

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von geneigten Dächern

Stand: Juli 2023

Einführung.....	Folie 3
Hinweise zur Eingabe	
– Bauteilaufbau.....	Folie 4
– Feuchtequelle.....	Folie 5
– Orientierung / Neigung.....	Folie 7
– Oberflächenübergangskoeffizient.....	Folie 8
– Anfangsbedingungen.....	Folie 14
– Steuerung.....	Folie 15
– Klima.....	Folie 16
Hinweise zur Auswertung	
– Mineralwollgedämmung.....	Folie 18
– Holzfaserdämmung.....	Folie 19
– Holzschalung.....	Folie 20
Literatur.....	Folie 24
Beispiel: Geneigtes Dach mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung...	Folie 25
– Konstruktionsaufbau und Randbedingungen.....	Folie 26
– Bewertungsmatrix.....	Folie 28
– Vorgehen bei der Eingabe.....	Folie 29
– Vorgehen bei der Auswertung.....	Folie 39

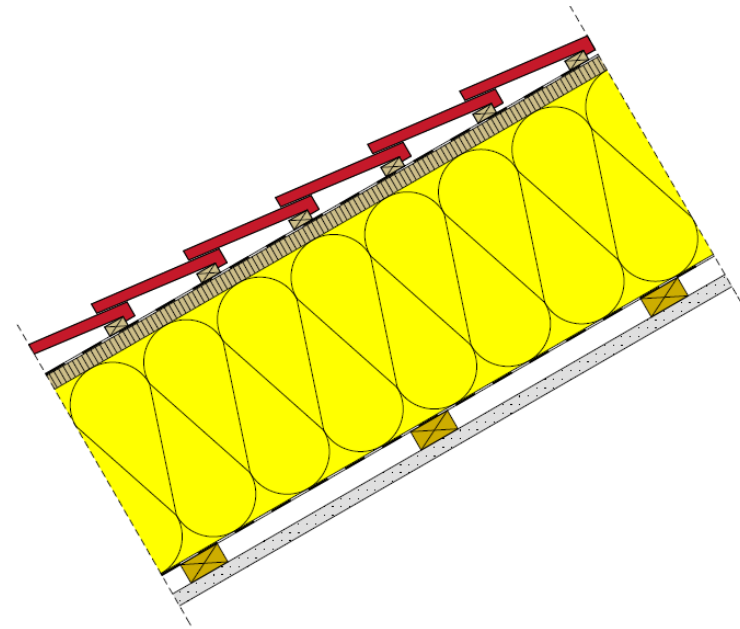
Einführung

Dieser Leitfaden erläutert das Vorgehen bei der Berechnung und Bewertung von geneigten Dächern mit flächig verlegter Dampfbremse.

Zur Beurteilung von Konstruktionen mit einer schlaufenförmigen Verlegung der Dampfbremse um die Sparren kann folgender Leitfaden herangezogen werden: [„Berechnung einer schlaufenförmigen Verlegung von Dampfbremsen“](#)

Es werden zunächst alle notwendigen Eingabedaten sowie die Auswertekriterien beschrieben.

Anschließend wird das Vorgehen von der Eingabe bis zur Auswertung exemplarisch an einem Beispielfall erläutert.



Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Ziegeleindeckung

Die belüftete Eindeckung wird bei der Simulation durch effektive Übergangparameter z.B. entsprechend Kölsch [1] direkt auf der Oberfläche des Unterdachs ersetzt.

Unterdeckbahn / Witterungsschutzbahn

Die Unterdeckbahn / Witterungsschutzbahn wird nicht als Bauteilschicht mitberechnet, sondern als s_d -Wert bei den Oberflächenübergangparametern berücksichtigt. Dies führt zu praktisch identischen Ergebnissen, beschleunigt die Berechnung aber u.U. erheblich gegenüber einer Berücksichtigung der Dachbahn im Bauteilaufbau.

Darunter liegender Dachaufbau

Die darunter liegenden Schichten sind entsprechend dem Aufbau in der Gefach-Achse einzugeben.

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchteintrag durch Infiltration

Die in Abhängigkeit von der Luftdichtheit konvektiv in die Konstruktion eindringende Feuchtemenge ist nach DIN 68800:2012 [2] bei Holzbaukonstruktionen immer mit zu betrachten und wird in der Simulation über das Infiltrationsmodell IBP berücksichtigt.

Die Feuchtequelle ist im Bauteilaufbau an der Position anzusetzen, an der in der Praxis das Tauwasser ausfallen würde - i.d.R. ist auf dies vor der zweiten luftdichten Ebene auf der Kaltseite des Bauteils.

Bei Dächern empfehlen wir folgende Einstellungen:

- mit Holzschalung: Feuchtequelle in den innersten 5 mm der Holzschalung
- ohne Holzschalung: Feuchtequelle in den äußeren 5 mm der Faserdämmung

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchteintrag durch Infiltration

Die Menge der im Winter eingetragenen Feuchte wird im Programm automatisch aus dem Überdruck aufgrund des thermischen Auftriebs im Gebäude (Temperaturdifferenz zwischen außen und innen sowie angegebener Luftraumhöhe), der Innenraumluftfeuchte und der anzugebenden Luftdichtheit der Gebäudehülle bestimmt [3].

Weitere Informationen zur Verwendung der Infiltrationsquelle in WUFI® finden sie hier: [„Verwendung der Infiltrationsquelle in WUFI“](#)

Bauteil - Orientierung

Orientierung

Die maßgebliche Orientierung ist i.d.R. Nord, da hier die geringsten Strahlungsgewinne auftreten. Alternativ kann bei spezifischen Projekten die ungünstigste reale Orientierung verwendet werden.

Dachneigung

Die Neigung des Daches ist entsprechend der geplanten Dachneigung anzugeben.

Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Wärmeübergangskoeffizient an der Außenoberfläche

Der Wärmeübergangskoeffizient wird entsprechend den folgenden Tabellen nach Kölsch [1] angesetzt; der Wert für die langwelligen Strahlungsanteile ist dabei mit 0 W/m²K anzugeben, da die Strahlung explizit berechnet wird.

Üblicherweise kann von „normal belüftet“ ausgegangen werden!

Stark belüftet	$a_{k,e} = 30 \text{ [W/m}^2\text{K]}$
Normal belüftet	$a_{k,e} = 19 \text{ [W/m}^2\text{K]}$
Schwach belüftet	$a_{k,e} = 13,5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

$a_{k,e}$: konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Stark belüftet	Traufe völlig geöffnet ohne Gitter o.Ä.	First offen mit geringem Strömungswiderstand	
Normal belüftet	Trauföffnung mit Insektenschutzgitter oder Traufkamm	First mit Gratrolle verschlossen	
Schwach belüftet	Geringer Öffnungsquerschnitt an der Traufe	Geringer Öffnungsquerschnitt am First	Keine Konterlattung vorhanden

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

s_d -Wert an der Außenoberfläche

Die Unterdeckbahn/Witterungsschutzbahn wird nicht als Bauteilschicht berücksichtigt, sondern als s_d -Wert in den Oberflächenübergangsparametern angegeben.

Auf dem Markt werden Unterdeckbahnen mit s_d -Werten von weniger als 0,1 m angeboten. Da sich dieser Wert durch Staub und Ablagerungen u.U. noch erhöhen kann, sollte entsprechend dem Hinweis in DIN 4108-3, Anhang A [4] der s_d -Wert der Unterdeckbahn in der Berechnung mit minimal 0,1 m angesetzt werden.

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

s_d -Wert an der Außenoberfläche

Hinweis für Konstruktionen mit saugfähiger Unterdeckung:

Bei Dachaufbauten mit einer außenseitigen Holzschalung ist ein zusätzlicher s_d -Wert an der Außenoberfläche von 0,01 m anzusetzen, um eine unrealistisch hohe Kondensatbildung auf der Unterdeckung, die durch das Fehlen der Ziegeleindeckung in der Simulation hervorgerufen wird, zu vermeiden.

Eine detailliertere Erläuterung dazu finden Sie hier:

[„Berechnung von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern“](#) (Kapitel 8)

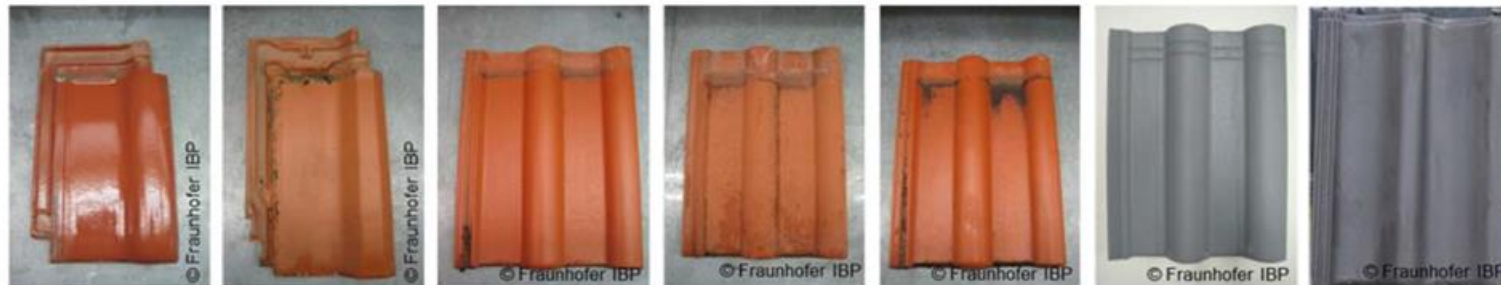
Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl ist in Abhängigkeit von der Farbgebung der Eindeckung zu wählen (Beispiele unten bzw. rechts) und ggf. entsprechend Kölsch [1] zu reduzieren (Tabelle auf nächster Folie).

Rote Dachziegel	$a = 0,67 - 0,78$
Graue Dachziegel	$a \sim 0,85$
Dunkle Dachziegel	$a = 0,9 - 0,94$



Hochglanz	Ziegelrot	Seidenmatt	Matt verwittert	Naturrot matt	Hellgrau	Schwarz
0,72	0,74	0,75	0,76	0,78	0,85	0,94

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Kurzweilige Strahlungsabsorptionszahl

Zur Bewertung typischer Verhältnisse kann die mittlere Stelle herangezogen werden, insbesondere, wenn sich die kälteste Stelle (30 cm Abstand zur Trauföffnung) noch im Bereich des Dachüberstandes befindet.

	Kälteste Stelle	Mittlere Stelle	Wärmste Stelle
Stark belüftet	$a_e = a \cdot 0,7$	$a_e = a \cdot 0,9$	$a_e = a$
Normal belüftet	$a_e = a \cdot 0,7$	$a_e = a \cdot 0,9$	$a_e = a$
Schwach belüftet	$a_e = a \cdot 0,75$	$a_e = a \cdot 0,9$	$a_e = a$

a_e : effektiver Absorptionsgrad

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Langwellige Strahlungsemissionszahl

Die langwellige Strahlungsemission ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Ziegel / Dachsteine und liegt zwischen 0,82 und 0,91.

Dachziegel hochglanz-glasiert	$\epsilon \sim 0,82$
Dachziegel matt	$\epsilon \sim 0,84$
Dachsteine allgemein	$\epsilon = 0,9 - 0,91$

Die explizite Strahlungsbilanz ist bei Dächern aufgrund des großen Blickfeldes zum Himmel grundsätzlich einzuschalten, um die Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung zu berücksichtigen.

Anhaftender Anteil des Regens

Da die Ziegeleindeckung auch den Niederschlag abhält, muss die Regenwasserabsorption ausgeschaltet werden (die Auswahl eines s_d -Wertes an der Oberfläche beeinflusst ausschließlich das Diffusionsverhalten und nicht den Flüssigtransport).

Bauteil – Anfangsbedingungen

Anfangstemperatur und -feuchte:

Als Voreinstellung sollte eine konstante relative Anfangsfeuchte von 80 % und eine Anfangstemperatur von 20 °C angesetzt werden.

Sind erhöhte Einbaufeuchten bekannt, können diese für jede einzelne Schicht separat angegeben werden.

Steuerung

Zeit / Profile:

Ein Berechnungsstart am 1. Oktober wird empfohlen, da das Bauteil in den anschließenden Wintermonaten zuerst meist noch weiter auffeuchtet, bevor im Frühjahr evtl. eine Austrocknung einsetzt.

Dieses Startdatum stellt also i.d.R. einen ungünstigen Fall dar.

Die Rechendauer ist abhängig davon, wann die Konstruktion den eingeschwungenen Zustand erreicht. Meist ist eine Rechenzeit von 5 Jahren ausreichend. Bei diffusionsoffenen Bauteilen ist tendenziell von kürzeren, bei diffusionsdichten Bauteilen von längeren Berechnungszeiten auszugehen.

Numerik:

Bei der Numerik können die Voreinstellungen übernommen werden.

Klima

Außenklima:

Es sollte ein für den Gebäudestandort geeignetes Klima verwendet werden.

Hier bieten sich die hygrothermischen Referenzjahre (HRY) an, welche im Rahmen eines Forschungsprojekts [5] für 11 Standorte in Deutschland erstellt wurden. Diese Standorte sind für die jeweilige Klimaregion typisch. Nähere Informationen hierzu in der *WUFI®-Hilfe (F1) → Thema: Hygrothermische Referenzjahre*

Der Standort Holzkirchen gilt für viele Anwendungsgebiete als kritisch repräsentativ für Deutschland. Allerdings können vor allem bei der Beurteilung von Dächern Standorte mit weniger Strahlung ggf. ungünstiger sein.

Klima

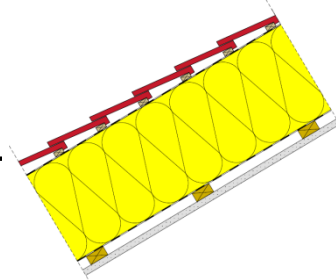
Innenklima:

Standardmäßig empfehlen wir für die Bemessung das Innenklima mit normaler Feuchtelast + 5% nach WTA-Merkblatt 6-2 [6] bzw. DIN 4108-3 Anhang D [4].

Alternativ kann je nach Nutzung des Gebäudes auch das Innenklima nach EN 15026 [7] mit normaler bzw. hoher Feuchtelast angesetzt werden.

Dächer mit Mineralwolledämmung und Unterdeckbahn

Solche Konstruktionen weisen im Regelquerschnitt keine feuchteempfindlichen Materialien auf. Lediglich an der Unterdeckbahn kann es aufgrund des im Vergleich zur Dämmung höheren Diffusionswiderstands ggf. zu temporär erhöhten Feuchten oder Tauwasserbildung kommen.



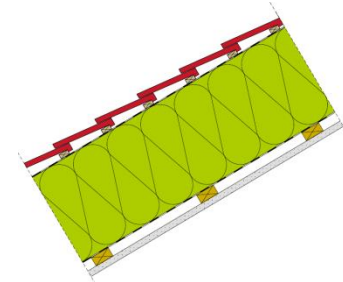
Zur Beurteilung der Ergebnisse werden die an der Unterdeckbahn anfallenden Tauwassermengen herangezogen. Ausgewertet wird hierfür der maximale Wassergehalt in $[\text{kg}/\text{m}^3]$ im äußeren Bereich der Mineralfaserdämmung. Hier wird zwischen Dämmstoffen mit interner Feuchtespeicherfunktion bzw. mit gemessener Feuchtespeicherfunktion unterschieden. Nähere Informationen hierzu im Leitfaden:

[„Tauwasserauswertung in hydrophoben Mineralfaserdämmungen“](#)

Als allgemeiner Grenzwert wird die in EN ISO 13788 von 2011 [8] angegebene Tauwassermenge von $200 \text{ g}/\text{m}^2$ (Umrechnung erforderlich) empfohlen. Ab dieser Menge besteht das Risiko für ein Abfließen des Tauwassers.

Dächer mit Holzfaserdämmung und Unterdeckbahn

Bei Konstruktionen, die eine Holzfaserdämmung zwischen den Sparren aufweisen, erfolgt eine Auswertung der Holzfeuchte in der Holzfaserdämmung.

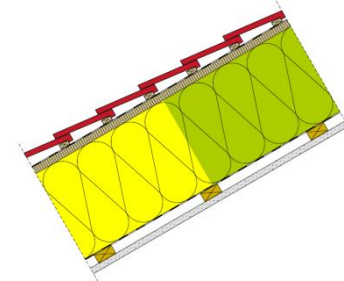


Ausgewertet wird hierfür die Holzfeuchte in [M.-%] im äußeren Zentimeter der Holzfaserdämmung im eingeschwungenen Zustand. Der Verlauf ist eingeschwungen, wenn sich der Wassergehalt nur noch im Jahresverlauf, jedoch nicht mehr von einem Jahr zum Nächsten ändert.

Zur Bewertung kann auf den allgemeinen Grenzwert von 18 M.-% aus der DIN 68800 [1] zurückgegriffen werden, der für bis zu drei Monate im Jahr bis maximal 20 M.-% überschritten werden darf. Alternativ kann der Hersteller gewährleisten, bis zu welchen Holzfeuchten sein Produkt eingesetzt werden darf.

Dächer mit Dämmung und Holzschalung

Bei Konstruktionen mit außenseitiger Holzschalung wird die Zwischensparrendämmung (Mineralwolle oder Holzfaser) entsprechend [Folie 18+19](#) beurteilt.



Zur Bewertung der Holzschalung wird der Verlauf der Holzfeuchte in [M.-%] in der Holzschalung im eingeschwungenen Zustand herangezogen. Als Grenzwert wird der in der DIN 68800 [2] angegebene Wert von 20 M.-% für Holz bzw. 18 M.-% für Holzwerkstoffe empfohlen. Wird diese Grenzfeuchte nicht überschritten, ist keine weitere Auswertung notwendig.

Überschreitet die Holzfeuchte den Grenzwert nach DIN kann zusätzlich eine Auswertung nach dem neuen WTA-Merkblatt 6-8 [9] durchgeführt werden. Dieses erlaubt eine genauere Bewertung unter Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse.

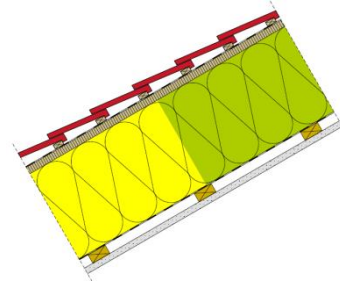
Dächer mit Dämmung und Holzschalung

Auswertung nach DIN 68800 [2]

Feuchtetechnisch kritische Verhältnisse bezüglich einer Schädigung des Holzes können bei langfristigem Überschreiten des in der DIN 68800 [2] angegebenen Grenzwertes der Holzfeuchte von 20 M.-% für Holz bzw. 18 M.-% für Holzwerkstoffe auftreten.

Dieser Grenzwert beinhaltet jedoch hohe Sicherheiten und es werden im Unterschied zum WTA-Merkblatt keine Vorgaben zum Auswertebereich gemacht. Bei dünnen Schalungen kann die ganze Schalungsdicke ausgewertet werden, ansonsten sollte in Anlehnung an die WTA-Auswertung der kritischste 1 cm dicke Teilbereich herangezogen werden.

Bleibt die Holzfeuchte unter den o.g. Grenzwerten, ist keine weitere Auswertung mehr notwendig.

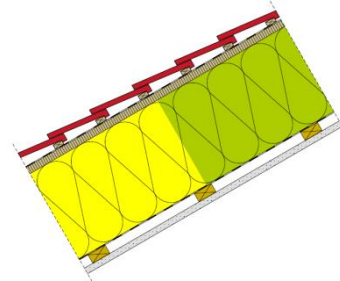


Dächer mit Dämmung und Holzschalung

Auswertung nach WTA-Merkblatt 6-8 [9]

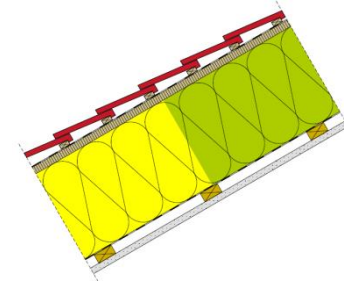
Wird der Grenzwert für Holz von 20 M.-% nach DIN 68800 [2] überschritten, kann zusätzlich eine Auswertung nach dem neuen WTA-Merkblatt 6-8 [9] durchgeführt werden. Hier erfolgt die Bewertung von Holzkonstruktionen anhand temperaturabhängiger Grenzwerte für die relative Porenluftfeuchte in einer 1 cm dicken Schicht an der maßgeblichen Position des Holzes. Dies erlaubt eine genauere und realitätsnahe Bewertung.

Diese Auswertung ist nicht zulässig für Holzwerkstoffe, da hier ggf. andere Grenzwerte für Fäulnisprozesse gelten.



Dächer mit Dämmung und Holzschalung

Auszug aus dem WTA-Merkblatt 6-8 [9]:



6.4 Bewertung von Simulationsergebnissen

Die Auswertung erfolgt nach zwei Kriterien:

- Die Bewertung bezüglich holzerstörender Pilze erfolgt bei Holz über die mittlere Porenlufffeuchte der maßgebenden (kritischen) 10 mm Schicht.
- Für die Beurteilung der konstruktiven Aspekte (siehe Abschnitt 6.5) wird die mittlere Holzfeuchte der gesamten Materialschicht herangezogen (Holz und Holzwerkstoffe). Bei vielen Holzwerkstoffen ist dies das maßgebende Beurteilungskriterium.

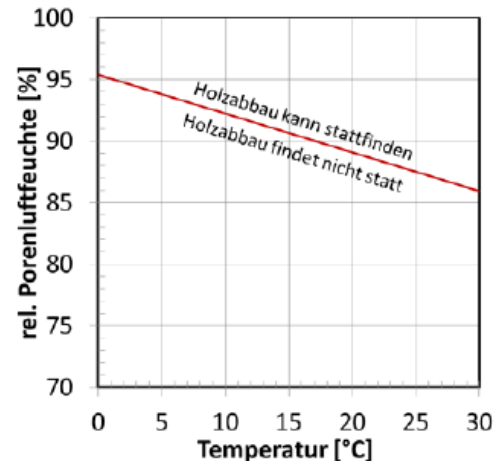
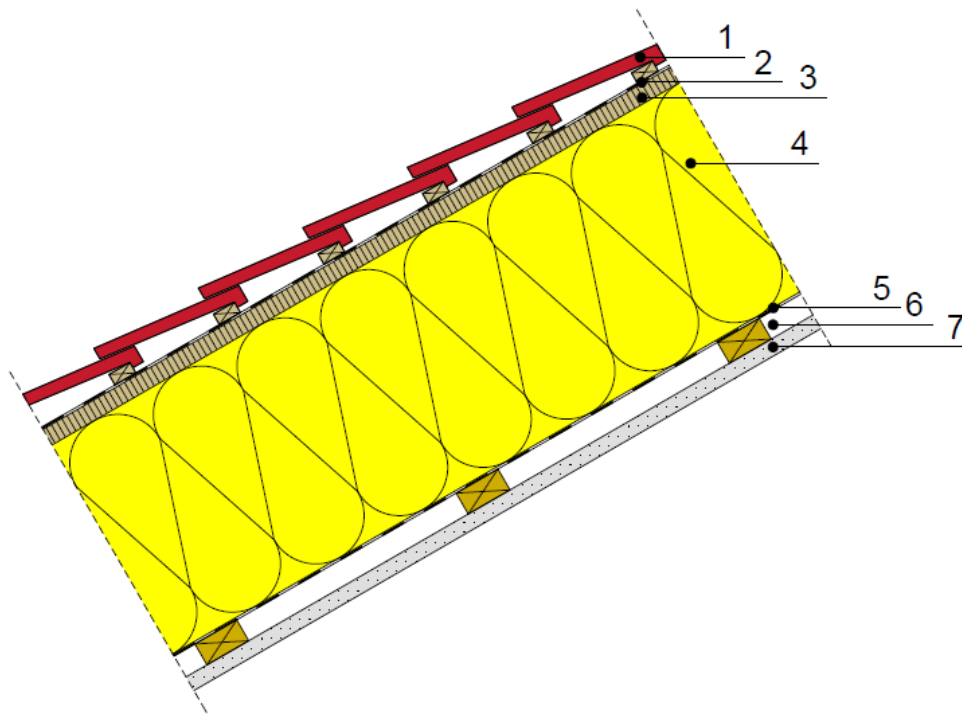


Abbildung 1: Grenzkurve der rel. Porenlufffeuchte bezogen auf die Temperatur einer 10 mm dicken Holzschicht, die im Tagesmittel nicht überschritten werden darf.

- [1] Kölsch, Ph.: Hygrothermische Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern. 2015. ([Berechnung von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern](#))
- [2] DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth Verlag, Februar 2022.
- [3] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B. und Borsch-Laaks, R.: Dampfkonvektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen. Proceedings 30. AIVC Conference, Berlin 2009.
- [4] DIN 4108-3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag, Oktober 2018.
- [5] Forschungsbericht: Energieoptimiertes Bauen: Klima- und Oberflächenübergangsbedingungen für die hygrothermische Bauteilsimulation. IBP-Bericht HTB-021/2016. Durchgeführt im Auftrag vom Projektträger Jülich (PTJ UMW). Juli 2016.
- [6] WTA-Merkblatt 6-2: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Dezember 2014.
- [7] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth Verlag, Juli 2007.
- [8] DIN 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.
- [9] WTA-Merkblatt 6-8: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulationen. August 2016.

Beispiel: Geneigtes Dach mit Mineralwolledämmung + Holzschalung

Am Beispiel eines Steildaches mit Mineralwolledämmung und Holzschalung wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Eingabe und der Beurteilung von geneigten Dachkonstruktionen beschrieben.



- 1 Eindeckung und Lattung
- 2 Witterungsschutzbahn
- 3 Holzschalung
- 4 Dämmung
- 5 Dampfbremse
- 6 Installationsebene
- 7 Gipskartonplatte

Aufbau (von außen nach innen):

- rote Dachsteine
- Witterungsschutzbahn ($s_d = 0,01$ m)
- Holzschalung (Weichholz) 0,025 m
- Mineralfaser (Wärmeleitfähigk.: 0,04 W/mK) 0,24 m
- feuchtevariable Dampfbremse (Intello Plus) 0,001 m
- Luftschicht 0,02 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

Randbedingungen:

- Steildach (30° nach Norden geneigt)
- rote Dachsteine
($a = 0,67$; $\varepsilon = 0,9$)
- normal belüftetes Dach (mittlere Stelle)
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: Bemessungsklima nach DIN 4108-3
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$
- Höhe der Luftsäule: 5 m

Beispiel: Bewertungsmatrix

Bewertungsmatrix:

In der folgenden Bewertungsmatrix sind die für diese Konstruktion maßgeblichen Bewertungskriterien angegeben.

	Kriterium
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering?
	Wenige oder keine Konvergenzfehler?
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt eingeschwungen?
	Tauwasser in der Dämmebene?
	Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach DIN 68800 bzw. WTA 6-8)

Beispiel: Eingabe – Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Pro 6.6

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
 - Steuerung
 - Klima

Variante: 1 geneigtes Dach (Akt.)

Variante: geneigtes Dach

Aufbau/Monitorpositionen | Orientierung/Neigung/Höhe | Oberflächenübergangskoeff. | Anfangsbedingungen

Schichtname: Gipskartonplatte

Dicke [m]: 0,0125

Außen (linke Seite): 0,025 | 0,24 | Innen (rechte Seite): 0,00;0,0;0,0125

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

Bild

Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (II)

100 | Fein

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Gesamtdicke: Dicke: 0,299 m

Wärmeschutzeigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 6,45 (m² K)/W

U-Wert 0,151 W/(m² K)

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Dachaufbau ohne Ziegeleindeckung und Witterungsschutzbahn eingeben

ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Infiltrationsquelle nach DIN 68800 in der Holzschalung berücksichtigen.

The screenshot displays the WUFI Pro 6.6 software interface. The main window shows a cross-section of a building assembly with various layers. A green box highlights the 'Quellen und Senken' (Sources and Sinks) button in the 'Bauteil' (Component) panel. Another green box highlights the 'Bauteilschicht markieren' (Mark component layer) button. A dialog box titled 'Hygrothermische Quellen' (Hygrothermal Sources) is open, showing the 'Weichholz' (Softwood) layer selected. The dialog includes a table for defining moisture sources and buttons for 'Neue Feuchtequelle...' (New Moisture Source...), 'Neue Wärmequelle...' (New Heat Source...), 'Neue Luftwechselquelle...' (New Air Exchange Source...), 'Bearbeiten...' (Edit...), and 'Löschen' (Delete). The 'OK', 'Abbrechen' (Cancel), and 'Hilfe' (Help) buttons are at the bottom of the dialog.

Quellen und Senken

Bauteilschicht markieren

Neue Feuchtequelle

Hygrothermische Quellen

Schicht/Materialname: Weichholz

Nr.	Typ	Bezeichnung
-----	-----	-------------

Buttons: Neue Wärmequelle..., Neue Feuchtequelle..., Neue Luftwechselquelle..., Bearbeiten..., Löschen

Buttons: OK, Abbrechen, Hilfe

Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren 5 mm der Holzschalung.

Feuchtequelle

Bezeichnung Infiltrationsquelle **Innere 5 mm der Holzschalung**

Verteilungsbereich

- Ein Element
- Mehrere Elemente
- Ganze Schicht

Quellentyp

- instationär aus Datei
- Anteil der Regenbelastung
- Luftinfiltrationsmodell IBP
- konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]

- keine Begrenzung
- Begrenzung auf max. Wassergehalt
- Begrenzung auf freie Wassersättigung
- Benutzerdefiniert

Starttiefe in Schicht [m] 0,02

Endtiefe in Schicht [m] 0,025

Durchströmung der Hülle q50 [m³/(m² h)]

3 Luftdichtigkeitsklasse B (DIN 4108 mit Prüfung <= 3 m²/m)

Höhe der Luftsäule [m] 5

Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa] 0

Infiltrationsquelle anpassen

OK Abbrechen Hilfe

Beispiel: Eingabe – Orientierung / Neigung

Eingabe: Bauteil - Orientierung

WUFI Pro 6.6

Projekt Eingaben Rechen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Variante: geneigtes Dach

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Orientierung

Neigung

Höhe/Schlagregenkoeffizienten

Regenbelastung nach ASHRAE Standard 160

R1 [-] 1

R2 [s/m] 0

Hinweis:
Regenbelastung =
Regen*(R1 + R2*Vwind)

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel: Eingabe – Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)]	19	Benutzerdefiniert
beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m² K)]	0	
Windabhängig	<input type="checkbox"/>	...
sd-Wert [m]	0,01	Benutzerdefiniert
Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme		
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]	0,603	Benutzerdefiniert
Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]	0,9	
Abminderungsfaktoren wegen Verschattung:		
auf Absorptionszahl [-]	1,0	Keine Verschattung
auf Emissionszahl [-]	1,0	
Explizite Strahlungsbilanz	<input checked="" type="checkbox"/>	...
Hinweis: diese Option dient u.a. zur Berücksichtigung der Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung. In sensitiven Fällen sind hinreichend genaue Gegenstrahlungsdaten erforderlich.		
Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]	0,2	Standardwert
Anhaftender Anteil des Regens [-]	----	Keine Regenwasserabsorption

Innenoberfläche (rechte Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)]	8,0	(Benutzerdefiniert)
sd-Wert [m]	----	Keine Beschichtung

**Wärmeübergangskoeffizient für ein normal belüftetes Dach = 19 W/m²K
Hinweis: langwellige Strahlungsanteile auf 0 setzen!**

s_d-Wert der Witterungsschutzbahn = 0,01 m

Farbgebung der Eindeckung für mittlere Stelle (a_e = a · 0,9 = 0,67 · 0,9 = 0,603)

Explizite Strahlungsbilanz einschalten (ε = 0,9)!

Keine Regenwasserabsorption!

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel: Eingabe – Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.6 software interface. The main window is titled 'Variante: geneigtes Dach' and has several tabs: 'Aufbau/Monitorpositionen', 'Orientierung/Neigung/Höhe', 'Oberflächenübergangskoeff.', and 'Anfangsbedingungen'. The 'Anfangsbedingungen' tab is active. It contains two sections for initial conditions in the component:

- Anfangsfeuchte im Bauteil:** Radio buttons for 'Über das Bauteil konstant' (selected), 'In den einzelnen Schichten', and 'Aus Datei einlesen'.
- Anfangstemperatur im Bauteil:** Radio buttons for 'Über das Bauteil konstant' (selected) and 'Aus Datei einlesen'.

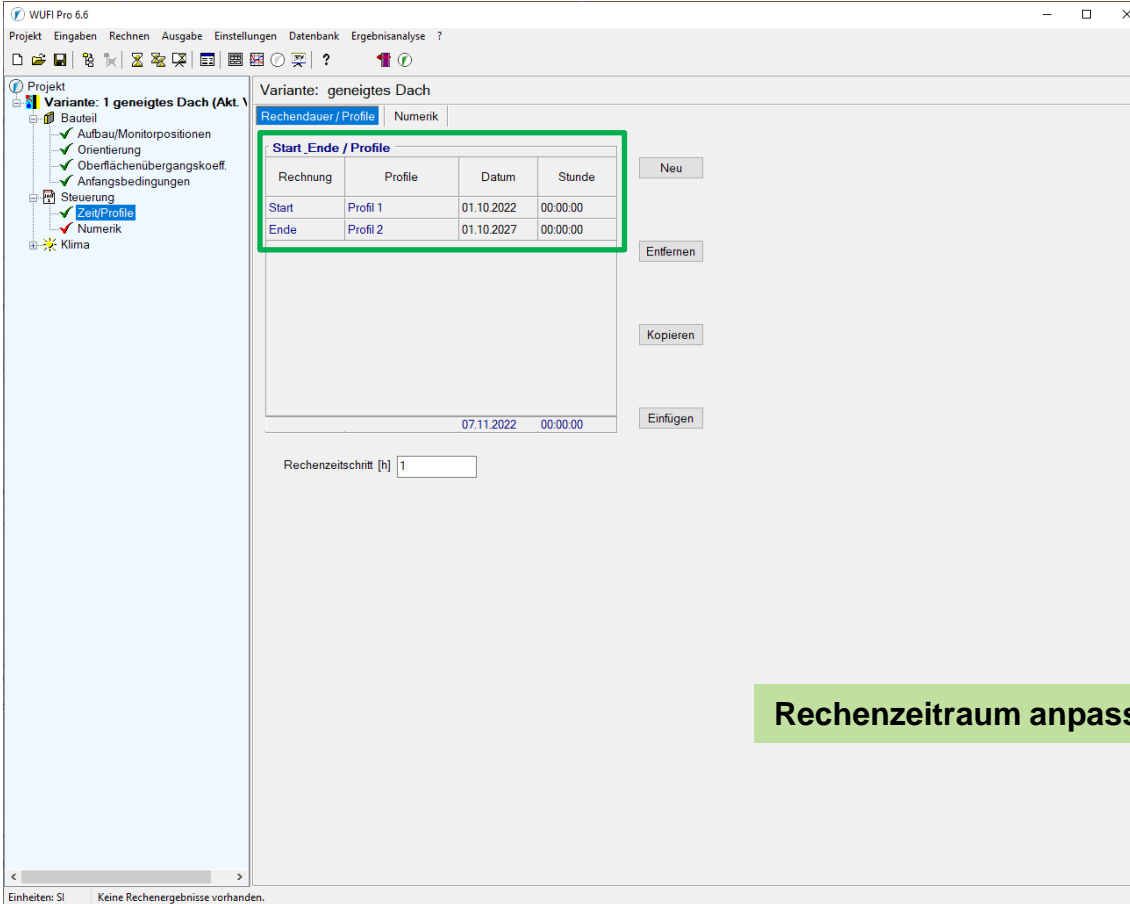
Below these sections are input fields for 'Relative Anfangsfeuchte [-]' (0.8) and 'Anfangstemperatur im Bauteil [°C]' (20). A table titled 'Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten' is also present:

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Weichholz	0,025	60,0
2	Mineralfaser (Wärmeleit. 0,04 W/mK)	0,24	1,79
3	INTELLO PLUS (ETA)	0,001	6,7
4	Luftsicht 20 mm	0,02	1,88
5	Gipskartonplatte	0,0125	6,3

A green box at the bottom right of the interface contains the text: **Keine Änderungen erforderlich**.

Beispiel: Eingabe – Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile



The screenshot shows the WUFI Pro 6.6 software interface. The main window is titled 'Variante: geneigtes Dach'. On the left, a project tree shows 'Steuerung' with 'Zeit/Profile' selected. The main area displays a table for 'Start_Ende / Profile' with the following data:

Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2022	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2027	00:00:00

Below the table, there is a text input field showing '07.11.2022 00:00:00' and a 'Rechenzeitschritt [h]' field with the value '1'. A green callout box on the right side of the interface contains the text 'Rechenzeitraum anpassen'.

Beispiel: Eingabe – Numerik

Eingabe: Steuerung – Numerik

The screenshot displays the WUFI Pro 6.6 software interface. The main window title is 'WUFI Pro 6.6'. The menu bar includes 'Projekt', 'Eingaben', 'Rechnen', 'Ausgabe', 'Einstellungen', 'Datenbank', and 'Ergebnisanalyse'. The project tree on the left shows a hierarchy: 'Projekt' > 'Variante: 1 geneigtes Dach (Akt.)' > 'Bautail' > 'Steuerung' > 'Numerik'. The main settings panel is titled 'Variante: geneigtes Dach' and shows the 'Rechendauer / Profile' set to 'Numerik'. The 'Berechnungsart' (Calculation type) section has 'Wärmetransportberechnung' and 'Feuchttransportberechnung' checked. The 'Hygrothermische Sondereinstellungen' (Hygrothermal special settings) section has several options unchecked: 'Ohne Kapillarleitung', 'Ohne Latentwärme dampfförmig-flüssig', 'Ohne temperaturabhängige Verdampfungsenthalpie', 'Ohne Latentwärme flüssig-fest', and 'Ohne Temperatur- und Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit'. The 'Numerische Parameter' (Numerical parameters) section has 'Erhöhte Genauigkeit' and 'Konvergenzverbesserung' checked. The 'Adaptive Zeitschrittsteuerung' (Adaptive time step control) section has 'Einschalten' unchecked. The 'Geometrie' (Geometry) section has 'Kartesisch' selected with a radio button, and 'Radialsymmetrisch' is unselected. A green callout box at the bottom right contains the text 'Keine Änderungen erforderlich'. The status bar at the bottom left shows 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.'

Beispiel: Eingabe - Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)

The screenshot displays the WUFI Pro 6.6 software interface. On the left, a project tree shows the 'Klima' (Climate) section expanded, with 'Außen (linke Seite)' (Outdoor) selected. The main window shows the 'Außenklima (linke Seite)' tab. A green box highlights the 'Klima wählen...' button next to the text 'Holzkirchen; IBP, Feuchterferenzjahr'. A green callout box with the text 'Standort auswählen' (Select location) points to this area. The interface includes three charts: 'Temperatur [°C]' (Temperature), 'Relative Feuchte [%]' (Relative Humidity), and 'Globalstrahlung' (Global Radiation). The right sidebar shows 'Datei-Info' (File Info) and 'Klimaelemente' (Climate Elements) with various parameters like location, coordinates, and radiation types.

WUFI Pro 6.6
Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Variante: 1 geneigtes Dach (Akt.)
Bauteil
Aufbau/Monitorpositionen
Orientierung
Oberflächenübergangskoeff.
Anfangsbedingungen
Steuerung
Zeit/Profile
Numerik
Klima
Außen (linke Seite)
Innen (rechte Seite)

Variante: geneigtes Dach
Außenklima (linke Seite) Innenklima (rechte Seite)

Aus Karte / Datei DIN 4108 / EN 15026 / WTA 6-2 ISO 13788 ASHRAE 160 Sinuskurve

Holzkirchen; IBP, Feuchterferenzjahr Klima wählen... Erweitert...

Temperatur / Relative Feuchte Klimaanalyse

Temperatur [°C]

Relative Feuchte [%]

Zusätzliche Diagramme Globalstrahlung

Globalstrahlung

ISGH [W/m²]

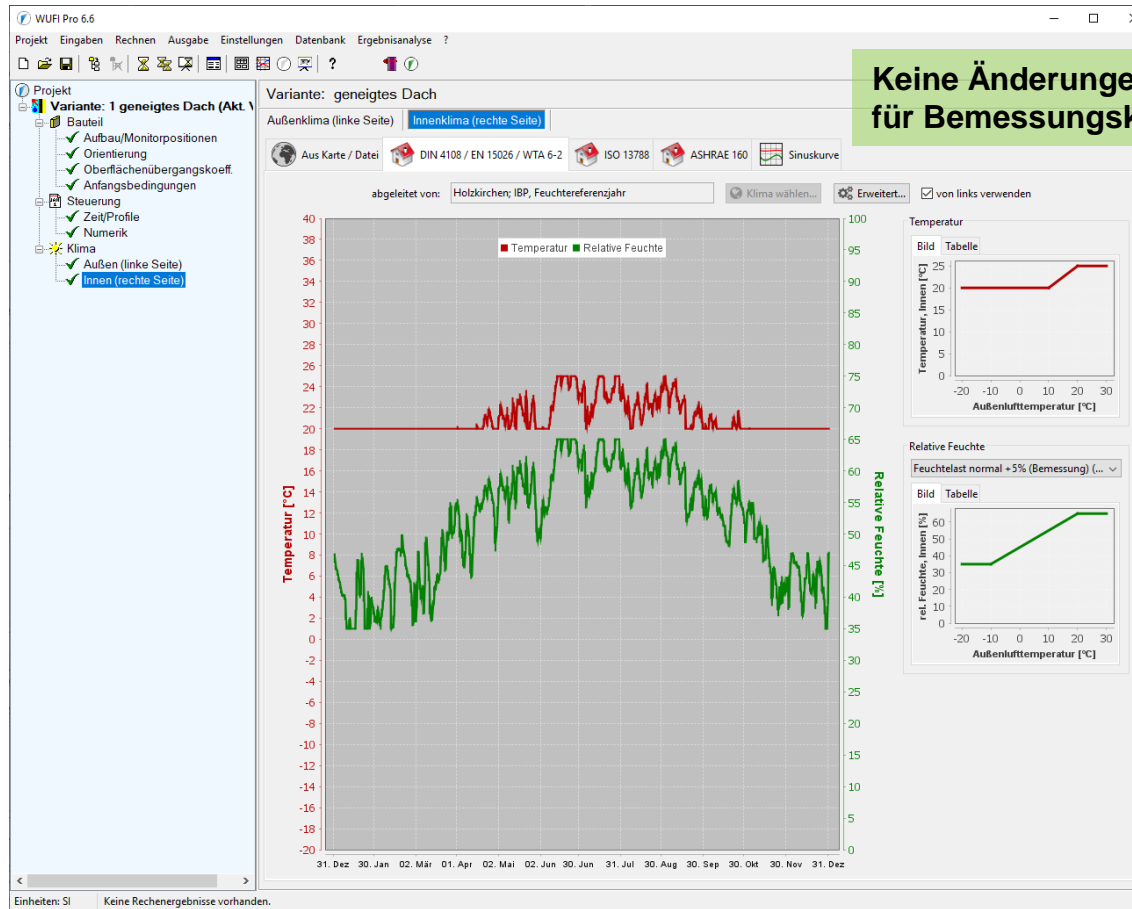
Datei-Info
Klimaort: Holzkirchen
Breite [°]: 47,88 Nord
Länge [°]: 11,73 Ost
Höhe über NN [m]: 680
Zeitzone: 1,0
Anzahl Datenzeilen: 8760
Beschreibung: ⓘ
Kommentar: ⓘ

Klimaelemente
Temperatur: TA
Relative Feuchte: HREL
Kurzwellige Strahlung: ISGH, ISD
Langwellige Strahlung: ILAH
Wind: WS, WV, WD
Regen: RN
Bewölkungsgrad: —
Luftdruck: PSTA

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Beispiel: Eingabe - Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



Beispiel: Auswertung – Numerik

Auswertung: Numerik

Für weitere Informationen zur Bewertung der numerischen Qualität, siehe "[Auswertung und Beurteilung hygrothermischer Rechenergebnisse](#)".

Hinweis:

Langsame Berechnung und viele Konvergenzfehler weisen auf eher schwierige Konvergenz hin.

	07.11.2022 13:28:13
	1 min,16 sek
ung	01.10.2022 / 01.10.2027
Anzahl der Konvergenzfehler	114
Numerische Qualitätsprüfung	
Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²] 0,0 -1,91
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²] 7E-8 -0,89
Bilanz 1	[kg/m ²] -0,33
Bilanz 2	[kg/m ²] -0,33
Wassergehalt [kg/m ²]	
	Start Ende Min. Max.



Viele Konvergenzfehler, aber Bilanzen OK!

→ ggf. erneute Berechnung mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung (Numerik: Adaptive Zeitschrittsteuerung einschalten). Bei guter Übereinstimmung der Bilanzen i.d.R. nicht erforderlich!

Beispiel: Auswertung – Numerik

Auswertung: Numerik – mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	07.11.2022 13:32:27		
Rechenzeit	1 min,20 sek		
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2022 / 01.10.2027		
Anzahl der Konvergenzfehler	0		

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0	-1,91
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	7E-8	-0,9
Bilanz 1	[kg/m ²]	-0,33	
Bilanz 2	[kg/m ²]	-0,33	

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,05	1,74	1,27	2,45

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
Weichholz	60,00	59,60	38,35	90,77

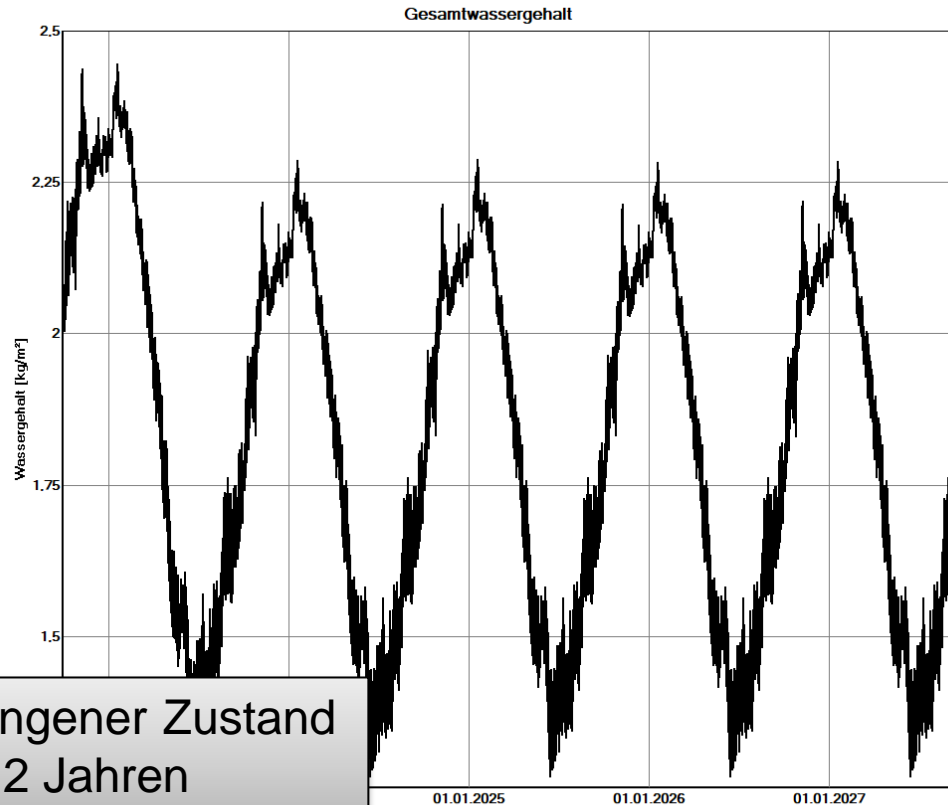
Rechnung gesperrt

Schließen Hilfe



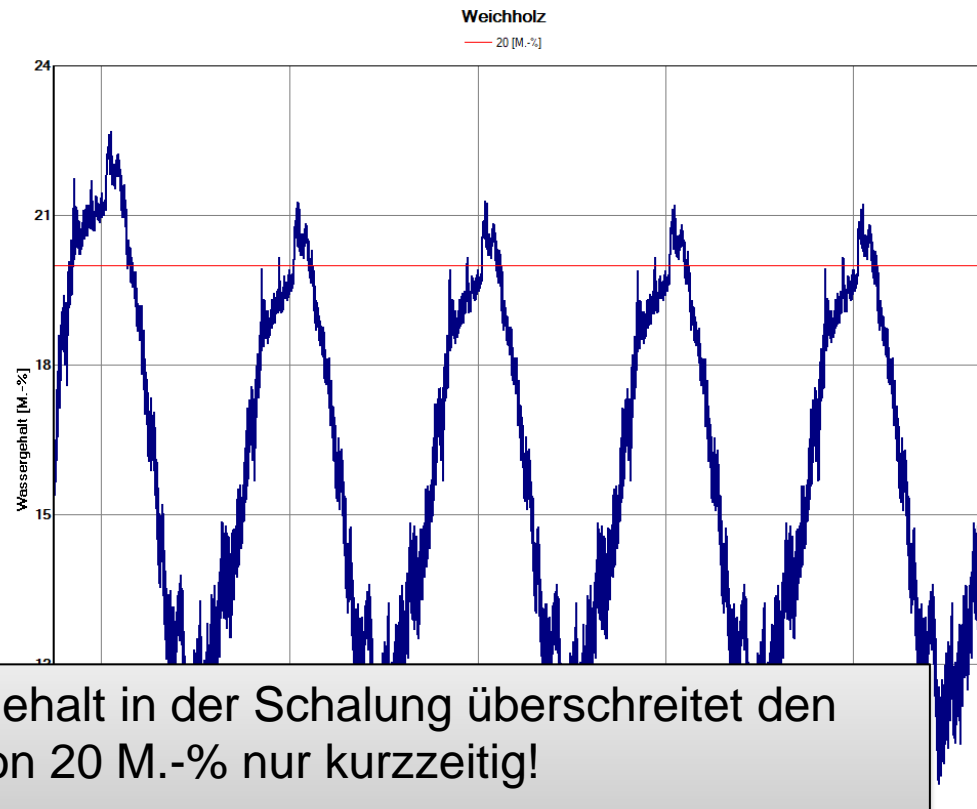
Beispiel: Auswertung – Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



Der Wassergehalt in der Schalung überschreitet den Grenzwert von 20 M.-% nur kurzzeitig!

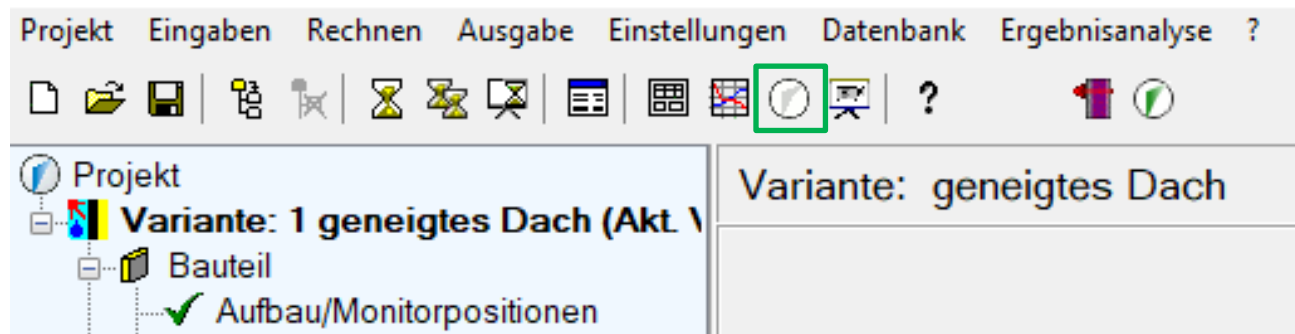
→ Auswertung der Holzfeuchte nach WTA



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

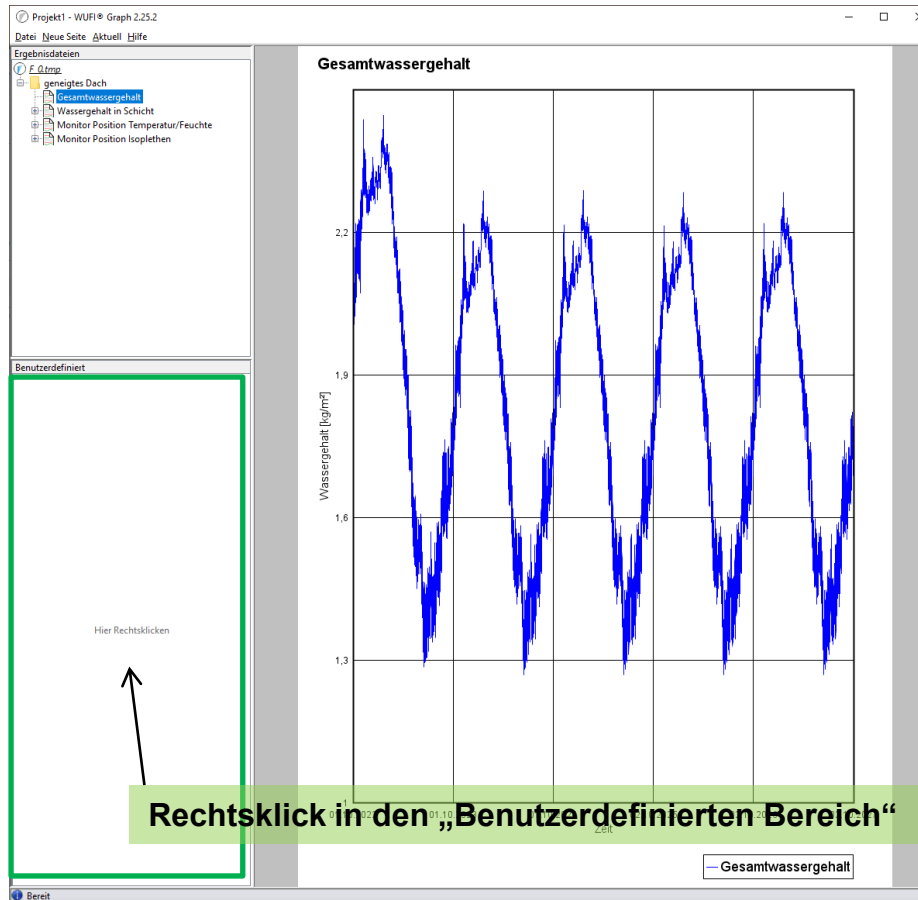
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8

WUFI Graph öffnen



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8

The image shows a software interface with a menu structure. The main menu is titled 'Benutzerdefiniert' and contains the following items: Temperatur, Relative Feuchte, Wassergehalt, Isoplethen, Mittlere Flusssdichte, Fluss, WTA 6-8, and Benutzerdefiniert. The 'WTA 6-8' item is highlighted with a green box. A sub-menu is open for 'WTA 6-8', containing 'Porenluftfeuchte Holz WTA', 'Wassergehalt in M.-% (MW)', and 'Grenzwassergehalt in M.-%'. The 'Porenluftfeuchte Holz WTA' item is also highlighted with a green box. A green callout box with the text 'Auswertung der Porenluftfeuchte von Holz nach WTA' has an arrow pointing to the 'Porenluftfeuchte Holz WTA' item. At the bottom left of the interface, there is a status bar with a blue information icon and the text 'Bereit'.

Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8

Bereichsauswahl / Einstellungen

Inneren Zentimeter der Holzschalung wählen

Auswahlbereich von 1 cm entspr. WTA ist voreingestellt

Datei: C:\geneigtes Dach - F_0.tmp Typ: Porenluftfeuchte Holz WTA Modul: X-Y-Plot über Auswahl

Kombinierte Auswahl 10 mm

Einstellungen	Werte
Ergebnisgröße X	Temperatur
Ergebnisgröße Y	Relative Feuchte
Bildüberschrift	Porenluftfeuchte Holz WTA 6-8
Kurvenbezeichnung	Porenluftfeuchte Holz
Startfarbe	
Übergangsfarbe	
Endfarbe	
X-Achsenbeschriftung	Temperatur [°C]
Y-Achsenbeschriftung	Relative Feuchte [%]

Hilfe

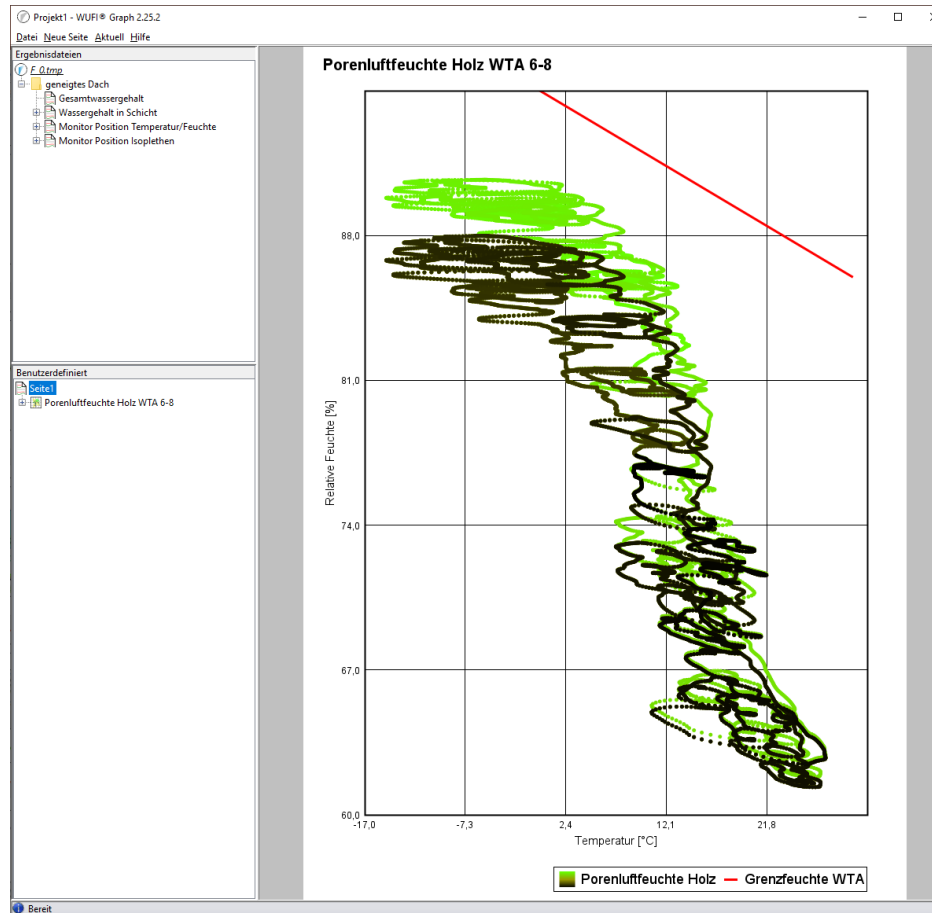
Abbrechen

OK

Mit „OK“ bestätigen

Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8



Die relative Porenluftfeuchte im inneren Zentimeter der Schalung überschreitet die Grenzfeuchte nach WTA nicht.

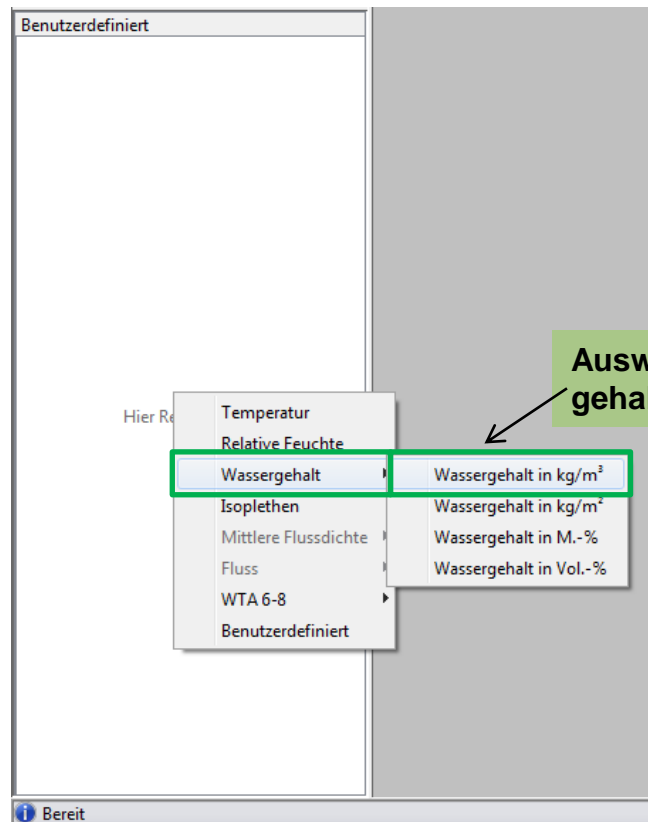
→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten



Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



Hinweis:

Für Mineralfaserdämmung mit gemessener Feuchte-speicherfunktion kann ein anderes Auswerteverfahren herangezogen werden.

Siehe [„Tauwasser-auswertung in hydrophoben Mineralfaserdämmungen“](#)

Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung

1. Auswahlbereich von 1 cm anheften

2. Äußersten Zentimeter der Dämmung wählen

10 mm

Einstellungen	Werte
Ergebnisgröße	Wassergehalt in kg/m ³
Bildüberschrift	Wassergehalt
Kurvenbezeichnung	Wassergehalt
Farbe	
X-Achsenbeschriftung	Zeit
Y-Achsenbeschriftung	Wassergehalt [kg/m ³]
Anfangsdatum	01.10.2022 00:00
Enddatum	01.10.2027 00:00
Mittelwertbildung	Kein Mittelwert

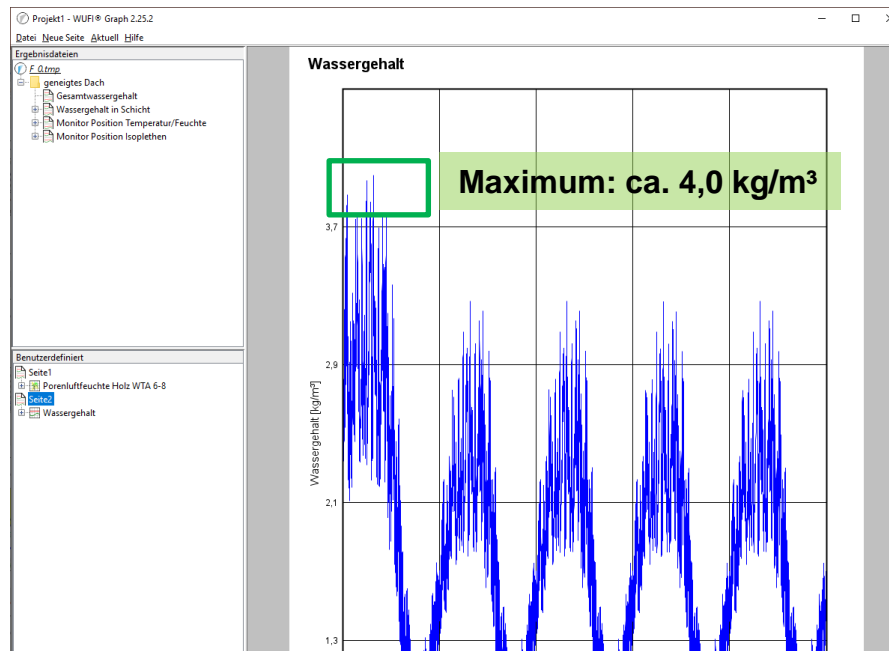
Gitterelement 19 | Position 98,59 mm | Material Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK)

3. Mit „OK“ bestätigen

Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



Maximaler Wassergehalt = $4,0 \text{ kg/m}^3$

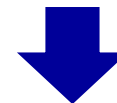
$4,0 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m (Schichtdicke)} = 0,040 \text{ kg/m}^2 = 40 \text{ g/m}^2$

→ Grenzwert von 200 g/m^2 wird deutlich unterschritten

Beispiel: Auswertung – abschließende Bewertung

Abschließende Bewertung:

	Kriterium	Bewertung
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering?	✓
	Wenige oder keine Konvergenzfehler?	✓
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt eingeschwungen?	✓
	Tauwasser in der Dämmebene?	✓
	Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach DIN 68800 bzw. WTA 6-8)	✓



Konstruktion
feuchtetechnisch
unproblematisch!