

WUFI® Leitfaden

Bewertung des Tauwasserablauf- risikos in hydrophoben Faserdämmstoffen

Stand: März 2024

Grundlagen

- Feuchteschutzbeurteilung nach Glaser..... [Folie 3](#)
- Tauwasserablaufbeurteilung mit WUFI®..... [Folie 4](#)

Grenzwerte

- Orientierungswerte aus der Normung..... [Folie 6](#)
- Grenzwerte für Wände..... [Folie 7](#)
- Grenzwerte für Dächer [Folie 10](#)
- Grenzwerte – Überblick..... [Folie 11](#)

Vorgehen in WUFI®

- Vorgehen in WUFI®..... [Folie 12](#)
- Beispiel - Flachdach..... [Folie 13](#)

Literatur

[Folie 21](#)

Feuchteschutzbeurteilung nach Glaser

DIN 4108-3 [1] und DIN EN ISO 13788 [2] beschreiben **stationäre** Feuchteschutzbeurteilungen nach dem Glaserverfahren.

Eine Konstruktion ist zulässig, wenn

1. kein Tauwasser entsteht.
2. die Tauwassermenge unterhalb der Grenzwerte bleibt und auf Jahressicht wieder vollständig austrocknen kann.

Die stationären Dampfdiffusionsverfahren weisen Vereinfachungen auf, wie:

- Blockrandbedingungen (Sommer, Winter oder monatlich), d.h. konstante Klimabedingungen (Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit)
- Feuchteunabhängige Materialparameter (z.B. Wärmeleitfähigkeit)
- Keine Berücksichtigung von Einbaufeuchte und Sorptionsfeuchte

WUFI® berücksichtigt die Feuchtespeicherfähigkeit (Sorptionsfähigkeit) von Baustoffen. Die Feuchtespeicherfunktion beschreibt dabei den Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt im Baustoff und der relativen Feuchte der Umgebungsluft.

Im hygroskopischen Bereich bis etwa 95 % r.F. werden zunehmend Wassermoleküle an die Poreninnenoberflächen absorbiert.

Im Kapillarwasserbereich zwischen 95 % und 100 % r.F. steigt der Wassergehalt i.d.R. besonders steil an. Dabei ist in den Porenräumen bereits flüssiges Wasser vorhanden, welches aber durch die Kapillarkräfte in den Poren „gebunden“ wird.

Ein Risiko von Tauwasserablauf ist im engen Sinne erst gegeben, wenn 100 % relative Feuchte erreicht werden und die Tauwassermenge größer ist als die Menge, die an der Oberfläche gebunden werden bzw. haften kann. Da die Bindungskräfte in diesem Feuchtebereich nur noch schwach sind, kann es ggf. aber auch schon unterhalb von 100 % r.F. zu Tauwasserablauf kommen.

Tauwasserbeurteilung mit WUFI®

Bei Faserdämmstoffen ist eine klare Abgrenzung von Kapillarwasserbereich und Übersättigungsbereich kaum möglich. Bei solchen Materialien wird bei Erreichen von Wassergehalten nahe der freien Sättigung das Abfließen des Wassers auch durch den Fließwiderstand von Oberfläche und Faserstruktur und nicht nur durch die eigentlichen Kapillarkräfte behindert.

Im Rahmen des Projekts NaVe [3] wurde ein Messverfahren entwickelt, bei dem die effektive Tauwasserrückhaltung unabhängig von der genauen Ursache (Kapillarkräfte oder Fließwiderstand) ermittelt wird. Auf dieser Basis kann das Ablauf-Risiko der mit WUFI® berechnete Tauwassermenge auf der Oberfläche bzw. an der Grenzfläche zwischen Dämmstoff und benachbartem Material bewertet werden.

Der gemessene zulässige Wassergehalt an der Grenzfläche stellt dabei eine Mischung aus im Dämmstoff sorptiv gebundener, durch die Faserstruktur zurückgehaltener und an der Oberfläche von Dampfbremse oder Dachbahn haftender Feuchtemenge dar. Wird der zulässige Wassergehalt überschritten, beginnt das Tauwasser abzulaufen.

Orientierungswerte aus der Normung

| DIN EN ISO 13788: 2012 (stationär) | |
|---|--|
| Maximale Tauwassermenge, auf einer nicht sorptiven Oberfläche, um das Abfließen von Tauwasser zu verhindern | < 200 g/m ² |
| DIN 4108-3: 2024 (stationär) | |
| Maximale flächenbezogene Tauwassermenge (allgemein) | < 1000 g/m ² |
| An Schichtgrenzen mit nicht kapillar aufnahmefähiger Schicht | < 500 g/m ² |
| BSI 5250: 2011 (Britischer Standard) | |
| Feiner Nebel der nicht abläuft oder abtropft | < 30 g/m ² |
| Tropfenbildung und Abfließen an senkrechten Oberflächen | < 30 – 50 g/m ² |
| Bildung großer Tropfen und Abfließen an geneigten Oberflächen | 51 – 250 g/m ² 70 g/m ² bei einer Neigung von 45° 150 g/m ² bei einer Neigung von 23° |
| Vermeidung großer Tropfen die von horizontalen Flächen abfließen/abtropfen können | ≤ 250 g/m ² |

Grenzwerte für Wände nach NaVe [3]

Messung der Rückhaltekapazität an der Grenzschicht zwischen Faserdämmstoff und nicht saugfähiger Materialoberfläche bei Wänden [3]

- Messung der Tauwasser-Rückhaltekapazität an senkrechten Grenzschichten zwischen Faserdämmstoff (14 Materialien) und nicht saugfähiger Oberfläche (4 Typen)
- Die minimal gemessene Rückhaltekapazität lag dabei bei gut **100 g/m²**.
- Die im Dämmstoff selbst zurückgehaltene Feuchtemenge korreliert mit dessen Sorptionsfähigkeit bei 80 % r.F. sowie mit der Hydrophobizität und Rauigkeit der angrenzenden Oberfläche.
- Die spezifische Rückhaltekapazität lässt sich vereinfacht aus der **minimalen Rückhaltekapazität**, dem **Materialzuschlag** und dem **Oberflächenzuschlag** gem. folgender Formel ermitteln:

$$\text{Rückhaltekapazität} = 100 \text{ [g/m}^2\text{]} + 20 \text{ [m}\cdot\text{g/kg]} * u_{80} \text{ [kg/m}^3\text{]} + b \text{ [g/m}^2\text{]}$$

u_{80} : Sorptionsfeuchtegehalt des Faserdämmstoffs bei 80 % r.F.

b : Oberflächenfaktor, abhängig von den Eigenschaften der angrenzenden Oberfläche gem. Tabelle

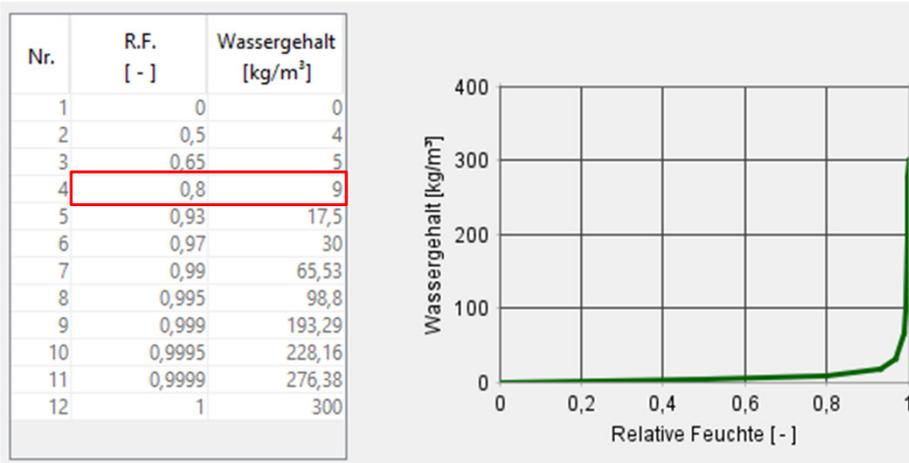
| Eigenschaften der Oberfläche | b [g/m ²] |
|---|-------------------------|
| unbekannt oder glatt und hydrophob | 0 |
| glatt, hydrophil / fein strukturiert, hydrophob | 50 |
| grob strukturiert | 100 |

Grenzwerte für Wände nach NaVe [3]

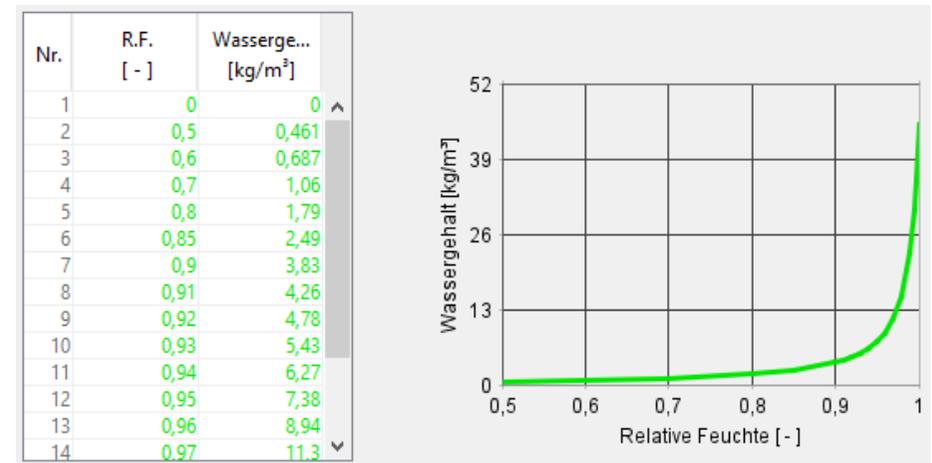
Hinweis zur Materialzuschlag:

Materialzuschlag = $20 \text{ [m} \cdot \text{g/kg]} * u_{80} \text{ [kg/m}^3\text{]}$
(u_{80} : Sorptionsfeuchte bei 80 % r.F.)

Bei gemessener Feuchtespeicherfunktion (dunkelgrüne Kurve, schwarze Werte) kann u_{80} der Tabelle entnommen werden



Wenn eine interne Feuchtespeicherfunktion (hellgrüne Kurve und Werte) hinterlegt ist, ist kein materialspezifischer Zuschlag anzusetzen.



Grenzwerte für Wände nach NaVe [3]

Exemplarische Werte für die Oberflächeneigenschaften



| Eigenschaften | hydrophob und glatt | hydrophil | hydrophob, fein strukturiert | hydrophob, grob strukturiert |
|--|---------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|
| Materialbeispiel | PE-Folie | Metallplatte | Mit Vlies kaschierte Folie | Mit Gewebe verstärkte Folie |
| Rückhaltekapazität ohne Dämmstoff [g/m ²] | 50 | 100 | 100 | 150 |
| Zusätzliche Rückhaltekapazität (Zuschlag b) bei angrenzendem Dämmstoff [g/m ²] | 0 | 50 | 50 | 100 |

Grenzwerte für Dächer (nach [3] und [4])

Messungen zur neigungsabhängigen Tauwasser-Rückhaltekapazität auf PE-Spinnvlies [4]

Folgende neigungsabhängige Grenzwerte können aus [4] abgeleitet werden:

| Neigung (α) | Grenzwert |
|-----------------------------------|----------------------|
| $\alpha = 0^\circ$ | 400 g/m ² |
| $0^\circ < \alpha \leq 5^\circ$ | 350 g/m ² |
| $5^\circ < \alpha \leq 10^\circ$ | 300 g/m ² |
| $10^\circ < \alpha \leq 15^\circ$ | 150 g/m ² |
| $15^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ | 100 g/m ² |

Der bei 90 ° minimal gemessene Wert von 100 g/m² entspricht dem in NaVe [3] für Faserdämmung an glatter hydrophober Oberfläche gemessenen. Das PE-Spinnvlies entspricht also einer glatten Folie mit direkt anliegender Faserdämmung.

Grenzwerte - Überblick

Überblick material- und neigungsabhängige Grenzwerte

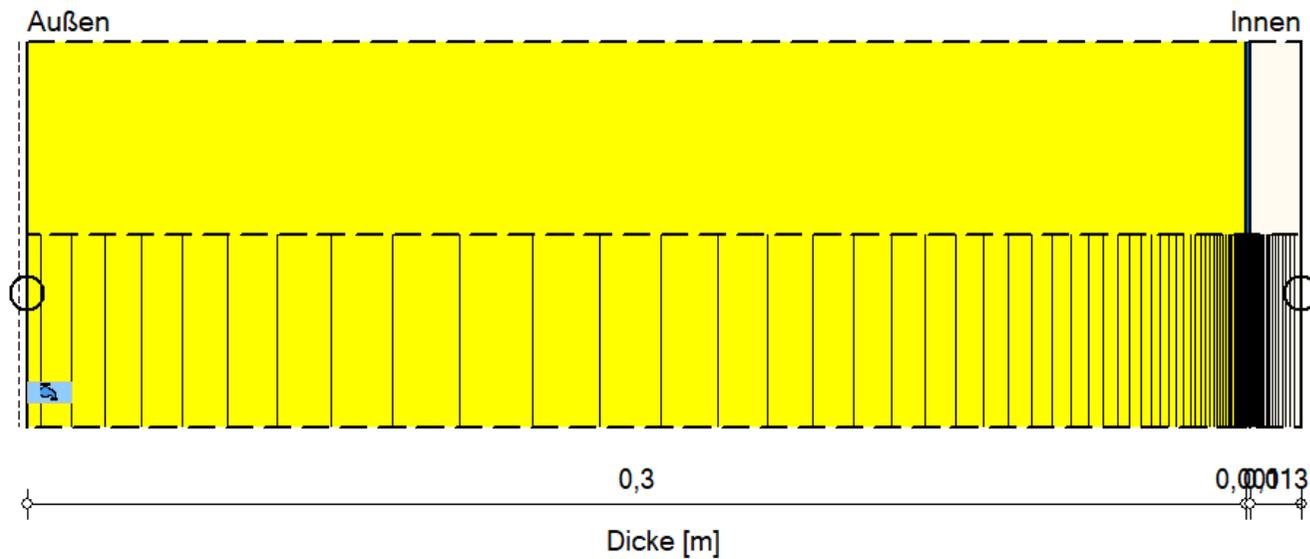
| Neigung (α) | Mindestgrenzwert | Materialzuschlag | Oberflächenzuschlag | |
|-----------------------------------|----------------------------|--|--|----------------------------|
| $\alpha = 0^\circ$ | 400 g/m² | Bei gemessener Feuchtespeicherfunktion: 20 [m·g/kg] * u_{80} [kg/m³] | Kein Zuschlag bei Neigung < 15° ! | |
| $0^\circ < \alpha \leq 5^\circ$ | 350 g/m² | | | |
| $5^\circ < \alpha \leq 10^\circ$ | 300 g/m² | | | |
| $10^\circ < \alpha \leq 15^\circ$ | 150 g/m² | | | |
| $15^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ | 100 g/m² | Kein Zuschlag bei „interner Feuchtespeicherfunktion“ | unbekannte oder glatte, hydrophobe Oberfläche | 0 g/m² |
| | | | Glatte, hydrophile oder fein strukturierte hydrophobe Oberfläche | 50 g/m² |
| | | | Grob strukturierte Oberfläche | 100 g/m² |

Zuschläge werden nur berücksichtigt, wenn in der Simulation der jeweilige neigungsabhängige **Mindestgrenzwert** überschritten wird.

Bewertung des Tauwasserablafrisikos in hydrophoben Faserdämmungen:

1. Ermittlung der Tauwassermenge im kritischen 10 mm dicken Bereich der Dämmung
 - Identifikation der Tauwasserebene mit Hilfe der WUFI®-Filmdarstellung (relative Feuchte erreicht 100 %) und Auswertung in WUFI® Graph
 - Alternativ: Abtrennung der relevanten 10 mm vor der (Neu-)Berechnung und Auswertung des Wassergehalts in dieser Schicht
2. Vergleich des Wassergehalts mit den Grenzwerten
 - Bleibt der Wassergehalt unter dem neigungsabhängigen Mindestgrenzwert (Folie 11) kann generell kein Tauwasser ablaufen.
 - Wird der Mindestgrenzwert überschritten, kann dieser erhöht werden: bei sorptiven Materialien durch den Materialzuschlag sowie bei stärkeren Neigungen ($> 15^\circ$ und Wände) durch den Oberflächenschlag.
 - Werden auch diese Grenzwerte überschritten, kann Tauwasserablauf nicht ausgeschlossen werden.

Beispiel Flachdach



○ - Monitorpositionen

⚡/🌬️ - Position von Wärme-/Feuchte-Quellen/Senken

Materialien:

| | | |
|---|--|---------|
|  | - Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK) | 0,3 m |
|  | - Dampfbremse (sd=2m) | 0,001 m |
|  | - Gipskartonplatte | 0,013 m |

Beispiel: Flachdach

Randbedingungen

| | |
|--|--|
| Standort: | Holzkirchen |
| Orientierung: | Nord |
| Neigung: | 5° |
| Kurzwellige Strahlungsabsorption α : | 0,8 (dunkel) |
| Langwellige Strahlungsemission ε : | 0,9 |
| Dachbahn: | $s_d = 300$ m (s_d -Wert an der Oberfläche) |
| Regenabsorption: | keine/ausgeschaltet |

Innenklima nach EN 15026 mit hoher Feuchtelast

Anfangsbedingung: Ausgleichsfeuchte bei 20°C und 80 % r.F.

Berechnungsstart: Anfang Oktober

Konvektiver Feuchteintrag Flachdach

Die DIN 68800-2 [5] schreibt die Berücksichtigung des konvektiven Feuchteintrags bei allen Holzbaukonstruktionen vor. Hierzu gibt es in WUFI® grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Feste Werte für die stationären Bewertungsverfahren wie z.B. Glaser
2. Variable Werte aus einem geeigneten Infiltrationsmodell in Abhängigkeit von Bauteildichtheit, Position und Randbedingungen für instationäre Simulationsverfahren wie z.B. WUFI®

| stationär | instationär |
|--|---|
| Trocknungsreserve von 100 g/m ² a (Wand) bzw. 250 g/m ² a (Dach) | Berechnung des Feuchteintrags über Infiltrationsmodell IBP [6] |

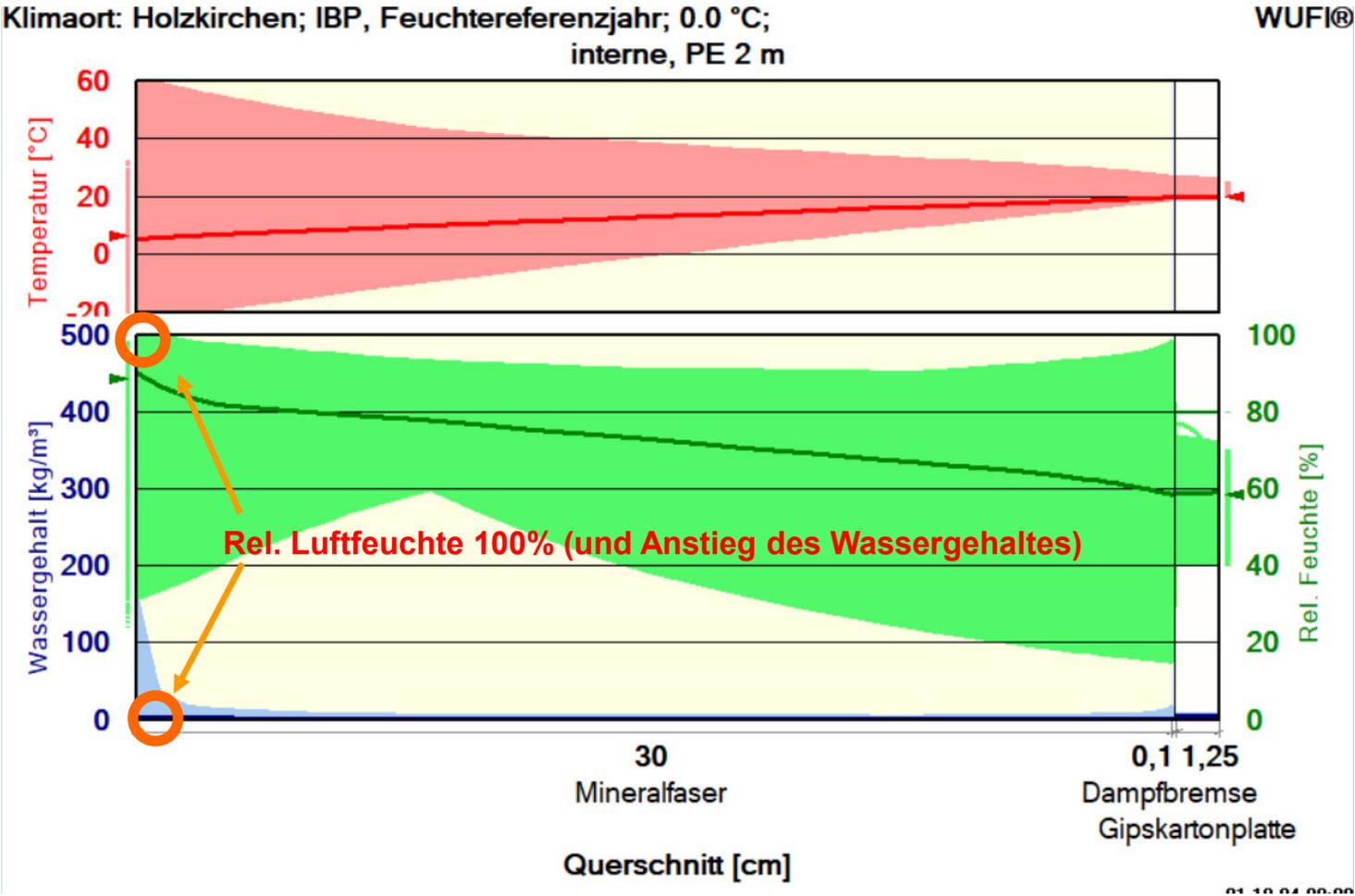
Konvektiver Feuchteintrag Flachdach

Da es sich bei der hygrothermischen Simulation um ein instationäres Verfahren handelt, wird das Luftinfiltrationsmodell des IBP [6] mit folgenden Randbedingungen verwendet.

Für das Beispiel werden angenommen:

- Höhe des zusammenhängenden beheizten Luftraumes: 5 m
- Luftdichtigkeitsklasse: B ($q_{50} = 3\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)
- Quellbereich: äußere 5 mm der Dämmung

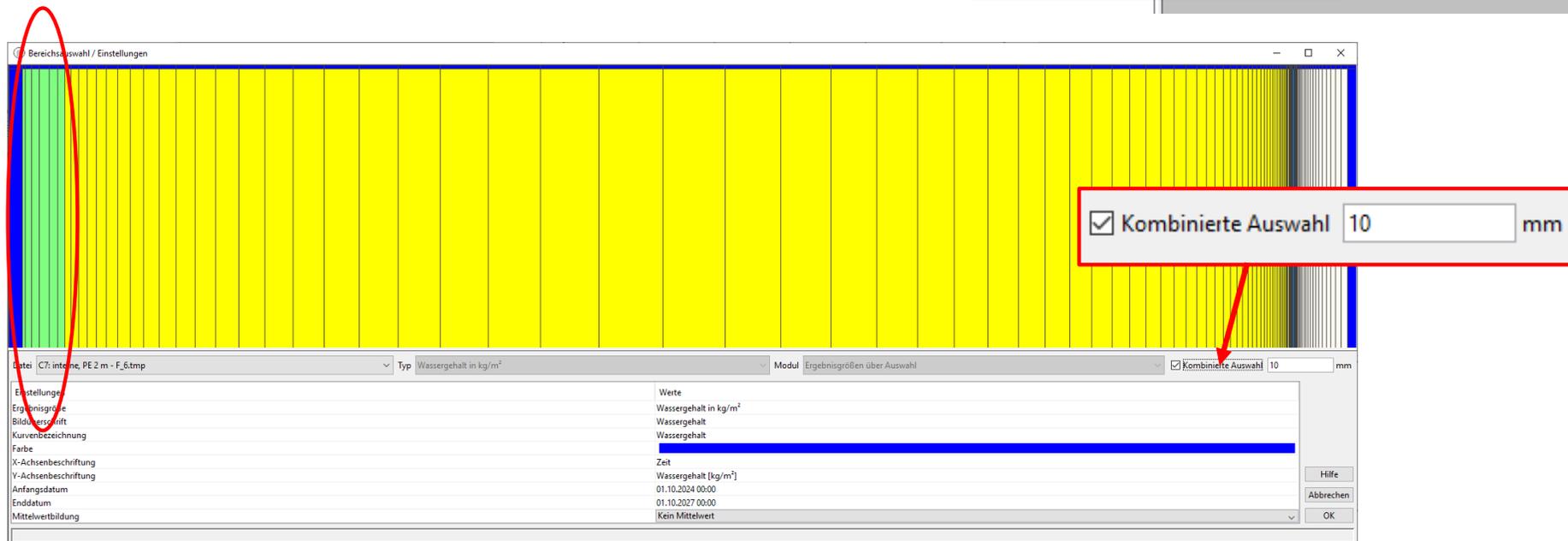
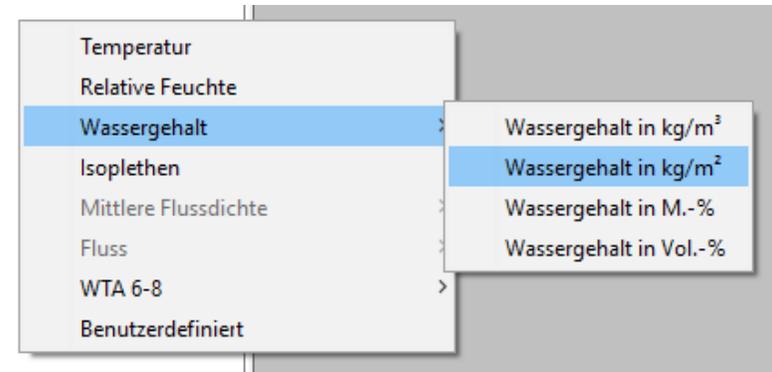
Beispiel Filmbetrachtung Flachdach



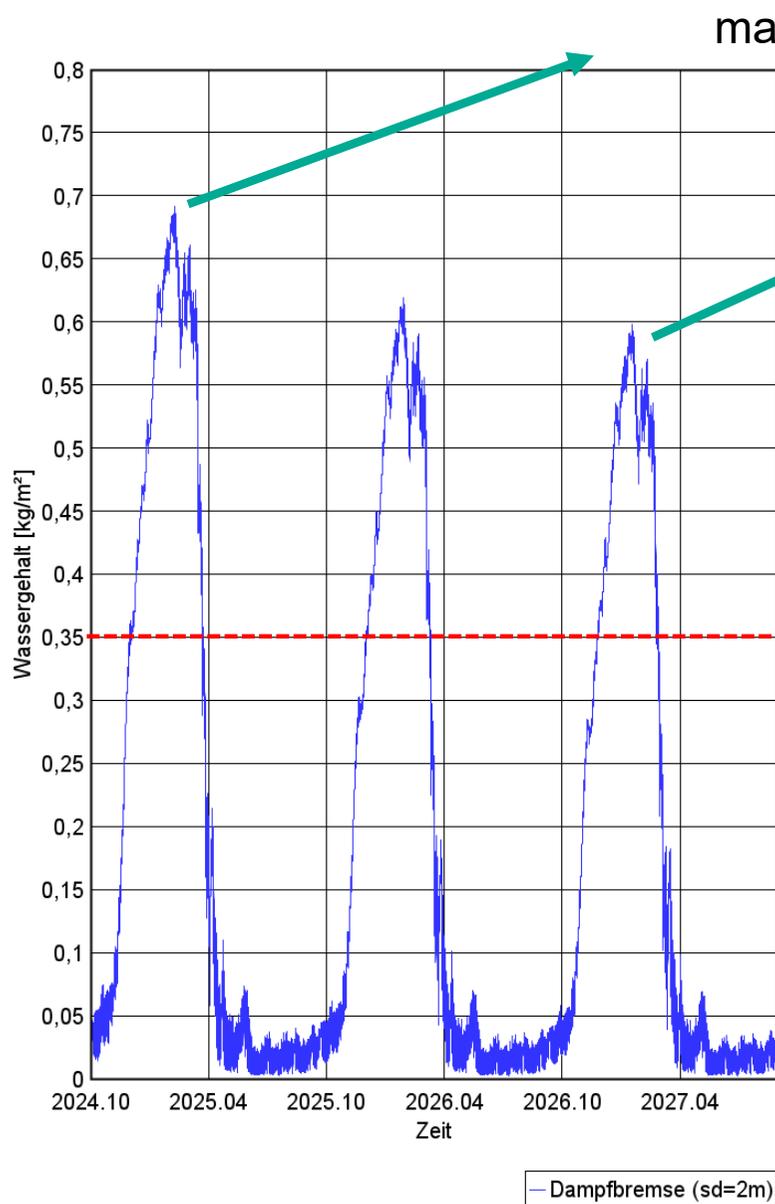
Beispiel Auswertung mit WUFI® Graph

In WUFI® Graph:

1. „Wassergehalt in kg/m²“ auswählen
2. Äußere 10 mm der Dämmschicht auswählen



Beispiel Auswertung mit WUFI® Graph



maximaler Wassergehalt (mit Einbaufeuchte)

0,69 kg/m² = 690 g/m²

maximaler Wassergehalt

(eingeschwungener Zustand)

0,6 kg/m² = 600 g/m²

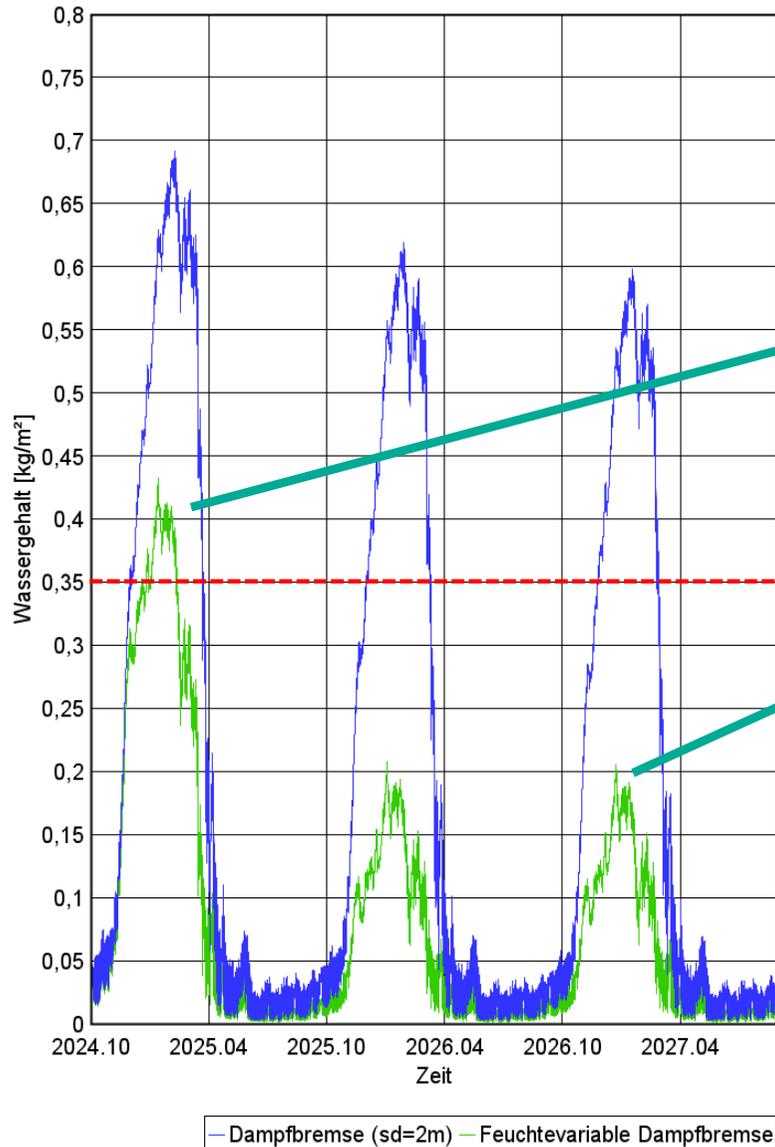
Grenzwert für die Neigung von 5 ° (350 g/m²)

(Kein Materialzuschlag, da für die verwendete Mineralfaser keine gemessene Feuchtespeicherfunktion hinterlegt ist.

Beim Verwenden eines Produkts mit gemessener Feuchtespeicherfunktion könnte der Grenzwert weiter erhöht werden. Kein Oberflächenschlag für die Neigung von 5°.)

Zulässige Tauwassermenge überschritten ⇒ Ablauf möglich!

Beispiel Auswertung mit WUFI® Graph



Verbesserungsmöglichkeit:

Austausch der Dampfbremse mit einem konstanten s_d -Wert von 2 m gegen eine feuchtevariable Variante (hier s_d : 0,04 – 27 m)

maximaler Wassergehalt (mit Einbaufeuchte)
 $0,42 \text{ kg/m}^2 = 420 \text{ g/m}^2$

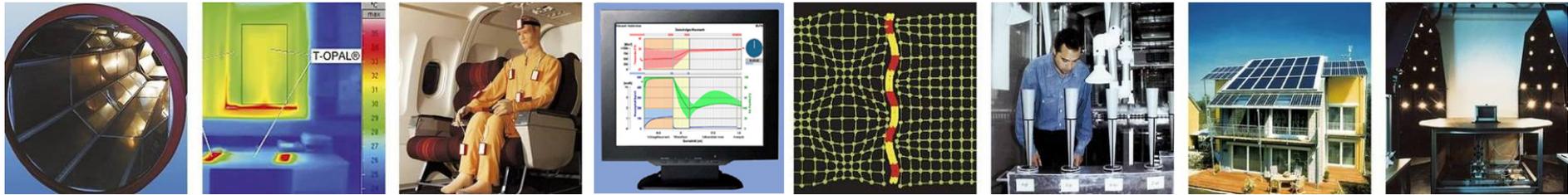
Grenzwert für die Neigung von 5° (350 g/m^2)

maximaler Wassergehalt
(eingeschwungener Zustand)
 $0,2 \text{ kg/m}^2 = 200 \text{ g/m}^2$

✓ **Kein Tauwasserablauf ab Jahr 2**

Hinweis: Im ersten Jahr wird der Grenzwert überschritten und ca. 80 g/m^2 Tauwasser könnten ablaufen. Diese Menge hängt vor allem von der angenommenen Anfangsfeuchte ab – ob eine solche Überschreitung wirklich auftritt und akzeptiert werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen.

- [1] EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Oberflächentemperatur zur Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren. Beuth Verlag, Mai 2013.
- [2] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag, März 2024.
- [3] Erarbeitung wissenschaftlich begründeter Bewertungskriterien und Implementierung eines Nachweisverfahrens für die schadenfreie energetische Bestandssanierung und Neubauplanung (NaVe). Forschungsbericht EnOB: Energieoptimierte Gebäude und Quartiere - dezentrale und solare Energieversorgung Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Förderkennzeichen:03ET1649 A/B, 2023
- [4] Janssens, A.: Reliable control of interstitial condensation in lightweight roof systems. Dissertation, Heverlee 1998. ISBN 90-5682-148-2
- [5] DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth Verlag, Februar 2022.
- [6] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B. und Borsch-Laaks, R.: Dampfkonnektion wird berechenbar –Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteeintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen. Proceedings 30. AIVC Conference, Berlin 2009.



WUFI® Leitfaden

Bewertung des Tauwasserablauf- risikos in hydrophoben Faserdämmstoffen