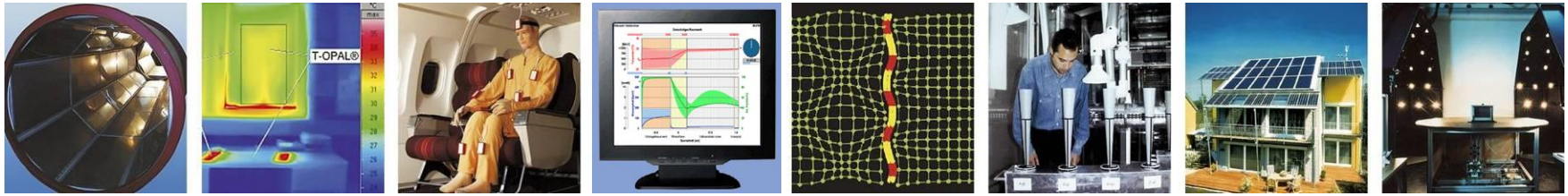


WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von geneigten Dächern

Stand: November 2022

Fraunhofer IBP

Inhalt

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

- Mineralwolledämmung…… Folie 18
- Holzfaserdämmung…… Folie 19
- Holzschalung…… Folie 20

Literatur…… Folie 24

Beispiel: Geneigtes Dach mit Mineralwolledämmung und Holzschalung… Folie 25

- Konstruktionsaufbau und Randbedingungen…… Folie 26
- Bewertungsmatrix…… Folie 28
- Vorgehen bei der Eingabe…… Folie 29
- Vorgehen bei der Auswertung…… Folie 39

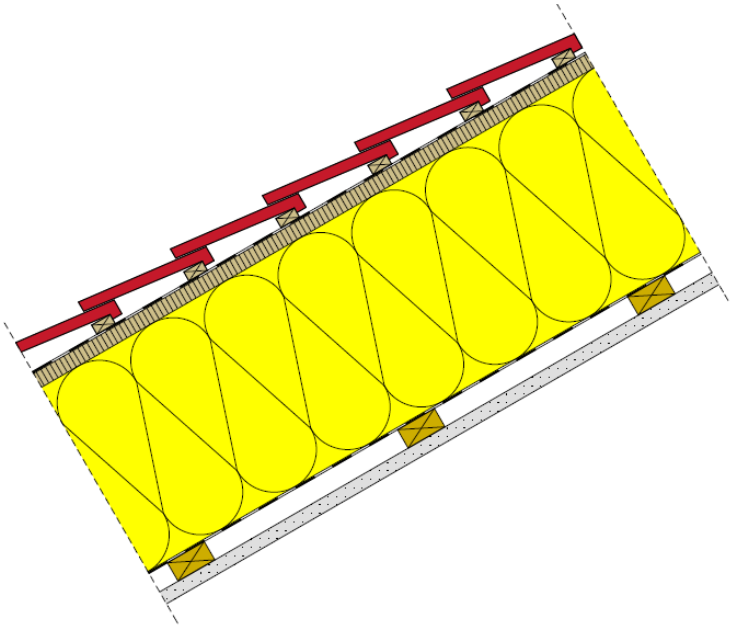
Einführung

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: Leitfaden zur Umschlaufung

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.



Hinweise zur Eingabe: Bauteilaufbau

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Ziegeleindeckung

Die belüftete Eindeckung wird bei der Simulation durch effektive Übergangsparameter 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 Oberflächenübergangs-parametern 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.

Hinweise zur Eingabe: Feuchtequelle

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchteeintrag durch Infiltration

Die in Abhängigkeit von der Luftdichtheit konvektiv in die Konstruktion eindringende Feuchtemenge ist nach DIN 68800:2012 [2] bei Holzbau-konstruktionen immer mit zu betrachten und wird in der Simulation über das Infiltrationsmodel 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

Hinweise zur Eingabe: Feuchtequelle

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchteeintrag 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: Leitfaden zur Verwendung der Infiltrationsquelle

Hinweise zur Eingabe: Orientierung / Neigung

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 [W/m²K]
Normal belüftet	$a_{k,e}$ = 19 [W/m²K]
Schwach belüftet	$a_{k,e}$ = 13,5 [W/m²K]

$a_{k,e}$: konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Stark belüftet	Traufe völlig geöffnet ohne Gitter o.Ä.	First offen mit geringem Strömungs-widerstand	
Normal belüftet	Trauföffnung mit Insekten-schutzgitter oder Traufkamm	First mit Gratrolle verschlossen	
Schwach belüftet	Geringer Öffnungs-querschnitt an der Traufe	Geringer Öffnungs-querschnitt am First	Keine Konterlattung vorhanden

Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

s_d-Wert an der Außenoberfläche

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

Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

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 im Leitfaden zur Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern in Kapitel 8.

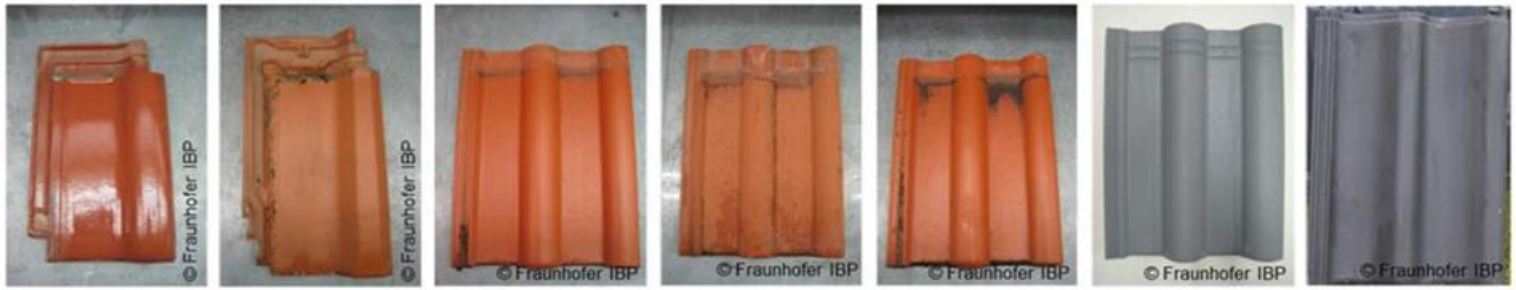
Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

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 ~ 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

Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Kurzwellige 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

Hinweise zur Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizient

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Langwellige Strahlungsemissionszahl

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

Dachziegel hochglanz-glasiert	ε ~ 0,82
Dachziegel matt	ε ~ 0,84
Dachsteine allgemein	ε = 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).

Hinweise zur Eingabe: Anfangsbedingungen

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.

Hinweise zur Eingabe: Steuerung

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.

Hinweise zur Eingabe: Klima

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.

Hinweise zur Eingabe: Klima

Klima

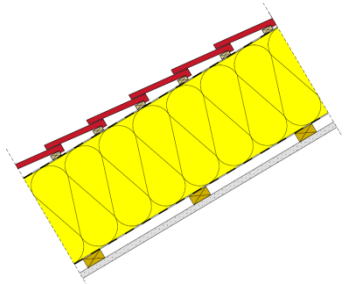
Innenklima:

Standardmäßig empfehlen wir für die Bemessung das Innenklima mit normaler Feuchtelast + 5% nach WTA-Merkblatt 6-2 [6] bzw. DIN 4108-3:2017 Anhang D (Entwurf).

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

Hinweise zur Auswertung: Mineralwolledämmung

Dächer mit Mineralwolledämmung und Unterdeckbahn



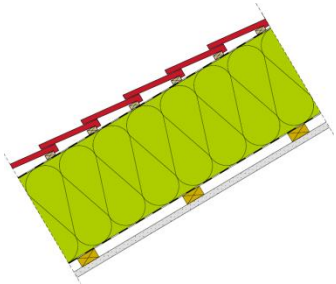
Solche Konstruktionen weisen im Regelquerschnitt keine feuchte-empfindlichen Materialien auf. Lediglich an der Unterdeckbahn kann es aufgrund des im Vergleich zur Dämmung höheren Diffusionswiderstands ggf. zu temporär erhöhten Feuchten oder Tauwasserbildung kommen.

Zur Beurteilung der Ergebnisse werden die an der Unterdeckbahn anfallenden Tauwassermengen herangezogen. Ausgewertet wird hierfür der maximale Wassergehalt in [kg/m³] im äußeren Bereich der Mineralfaserdämmung. Hier wird zwischen Dämmstoffen mit interner Feuchtespeicherfunktion bzw. mit gemessener Feuchtespeicherfunktion unterschieden.
Nähere Informationen hierzu im Leitfaden zur Tauwasserauswertung.

Als allgemeiner Grenzwert wird die in EN ISO 13788 von 2011 [8] angegebene Tauwassermenge von 200 g/m² (Umrechnung erforderlich) empfohlen. Ab dieser Menge besteht das Risiko für ein Ablaufen des Tauwassers.

Hinweise zur Auswertung: Holzfaserdämmung

Dächer mit Holzfaserdämmung und Unterdeckbahn

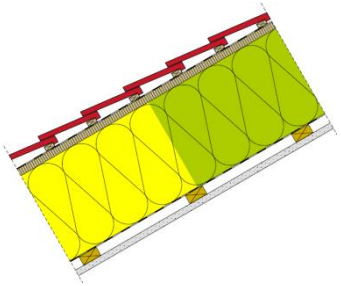


Bei Konstruktionen, die eine Holzfaserdämmung zwischen den Sparren aufweisen, erfolgt eine Auswertung der Holzfeuchte in der Holzfaserdämmung.

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.

Hinweise zur Auswertung: Holzschalung



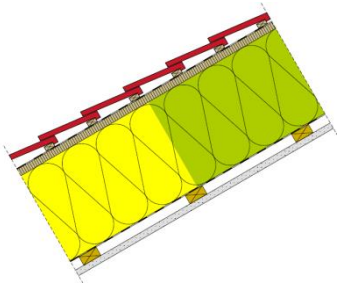
Dächer mit Dämmung und Holzschalung

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.

Hinweise zur Auswertung: Holzschalung



Dächer mit Dämmung und Holzschalung

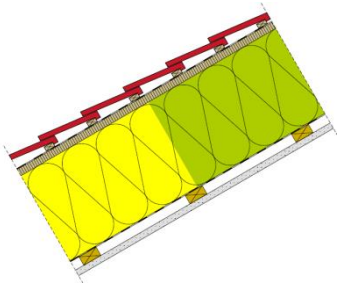
Auswertung nach DIN 68800 [2]

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.

Hinweise zur Auswertung: Holzschalung



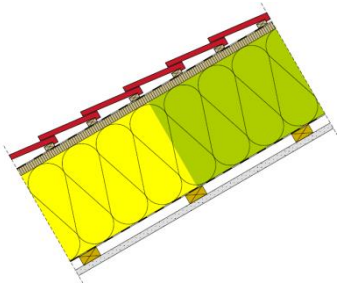
Dächer mit Dämmung und Holzschalung

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.

Hinweise zur Auswertung: Holzschalung



Dächer mit Dämmung und Holzschalung

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

6.4 Bewertung von Simulationsergebnissen

Die Auswertung erfolgt nach zwei Kriterien:

a) Die Bewertung bezüglich holzzerstörender Pilze erfolgt bei Holz über die mittlere Porenluftfeuchte der maßgebenden (kritischen) 10 mm Schicht.

b) 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.

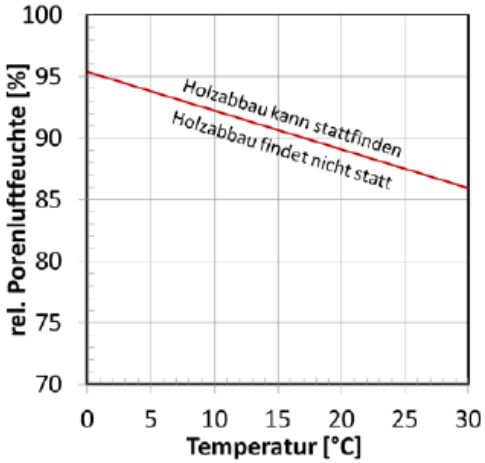


Abbildung 1: Grenzkurve der rel. Porenluftfeuchte bezogen auf die Temperatur einer 10 mm dicken Holzschicht, die im Tagesmittel nicht überschritten werden darf.

Literatur

[1] Kölsch, Ph.: Hygrothermische Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern. 2015. (Leitfaden zur Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern)

[2] DIN 68800: Holzschutz im Hochbau. Beuth Verlag, Berlin 2012.

[3] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B. und Borsch-Laaks, R.: Dampfkonvektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteeintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen. Proceedings 30. AIVC Conference, Berlin 2009.

[4] DIN 4108-3:2001-07: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag. Berlin 2001.

[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 6-2-14/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Dezember 2014.

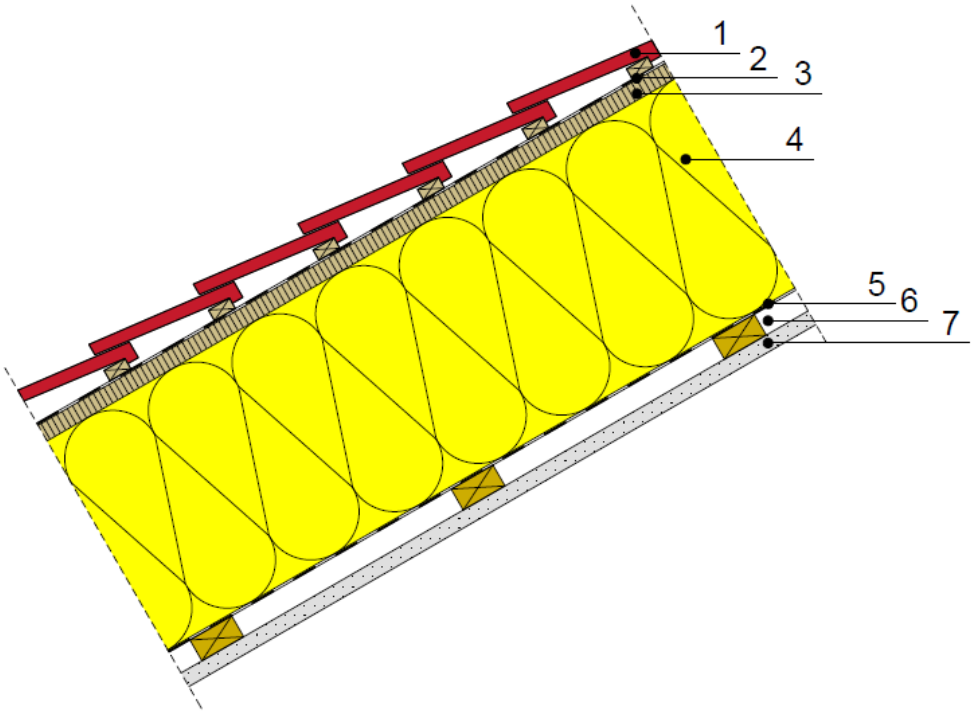
[7] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth Verlag, Berlin 2007.

[8] DIN EN ISO 13788: 2013: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Oberflächentemperatur zur Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren. Beuth Verlag. Berlin 2001.

[9] WTA-Merkblatt 6-8-16/D: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulationen. 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

Beispiel: Konstruktionsaufbau

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

Beispiel: Randbedingungen

Randbedingungen:

- Steildach (30° nach Norden geneigt)
- rote Dachsteine
  (a = 0,67; ε = 0,9)
- normal belüftetes Dach (mittlere Stelle)
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: Bemessungsklima nach DIN 4108-3
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: q_{50} = 3 m³/m³h
- Höhe der Luftsäule: 5 m

Beispiel: Bewertungsmatrix

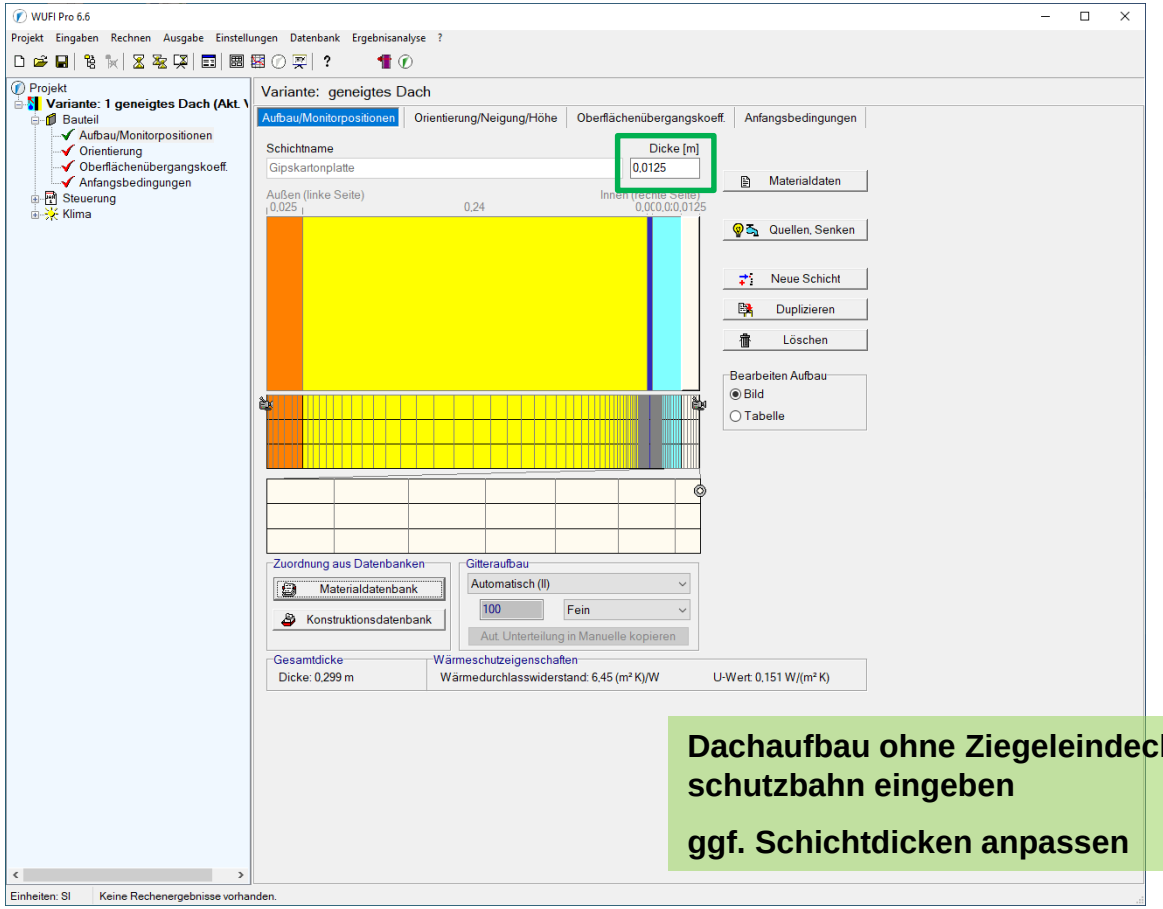
Bewertungsmatrix:

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



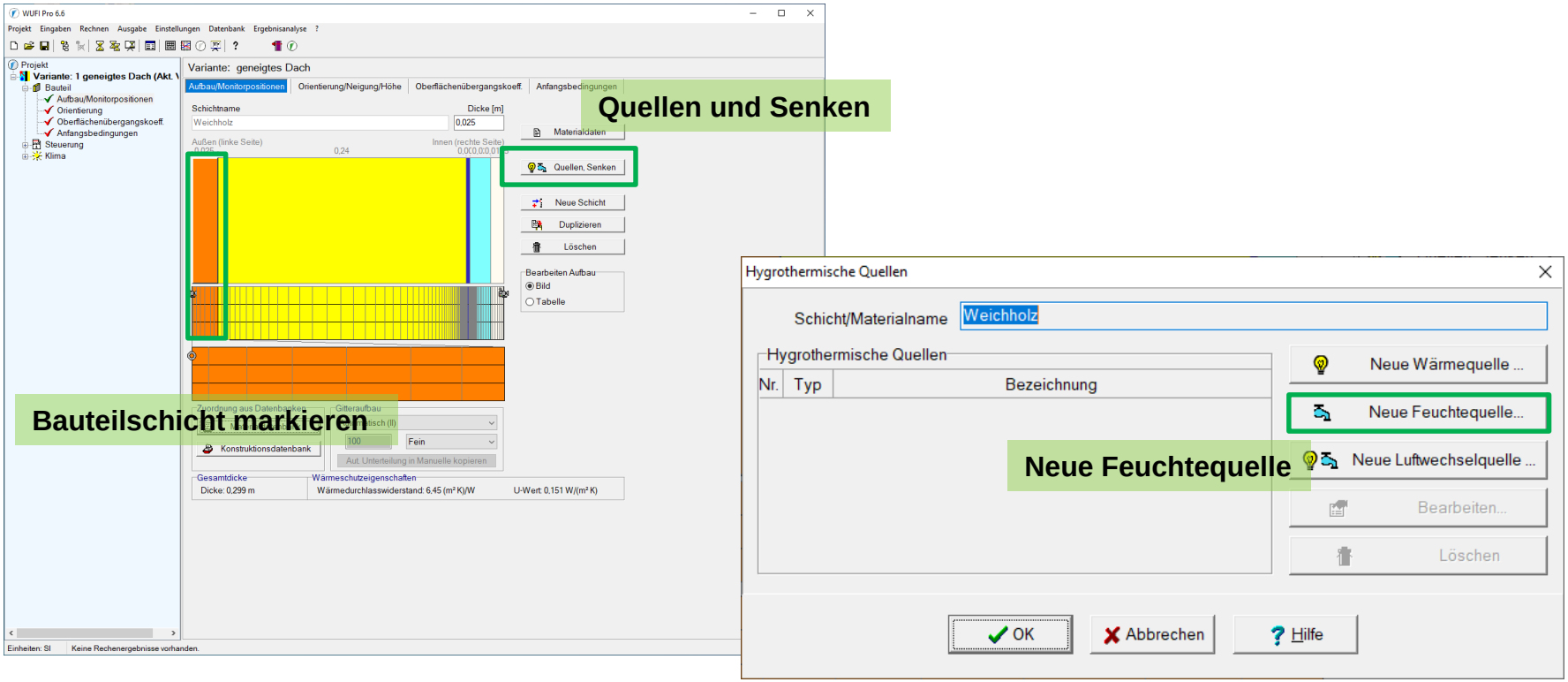
Dachaufbau ohne Ziegeleindeckung und Witterungs-schutzbahn eingeben

ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

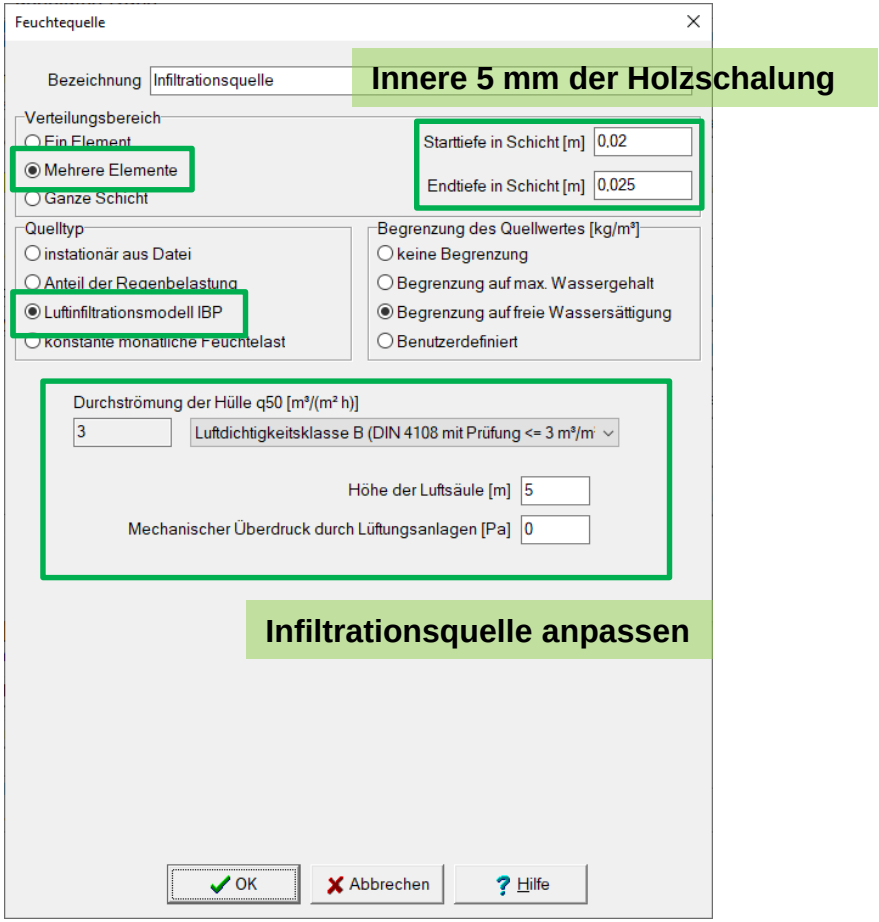
Infiltrationsquelle nach DIN 68800 in der Holzschalung berücksichtigen.



Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

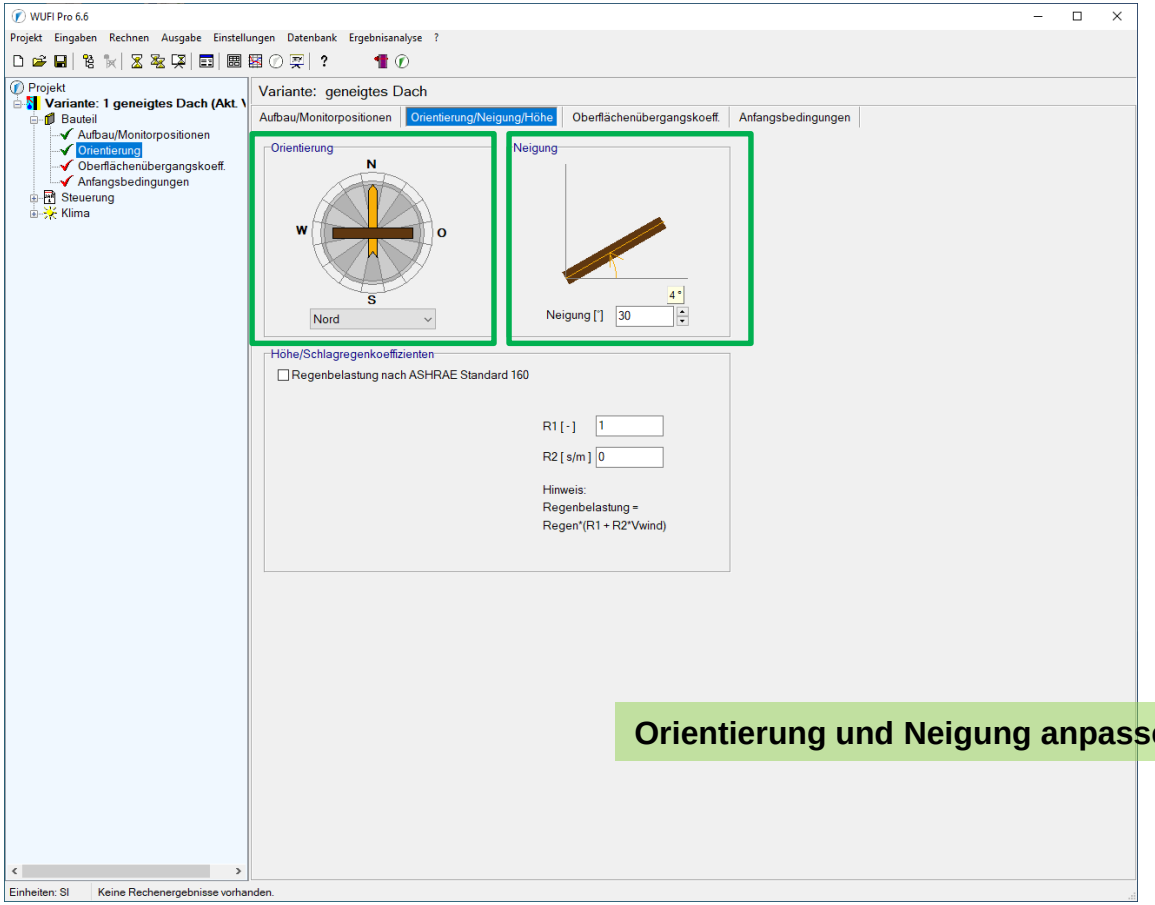
Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren 5 mm der Holzschalung.



Beispiel: Eingabe – Orientierung / Neigung

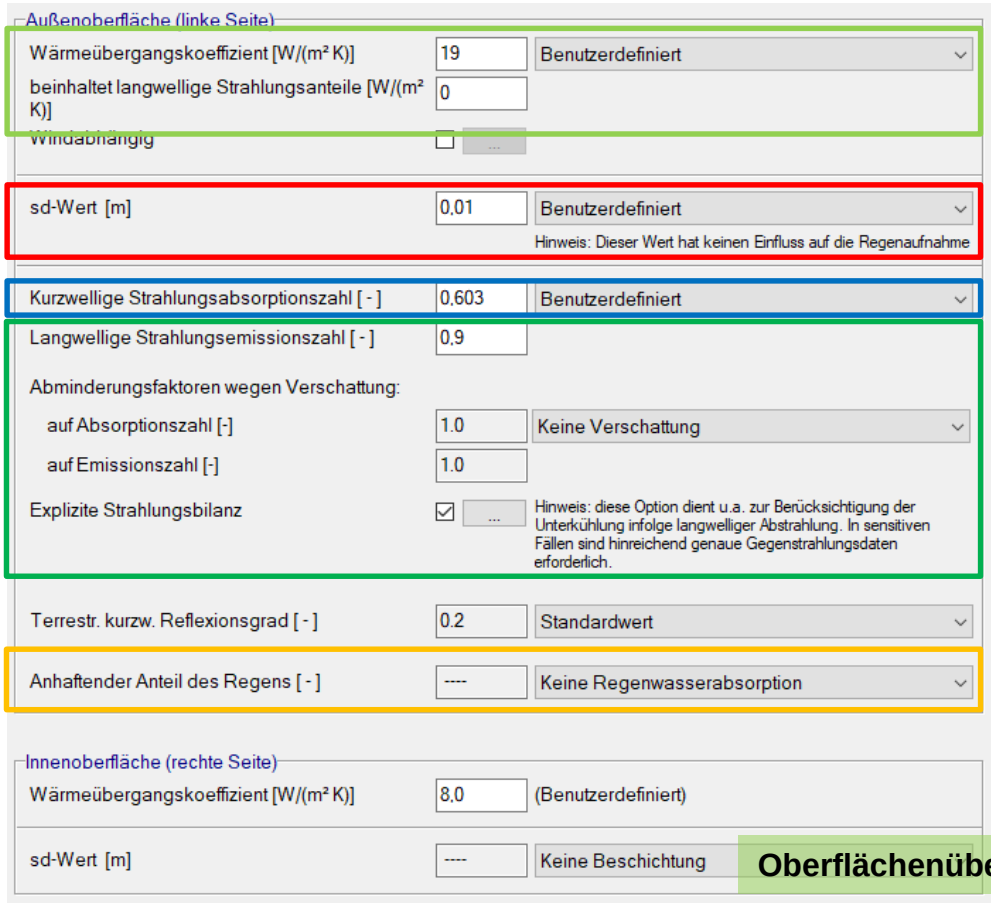
Eingabe: Bauteil - Orientierung



Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel: Eingabe – Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient



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)

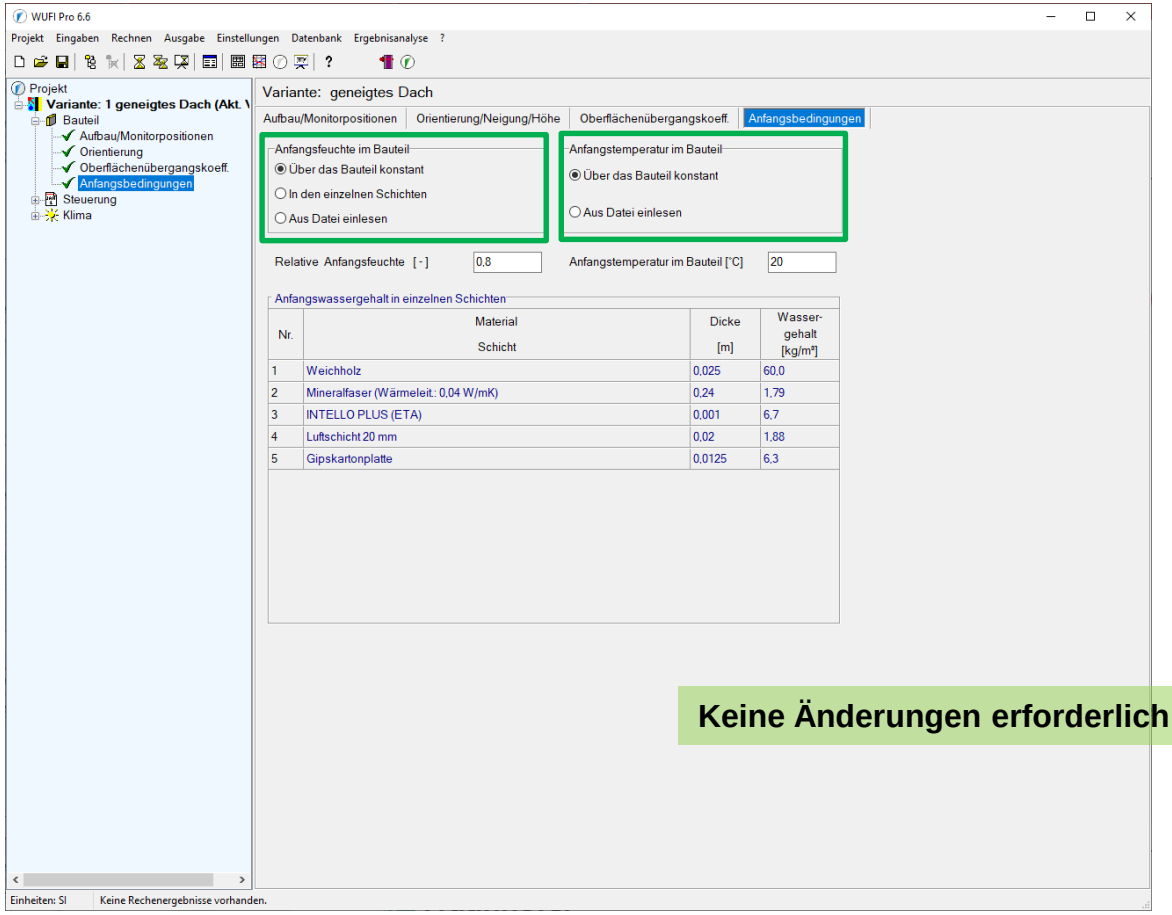
Explizite Strahlungsbilanz einschalten (ε = 0,9)!

Keine Regenwasserabsorption!

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel: Eingabe – Anfangsbedingungen

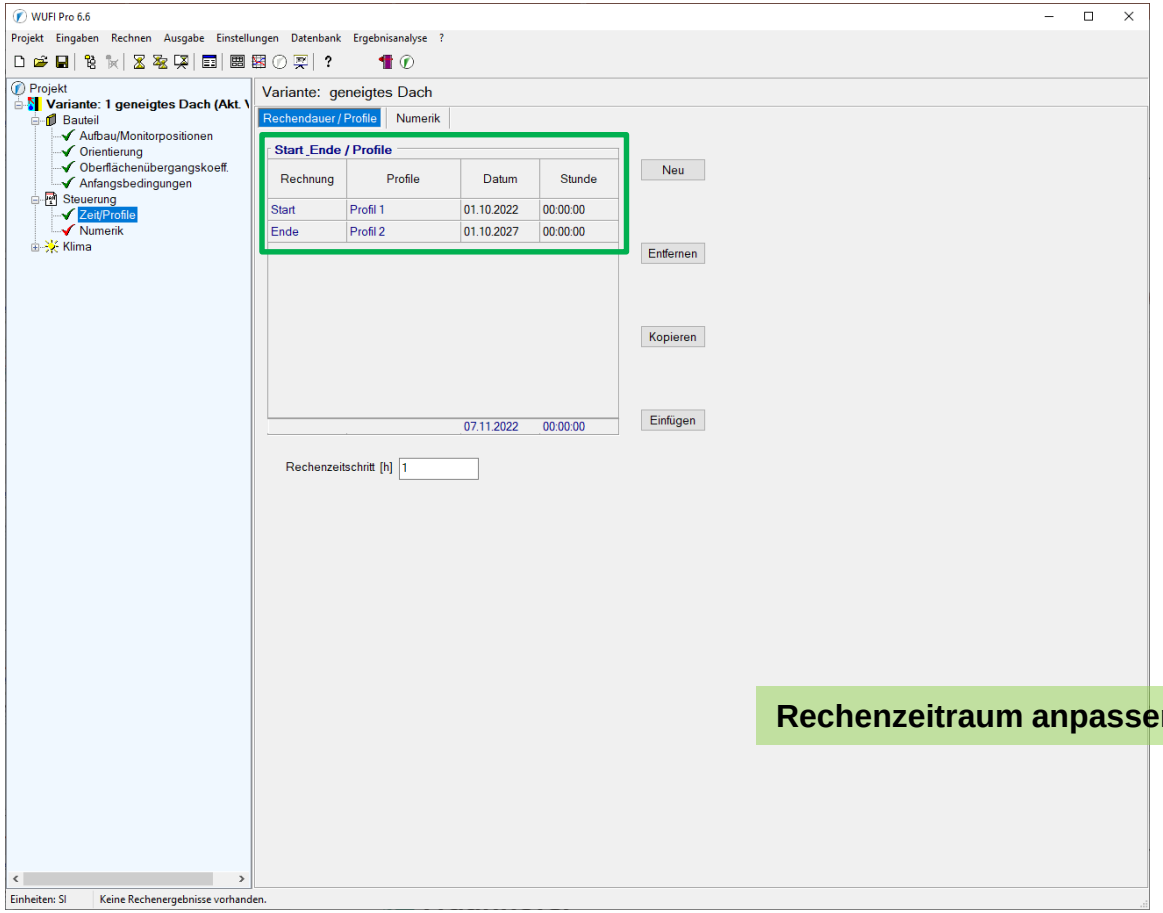
Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen



Keine Änderungen erforderlich

Beispiel: Eingabe – Berechnungszeitraum

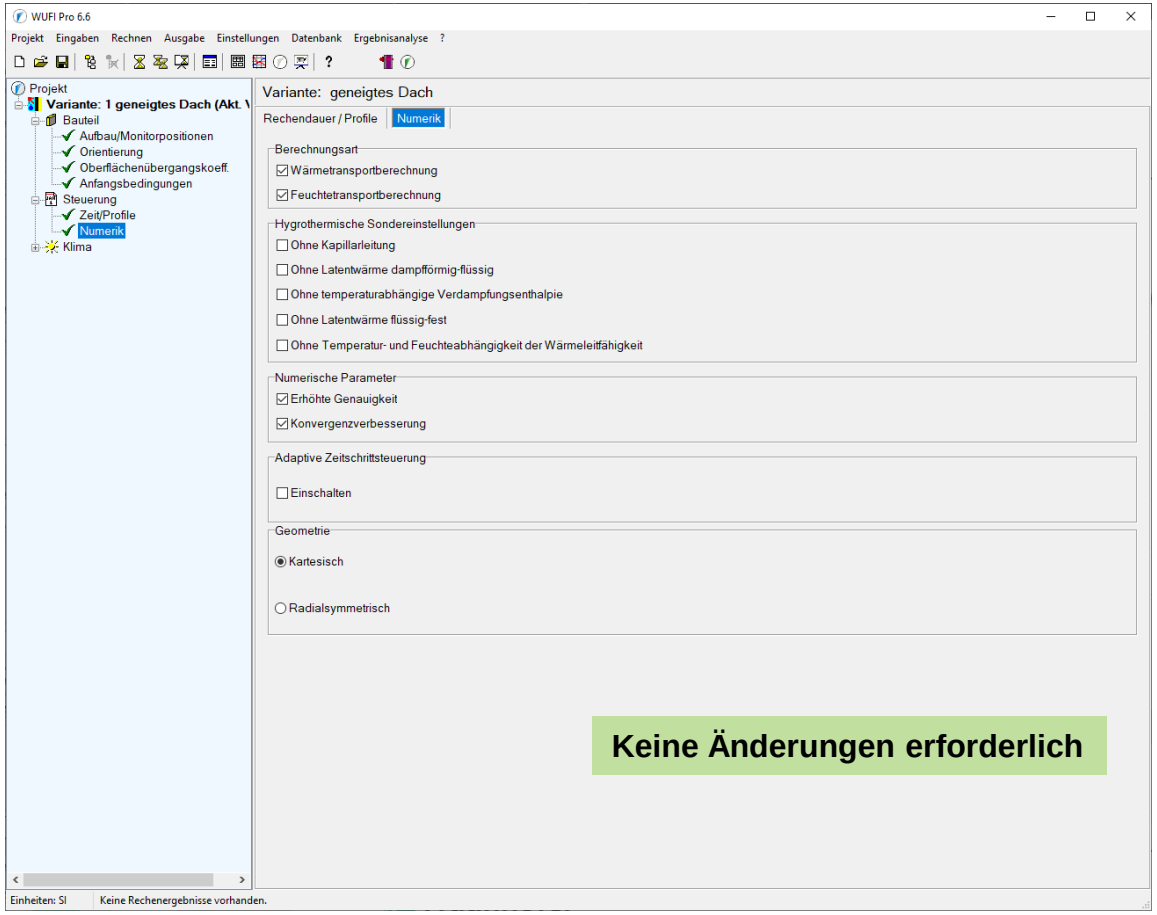
Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile



Rechenzeitraum anpassen

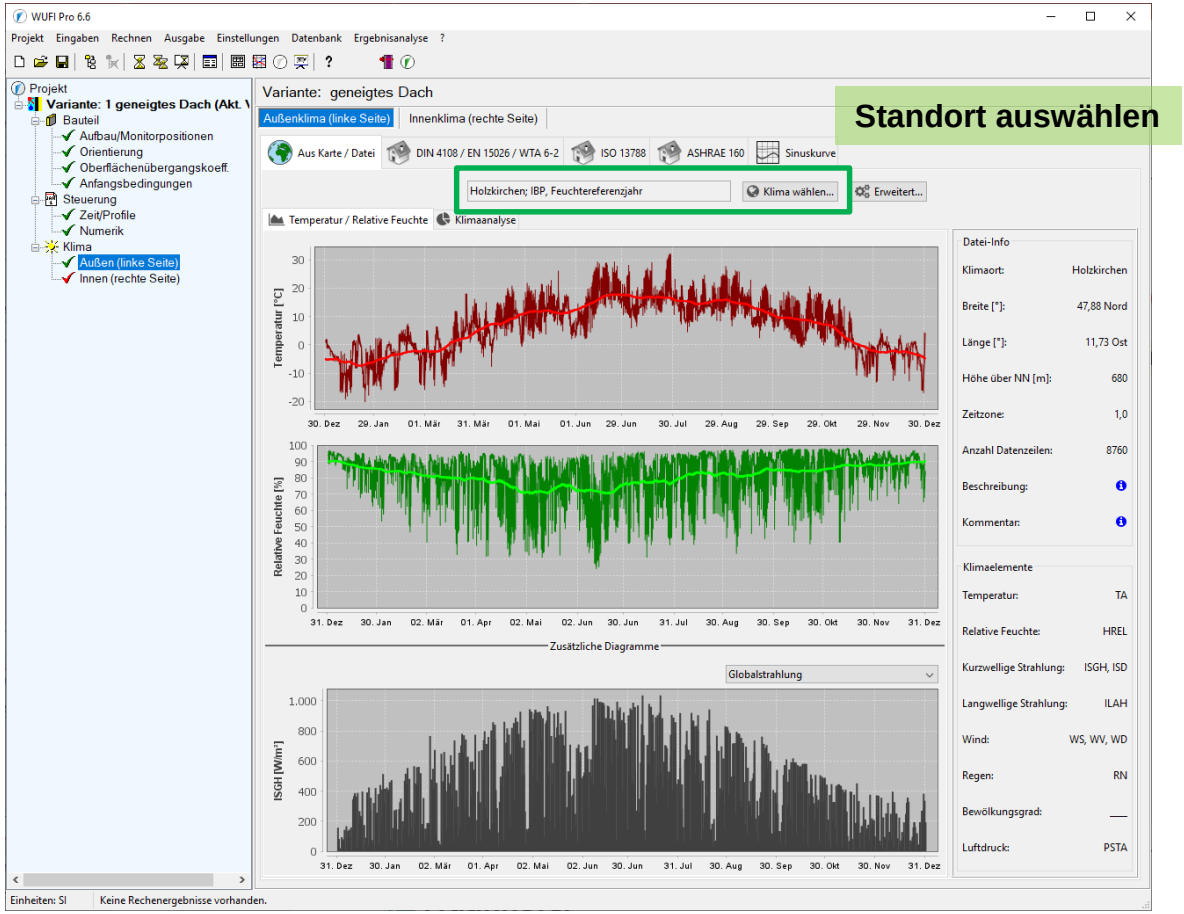
Beispiel: Eingabe – Numerik

Eingabe: Steuerung – Numerik



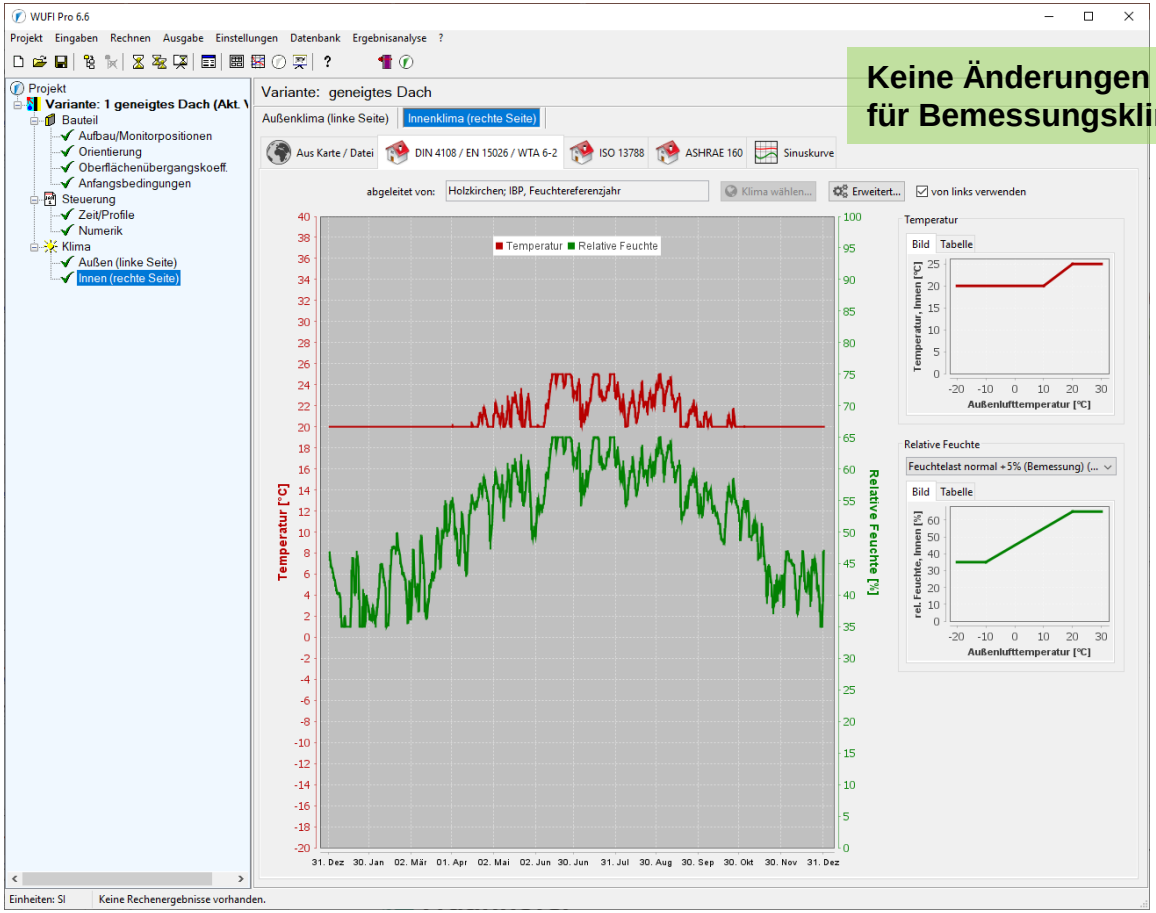
Beispiel: Eingabe - Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)



Beispiel: Eingabe - Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



Keine Änderungen erforderlich für Bemessungsklima nach DIN 4108-3

Beispiel: Auswertung – Numerik

Auswertung: Numerik

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

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	07.11.2022 13:28:13
Rechenzeit	1 min,16 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2022 / 01.10.2027
Anzahl der Konvergenzfehler	114

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m²]	0,0 -1,91
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m²]	7E-8 -0,89
Bilanz 1	[kg/m²]	-0,33
Bilanz 2	[kg/m²]	-0,33

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.

Hilfe

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/m²]	0,0 -1,91
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m²]	7E-8 -0,9
Bilanz 1	[kg/m²]	-0,33
Bilanz 2	[kg/m²]	-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

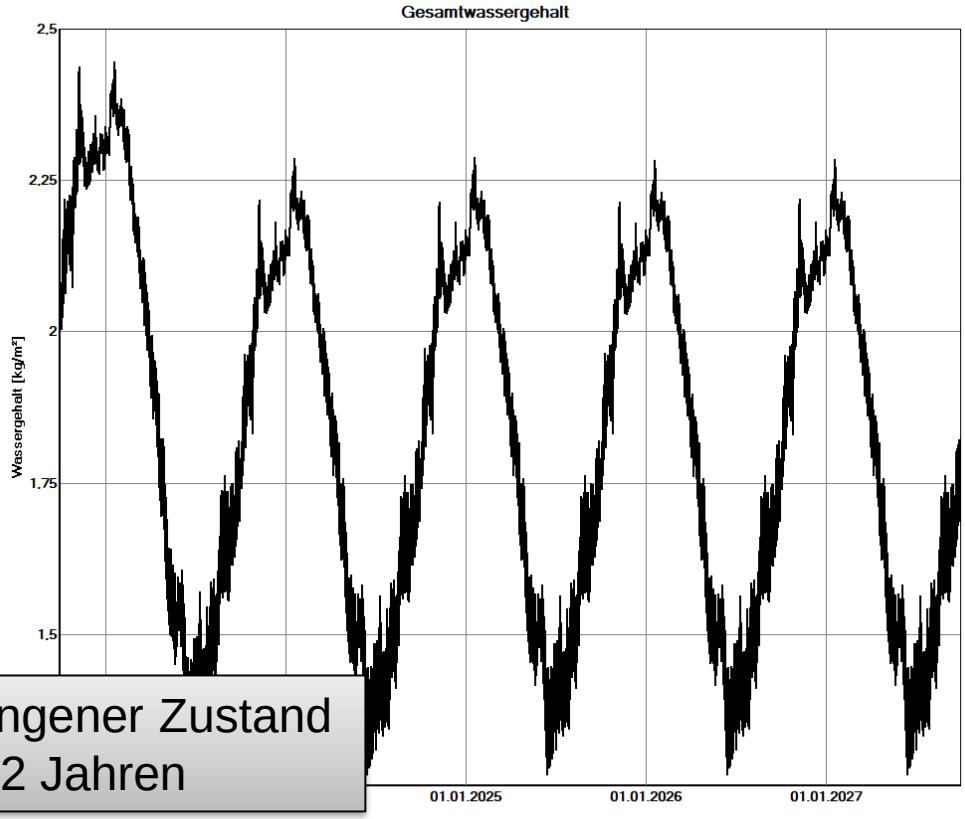
☐ Rechnung gesperrt

Schließen

Hilfe

Beispiel: Auswertung – Gesamtwassergehalt

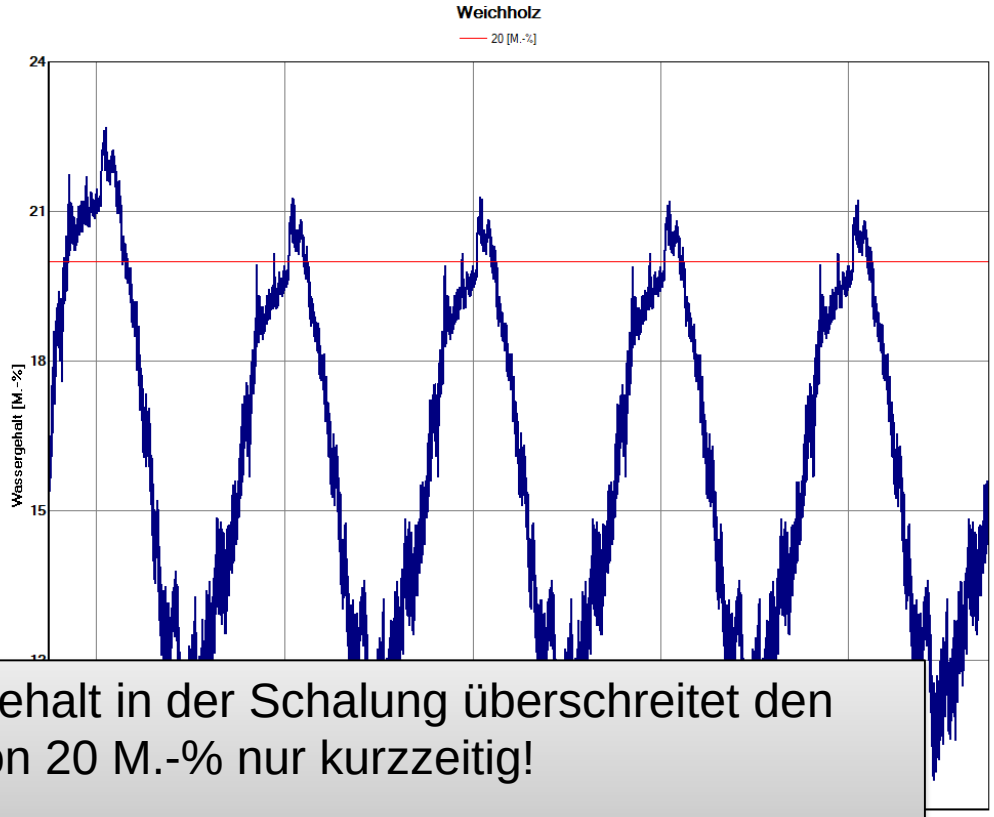
Auswertung: Gesamtwassergehalt



Eingeschwungener Zustand nach 2 Jahren

Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



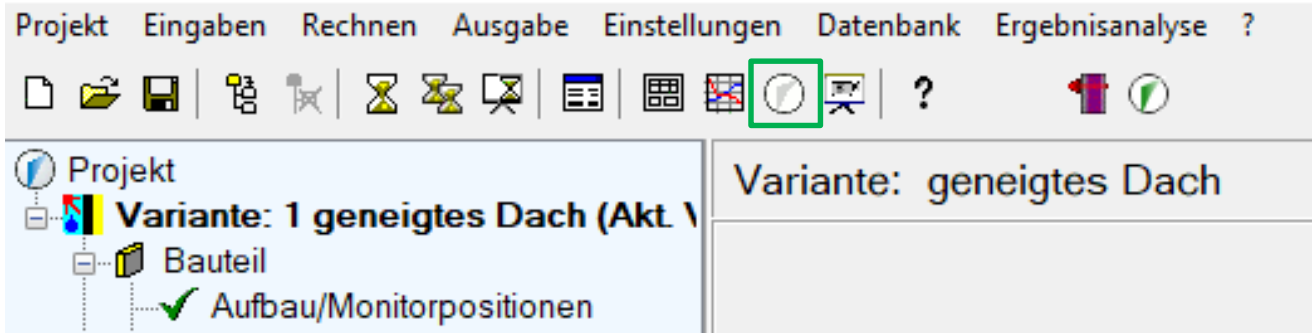
Der Wassergehalt in der Schalung überschreitet den Grenzwert von 20 M.-% nur kurzzeitig!

→ Auswertung der Holzfeuchte nach WTA

Beispiel: Auswertung – Holzschalung

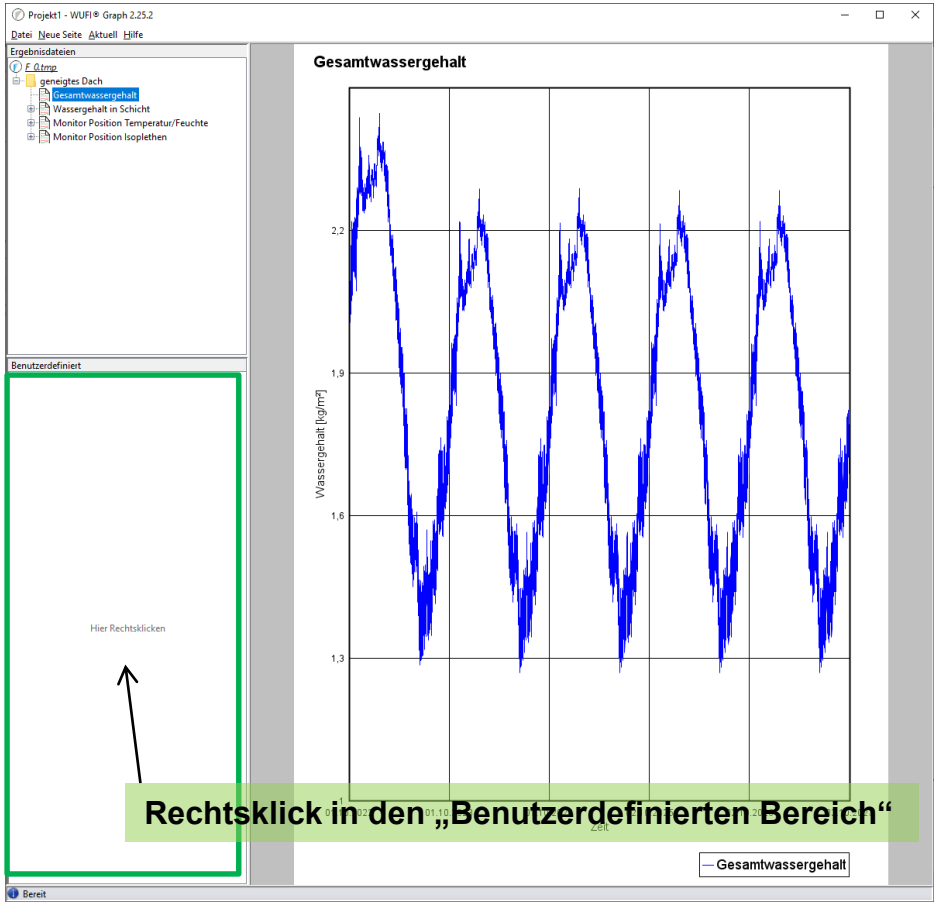
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8

WUFI Graph öffnen



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

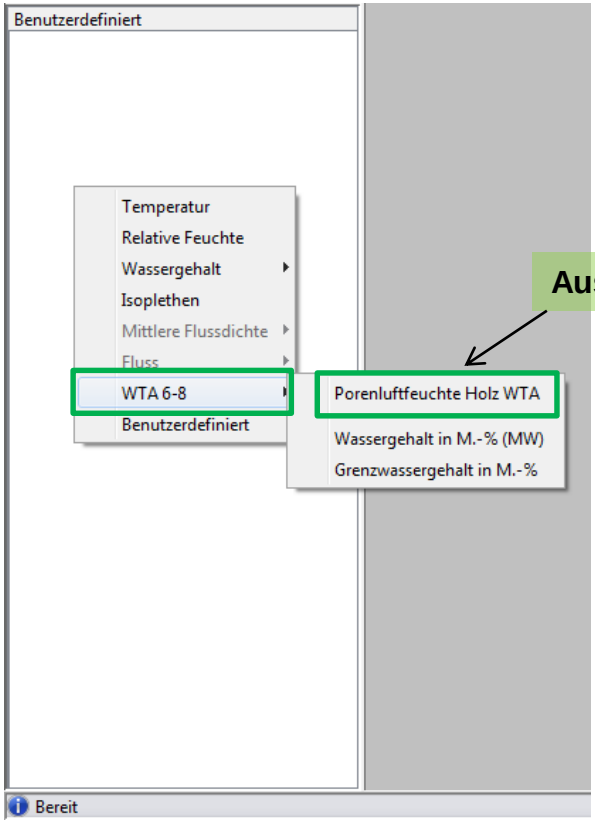
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8



Rechtsklick in den „Benutzerdefinierten Bereich“

Beispiel: Auswertung – Holzschalung

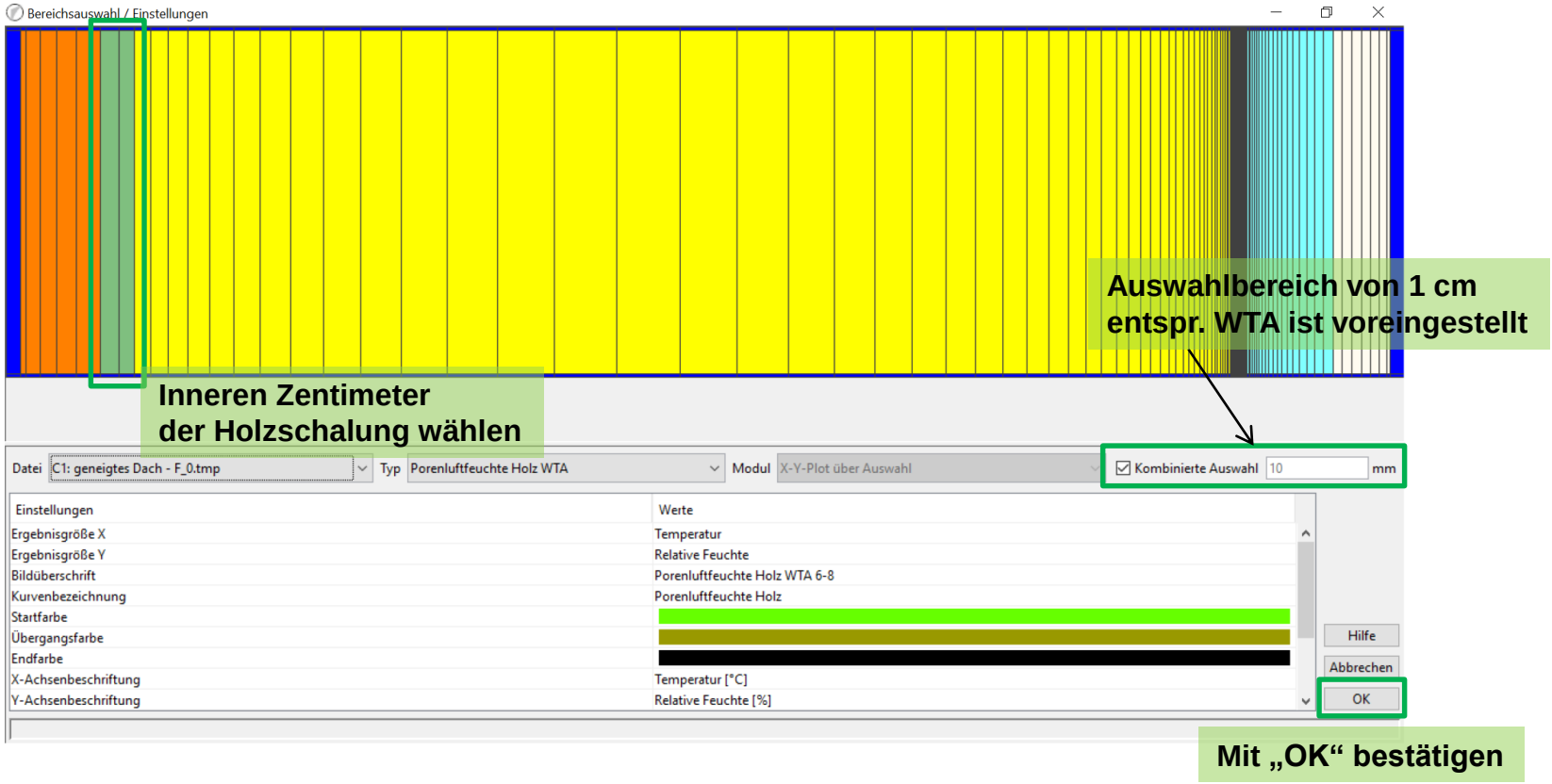
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8



Auswertung der Porenluftfeuchte von Holz nach WTA

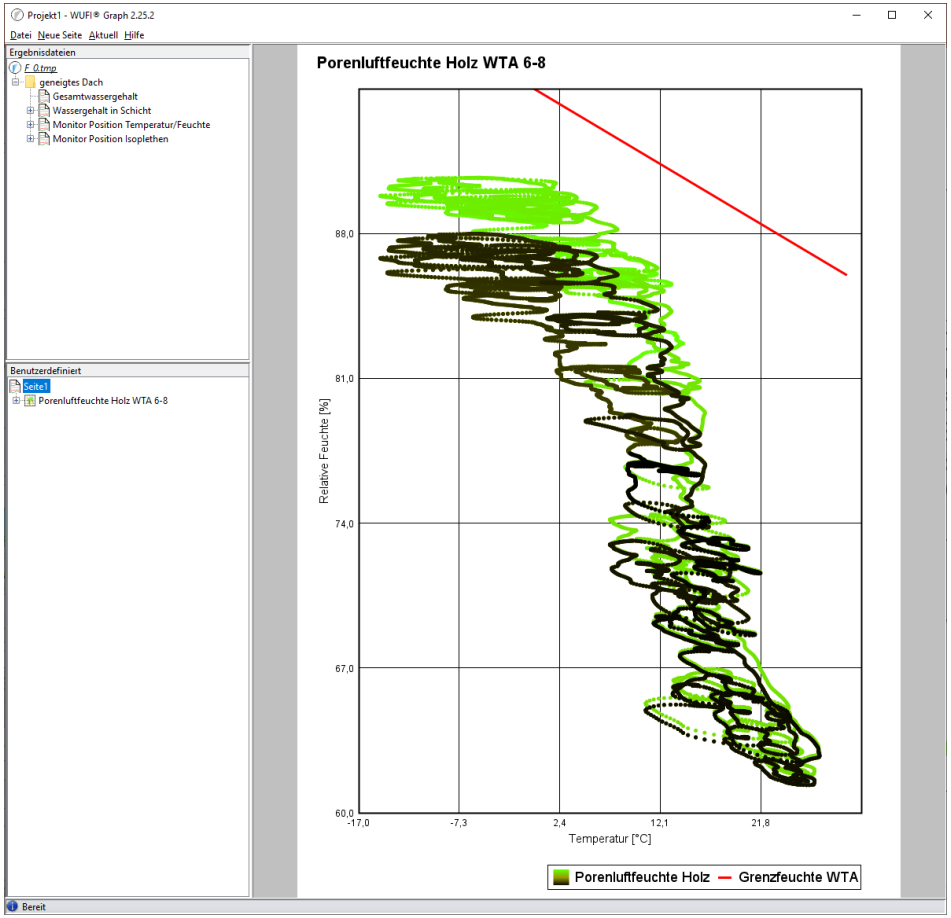
Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



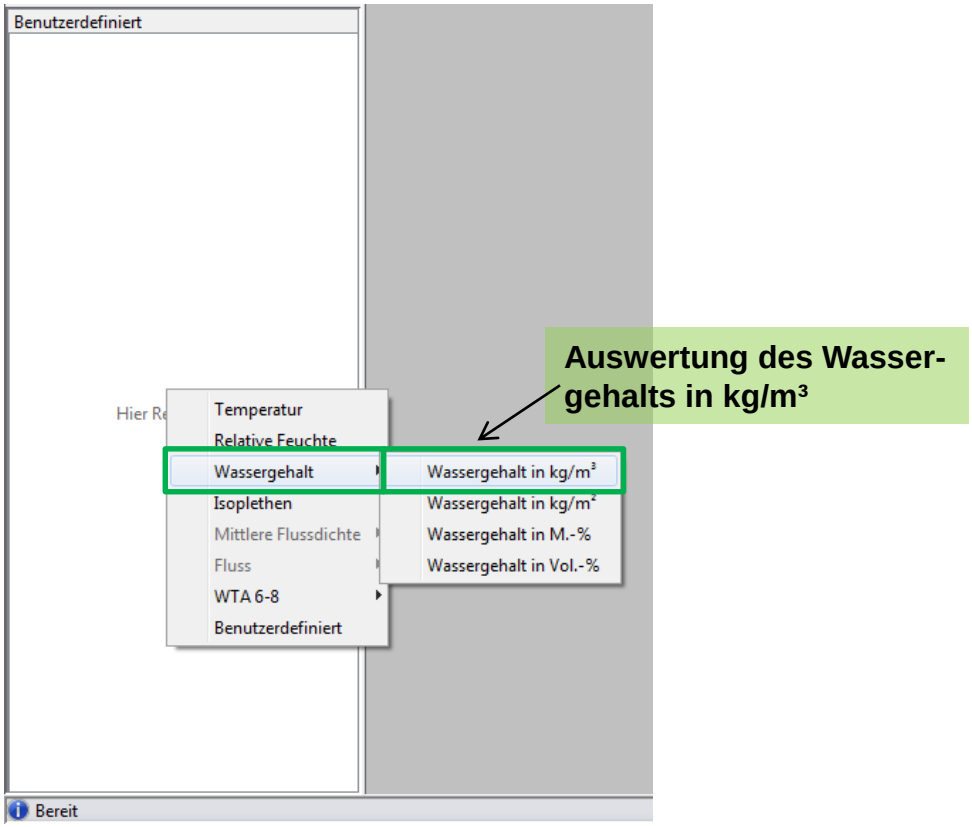
Die relative Porenluft-feuchte im inneren Zentimeter der Schalung überschreitet die Grenzfeuchte nach WTA nicht.

→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten

Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung

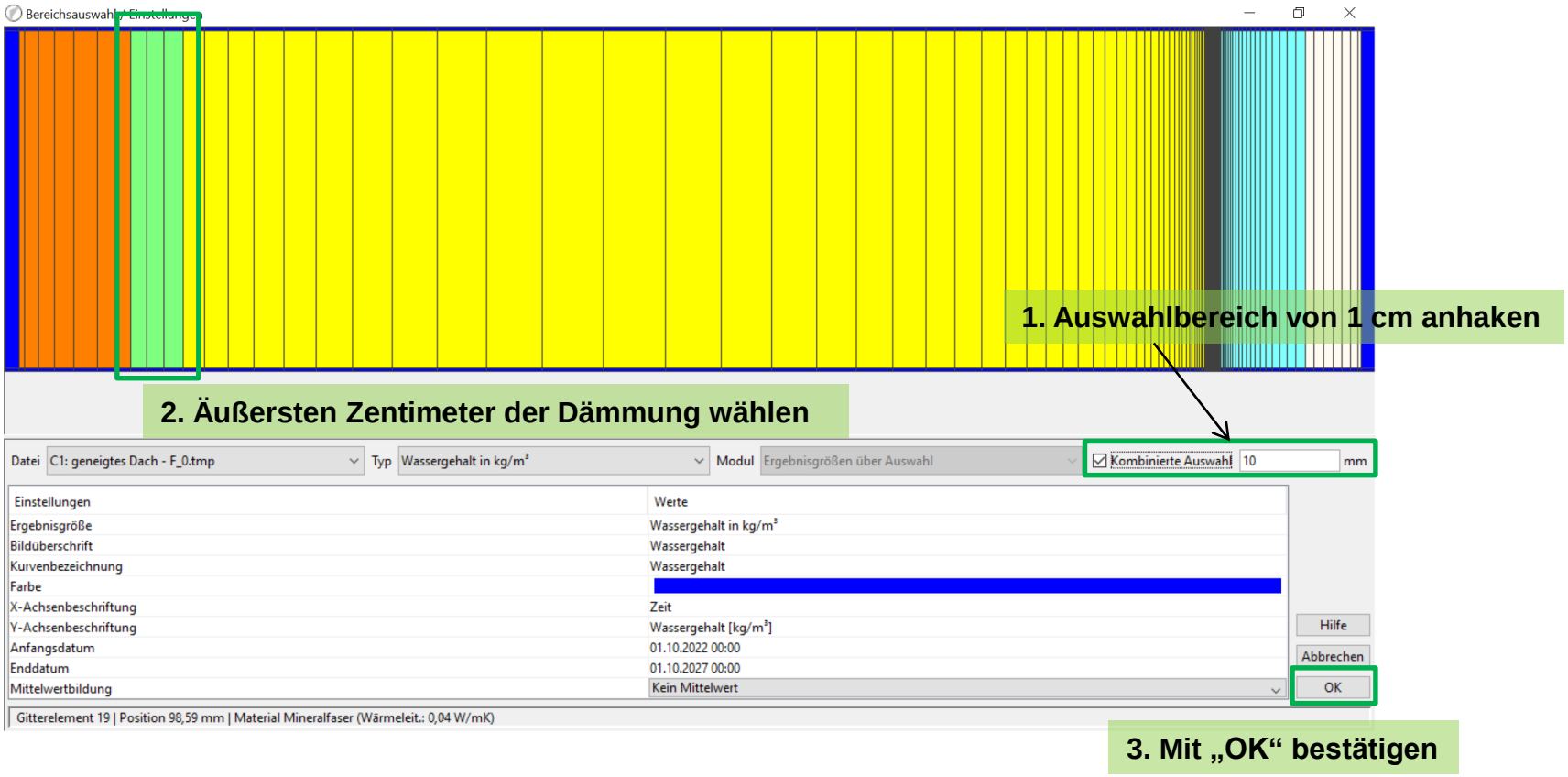


Hinweis:
Für Mineralfaserdämmung mit gemessener Feuchtespeicherfunktion kann ein anderes Auswerteverfahren herangezogen werden. Siehe Leitfaden zur Tauwasserauswertung.

Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

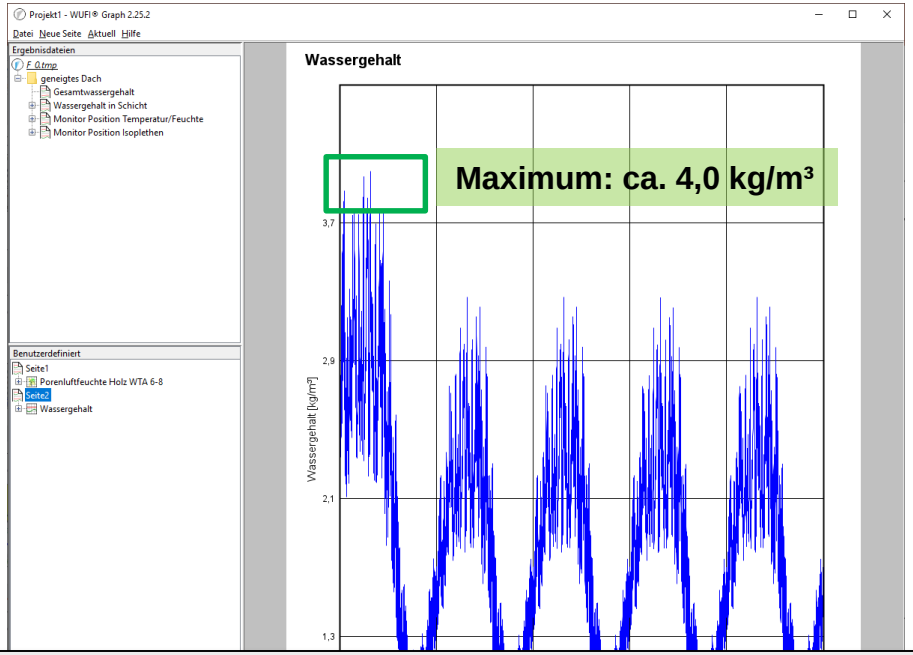
→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



Maximaler Wassergehalt = 4,0 kg/m³

4,0 kg/m³ * 0,01 m (Schichtdicke) = 0,040 kg/m² = 40 g/m²

→ Grenzwert von 200 g/m² 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!