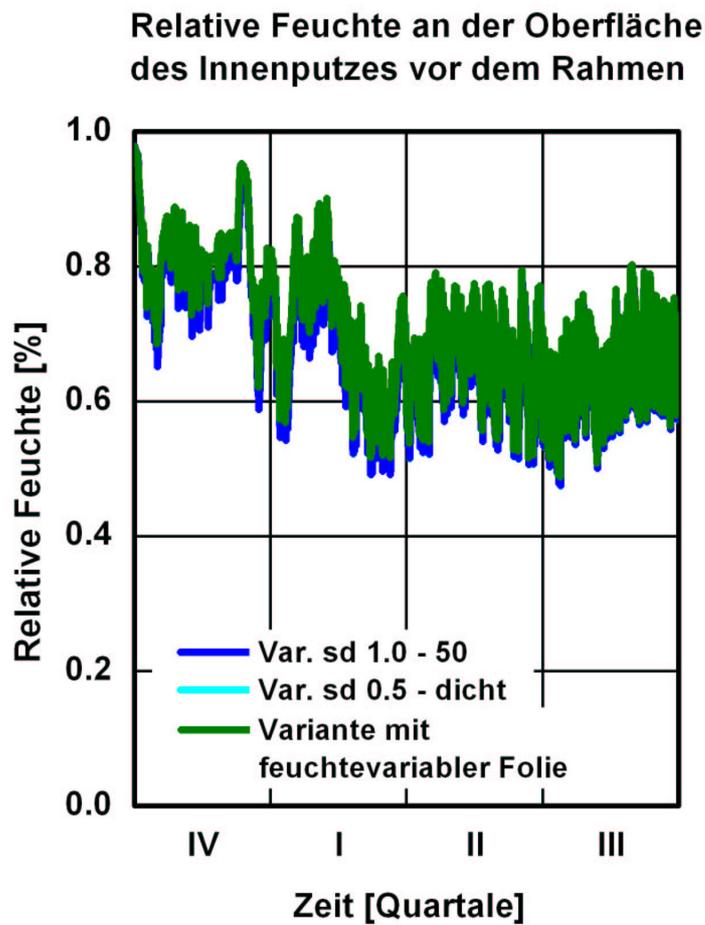


Bild 10: Berechneter zeitlicher Verlauf des Wassergehalts im Ziegel im Bereich unter dem PU-Ortschaum für die drei verschiedenen Folienvarianten bei Austrocknung von Rohbaufeuchte.

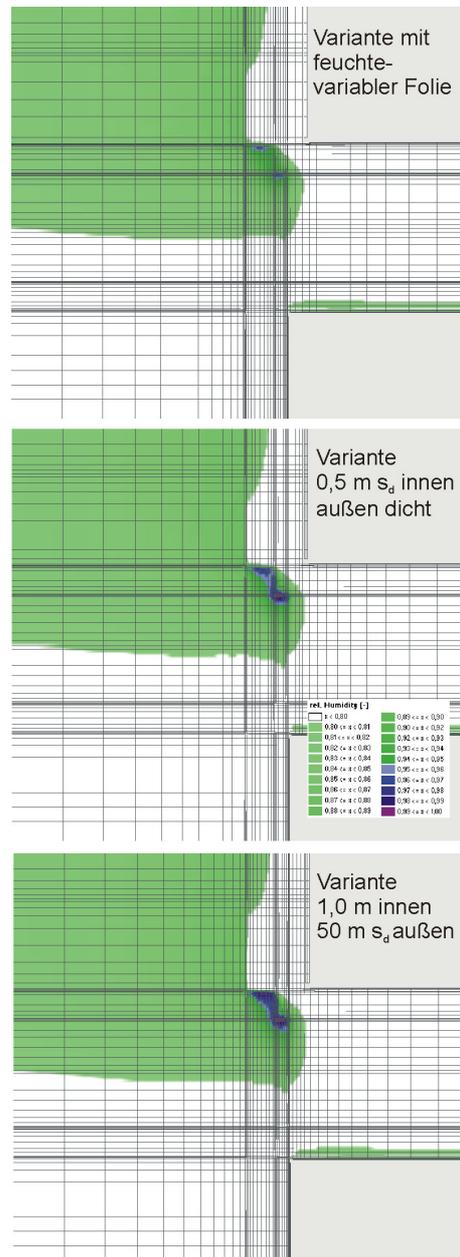


Bild 11: Berechnete Feuchteverteilung in den drei Varianten Mitte Februar im Bereich des Fensterrahmens im normalen Einbauzustand (Ausschnitte aus der Bildschirmansicht des WUFI®-Films). Feuchten bis 80 % sind weiß dargestellt, von 80 bis 95 % grün bis dunkelgrün und von 95 bis 100 % blau bis violett.