

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von geneigten Dächern

Stand: November 2017

Einführung.....	Folie 3
Hinweise zur Eingabe	
– Bauteilaufbau.....	Folie 4
– Feuchtequelle.....	Folie 5
– Orientierung / Neigung.....	Folie 7
– Oberflächenübergangskoeffizient.....	Folie 8
– Anfangsbedingungen.....	Folie 13
– Steuerung.....	Folie 14
– Klima.....	Folie 15
Hinweise zur Auswertung	
– Mineralwollgedämmung.....	Folie 17
– Holzfaserdämmung.....	Folie 18
– Holzschalung.....	Folie 19
Literatur.....	Folie 23
Beispiel: Geneigtes Dach mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung...	Folie 24
– Konstruktionsaufbau und Randbedingungen.....	Folie 25
– Bewertungsmatrix.....	Folie 27
– Vorgehen bei der Eingabe.....	Folie 28
– Vorgehen bei der Auswertung.....	Folie 38

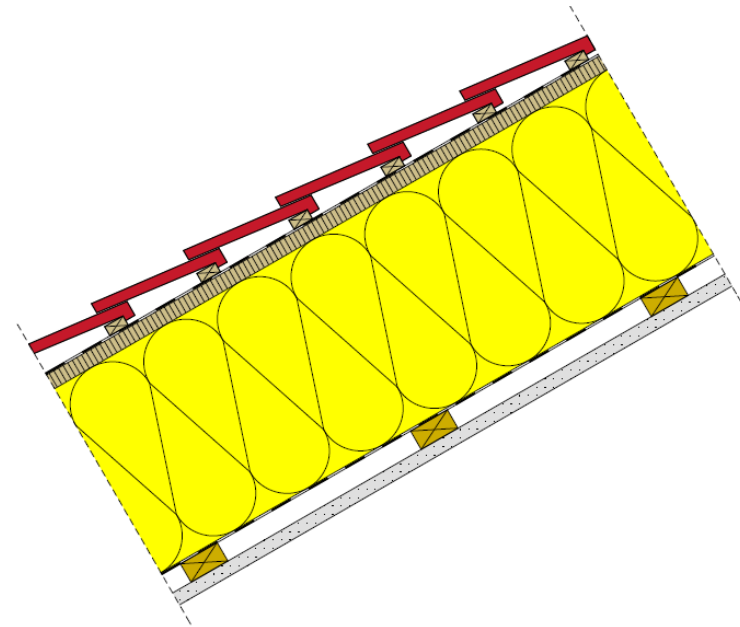
Dieser Leitfaden erläutert das Vorgehen bei der Berechnung und Bewertung von geneigten Dächern mit flächig verlegter Dampfbremse.

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.



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 Oberflächenübergangsparametern 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

Feuchteeintrag 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 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

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](#)

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.

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 10 cm 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 im [Leitfaden zur Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern](#) in Kapitel 8.

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

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

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.

Rote Dachziegel	$a = 0,67 - 0,78$		Kälteste Stelle	Mittlere Stelle	Wärmste Stelle
Graue Dachziegel	$a \sim 0,85$	Stark belüftet	$a_e = a \cdot 0,7$	$a_e = a \cdot 0,9$	$a_e = a$
Dunkle Dachziegel	$a = 0,9 - 0,94$	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 beträgt für eine Ziegeleindeckung 0,9.

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

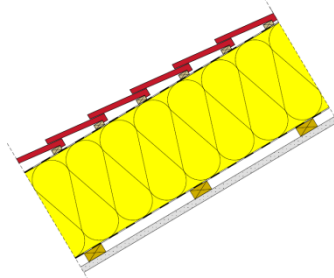
Innenklima:

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

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

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.



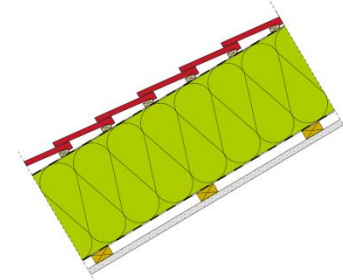
Zur Beurteilung der Ergebnisse werden die an der Unterdeckbahn anfallenden Tauwassermengen herangezogen. Ausgewertet wird hierfür der maximale Wassergehalt in $[\text{kg}/\text{m}^3]$ im äußeren Bereich der Mineralfaserdämmung. Hier wird zwischen Dämmstoffen mit interner Feuchtespeicherfunktion bzw.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

Nähere Informationen hierzu im [Leitfaden zur Tauwasserauswertung](#).

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.

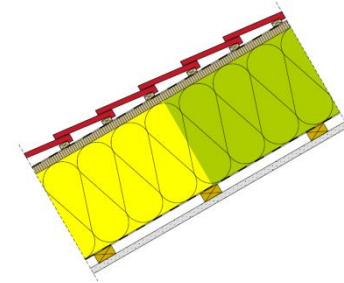


Ausgewertet wird hierfür die Holzfeuchte in [M.-%] im äußeren Zentimeter der Holzfaserdämmung im eingeschwungenen Zustand. Der Verlauf ist eingeschwungen, wenn sich der Wassergehalt nur noch im Jahresverlauf, jedoch nicht mehr von einem Jahr zum Nächsten ändert.

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 17+18](#) 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.

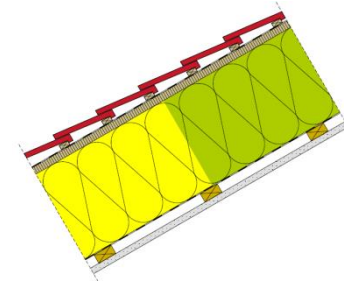
Dächer mit Dämmung und Holzschalung

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.

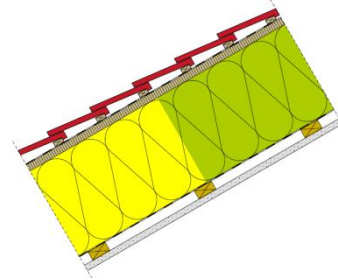


Dächer mit Dämmung und Holzschalung

Auswertung nach WTA-Merkblatt 6-8 [9]

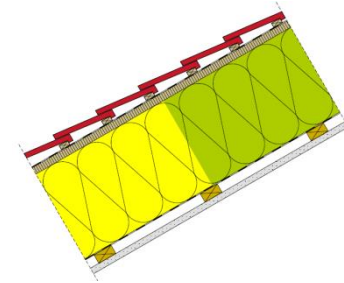
Wird der Grenzwert für Holz von 20 M.-% nach DIN 68800 [2] überschritten, kann zusätzlich eine Auswertung nach dem neuen WTA-Merkblatt 6-8 [9] durchgeführt werden. Hier erfolgt die Bewertung von Holzkonstruktionen anhand temperaturabhängiger Grenzwerte für die relative Porenluftfeuchte in einer 1 cm 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 Porenluftfeuchte 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.

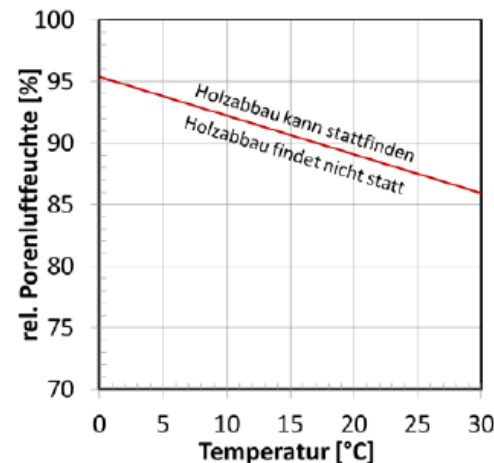
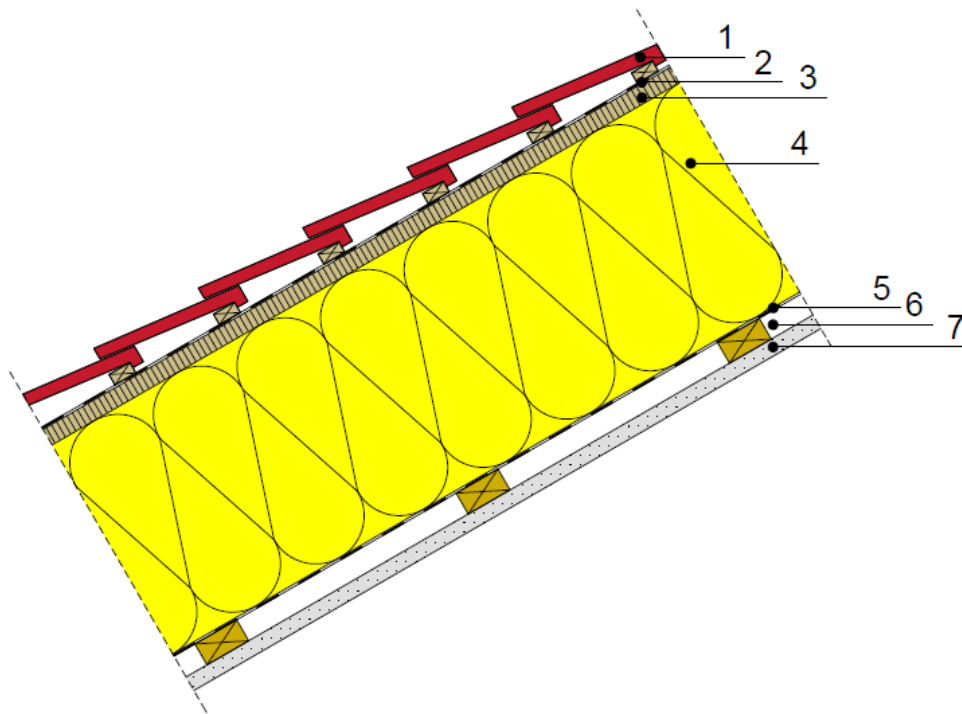


Abbildung 1: Grenzkurve der rel. Porenluftfeuchte bezogen auf die Temperatur einer 10 mm dicken Holzschicht, die im Tagesmittel nicht überschritten werden darf.

- [1] Kölsch, Ph.: Hygrothermische Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern. 2015. ([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.: Dampfkongvektion 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

Aufbau (von außen nach innen):

- Rote Dachsteineindeckung
- Witterungsschutzbahn ($s_d = 0,01 \text{ m}$)
- Holzschalung (Weichholz) 0,025 m
- Mineralfaser (Wärmeleitfähigk.: $0,04 \text{ W/mK}$) 0,2 m
- feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex) 0,001 m
- Luftschicht 0,02 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

Randbedingungen:

- Steildach (30° nach Norden geneigt)
- Rote Dachsteineindeckung
($a = 0,77$; $\varepsilon = 0,84$)
- Normal belüftetes Dach (mittlere Stelle)
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: EN 15026 mit normaler Feuchtelast
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Höhe der Luftsäule: 5 m

Beispiel: Bewertungsmatrix

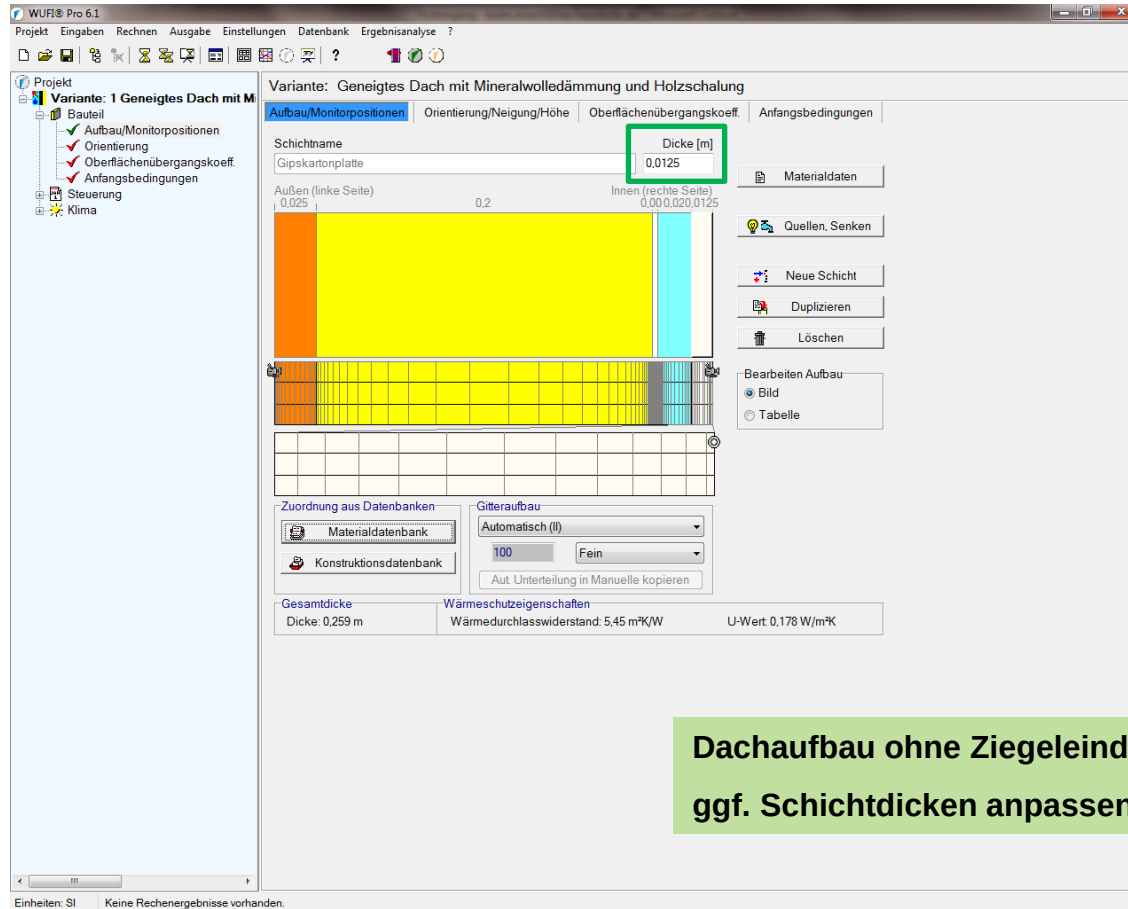
Bewertungsmatrix:

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



Dachaufbau ohne Ziegeleindeckung eingeben
ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Infiltrationsquelle nach DIN 68800 in der Holzschalung berücksichtigen.

The screenshot displays the WUFI8 Pro 6.1 software interface. The main window shows a cross-section of a building with a yellow insulation layer and an orange brick layer. A green box highlights the 'Bauteilschicht markieren' (Mark building layer) button. Another green box highlights the 'Quellen und Senken' (Sources and Sinks) button. A third green box highlights the 'Neue Feuchtequelle' (New moisture source) button in the 'Hygrothermische Quellen' (Hygrothermal Sources) dialog box.

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

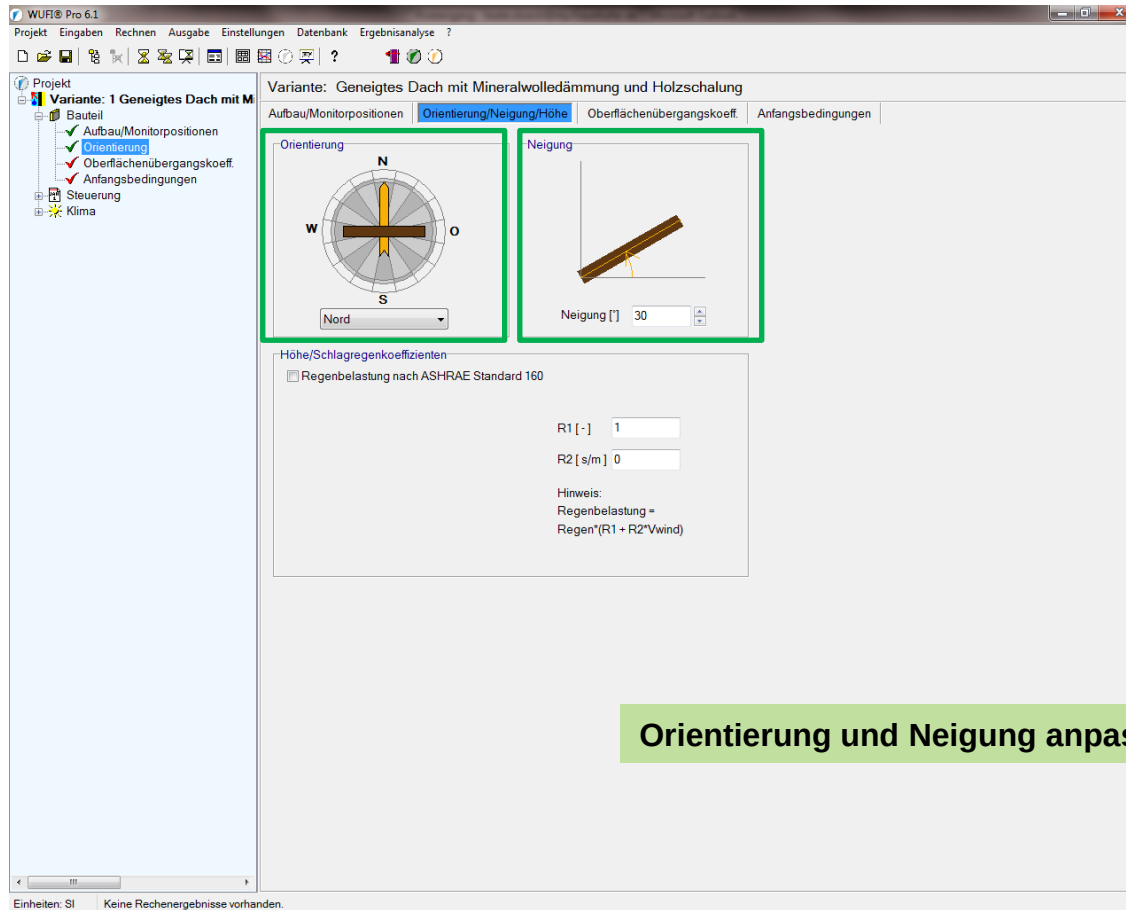
Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren
5 mm der Holzschalung.

Beispiel: Eingabe – Orientierung / Neigung

Eingabe: Bauteil - Orientierung



Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel: Eingabe – Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Variante: Gegendach mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung

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

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K] 19 Benutzerdefiniert

beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/m²K] 0

Windabhängig ☐ ...

Sd-Wert [m] 0,01 Benutzerdefiniert
Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-] 0,69 Benutzerdefiniert

Langwellige Strahlungsemissionszahl [-] 0,84

Explizite Strahlungsbilanz ☒ ...
Hinweis: diese Option dient u. a. zur Berücksichtigung der Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung. In sensiblen Fällen sind hinreichend genaue Gegenstrahlungsdaten erforderlich.

Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-] 0,2 Standardwert

Anhaftender Anteil des Regens [-] ---- Keine Regenwasserabsorption

Innenoberfläche (rechte Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K] 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
($a_e = a \cdot 0,9 = 0,77 \cdot 0,9 = 0,69$)

Explizite Strahlungsbilanz einschalten ($\epsilon = 0,84$)!

Keine Regenwasserabsorption!

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel: Eingabe – Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

WUFI® Pro 6.1

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Geneigtes Dach mit M
- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - ✓ Orientierung
 - ✓ Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen**
 - Steuerung
 - Klima

Variante: Geneigtes Dach mit Mineralwolledämmung und Holzschalung

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

Anfangsfeuchte im Bauteil

- ☒ Über das Bauteil konstant
- ☐ In den einzelnen Schichten
- ☐ Aus Datei einlesen

Anfangstemperatur im Bauteil

- ☒ Über das Bauteil konstant
- ☐ Aus Datei einlesen

Relative Anfangsfeuchte [-] 0.8 Anfangstemperatur im Bauteil [°C] 20

Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wasser- gehalt [kg/m³]
1	Weichholz	0.025	60.0
2	Mineralfaser (Wärmeleit: 0.04 W/mK)	0.2	1.79
3	ISOVER Vario KM Duplex	0.001	3.5
4	Luftschicht 20 mm	0.02	1.88
5	Gipskartonplatte	0.0125	6.3

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel: Eingabe – Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The left sidebar displays a project tree with 'Variante: 1 Geneigtes Dach mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung' selected. The main window shows the 'Rechendauer / Profile' tab. A table titled 'Start & Ende / Profile' is highlighted with a green border. The table contains the following data:

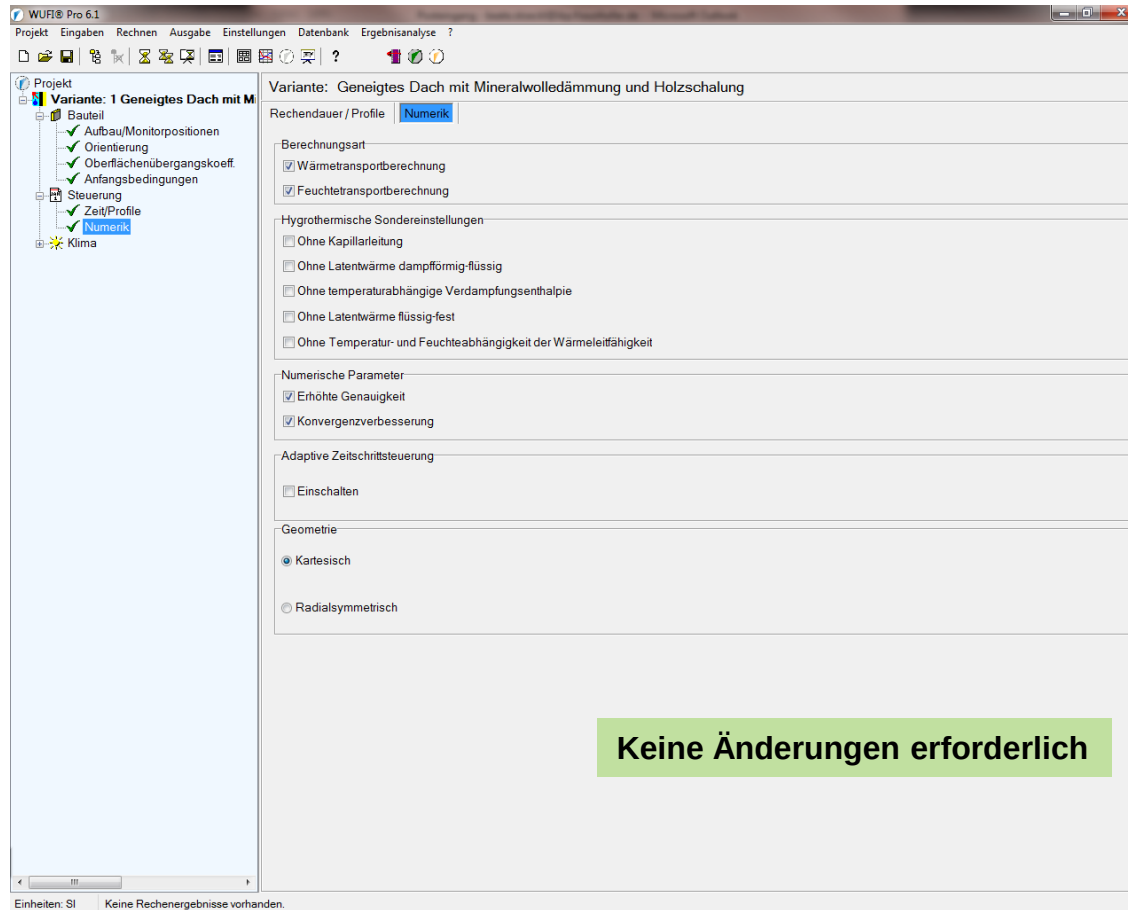
Rechnung	Profil	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2017	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2022	00:00:00

Below the table, there is a text input field for 'Rechenzeitschritt [h]' with the value '1'. To the right of the table, there are buttons for 'Neu', 'Entfernen', 'Kopieren', and 'Einfügen'. At the bottom of the window, the status bar indicates 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden'.

Rechenzeitraum anpassen

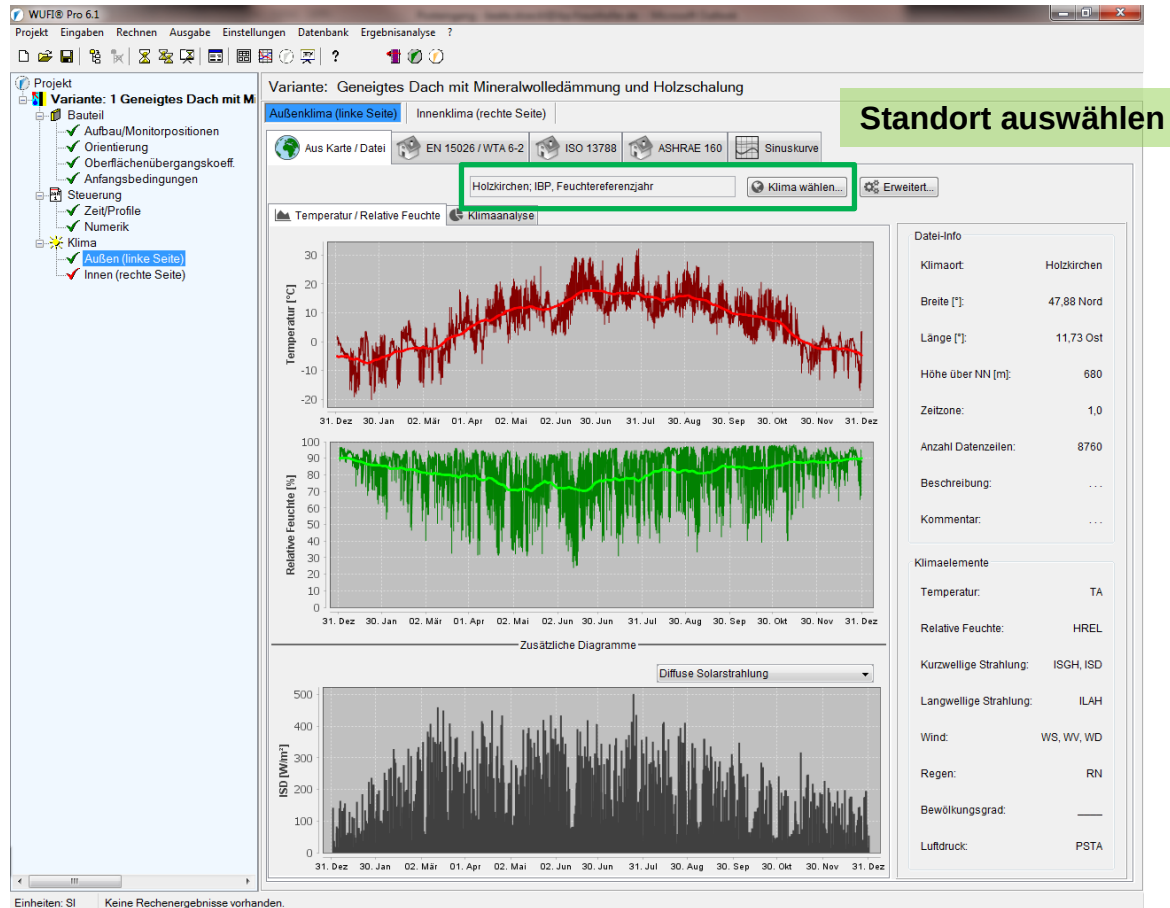
Beispiel: Eingabe – Numerik

Eingabe: Steuerung – Numerik



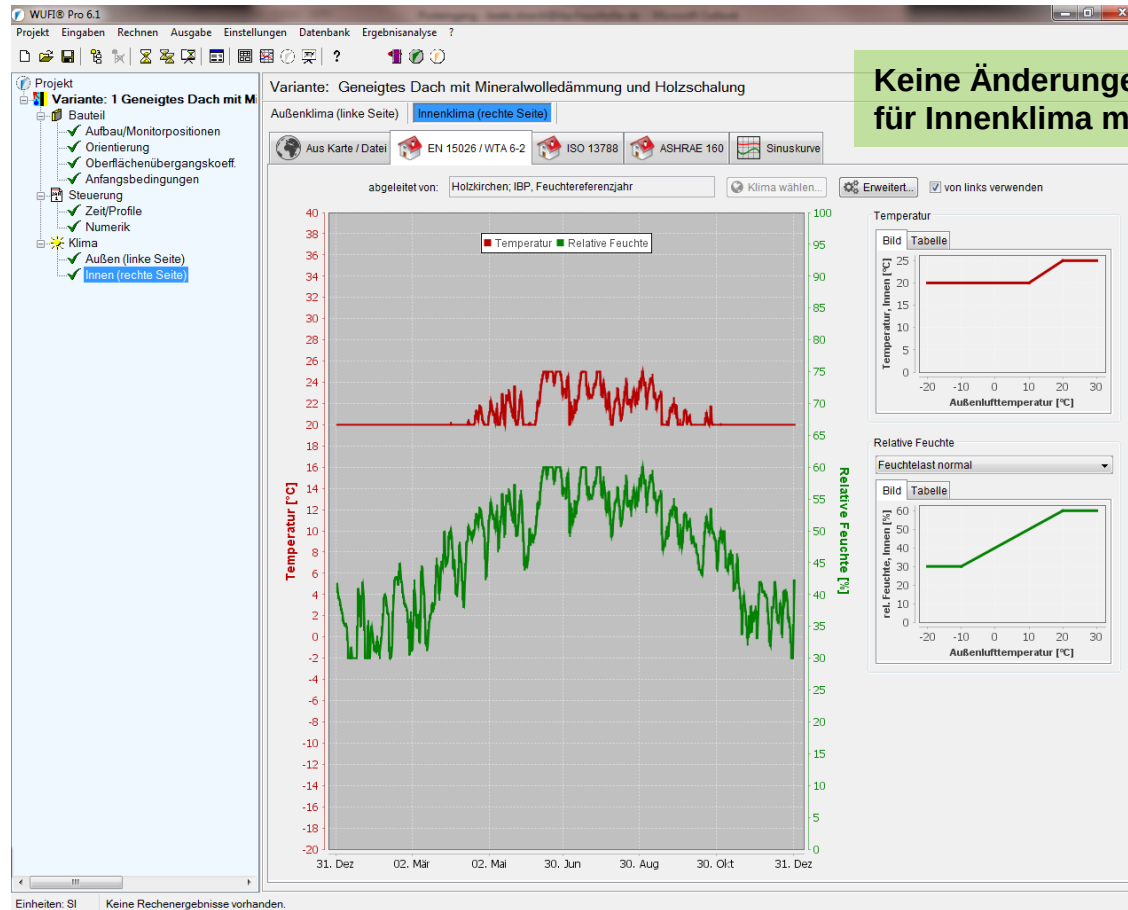
Beispiel: Eingabe - Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)



Beispiel: Eingabe - Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



Beispiel: Auswertung – Numerik

Auswertung: Numerik

Hinweis:

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

Letzter Rechenlauf

weisen auf eher s
Konvergenz hin.

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	04.05.2017 12:02:20
Rechenzeit	1 min,28 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2017 / 01.10.2022
Anzahl der Konvergenzfehler	127

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -2,01
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	6.1E-8 -1.17
Bilanz 1	[kg/m ²]	-0,36
Bilanz 2	[kg/m ²]	-0,37

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min	Max
				37

Konvergenzfehler, aber Bilanzen OK!
gute Berechnung mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung
(adaptive Zeitschrittsteuerung einschalten). Bei
Einstimmung der Bilanzen i.d.R. nicht erforderlich!

? 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	04.05.2017 12:10:53
Rechenzeit	1 min,38 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2017 / 01.10.2022
Anzahl der Konvergenzfehler	0

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m²]	0,0 -2,02
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m²]	6.1E-8 -1,17
Bilanz 1	[kg/m²]	-0,36
Bilanz 2	[kg/m²]	-0,38

Wassergehalt [kg/m³]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	1,98	1,62	1,16	2,37

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
------------------	-------	------	------	------

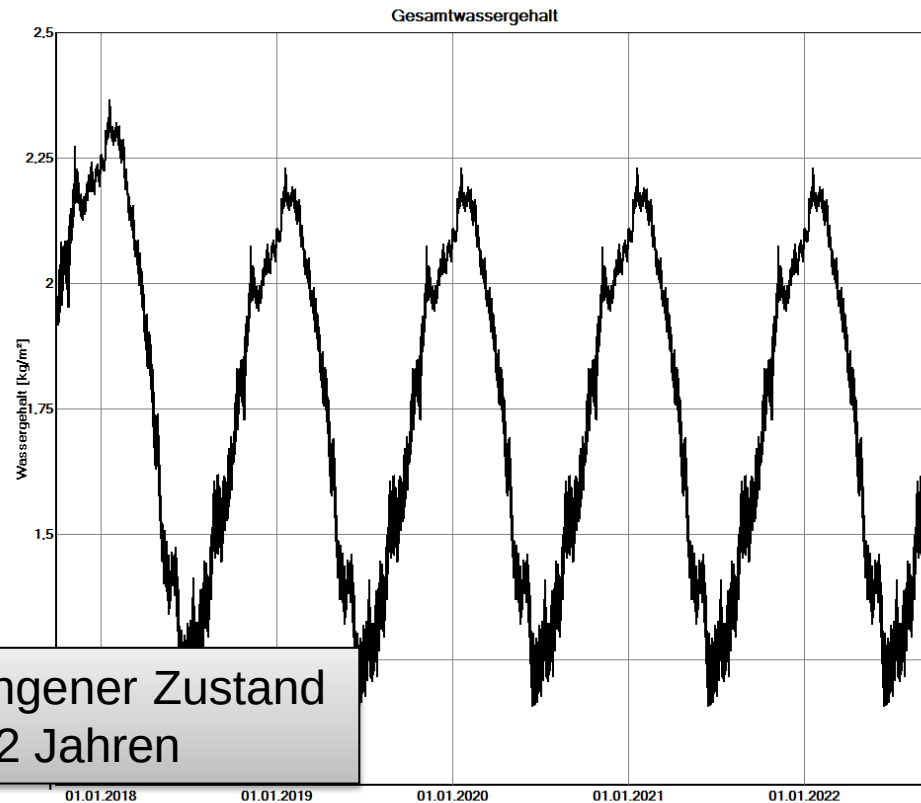
☐ Rechnung gesperrt

Schließen Hilfe



Beispiel: Auswertung – Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt

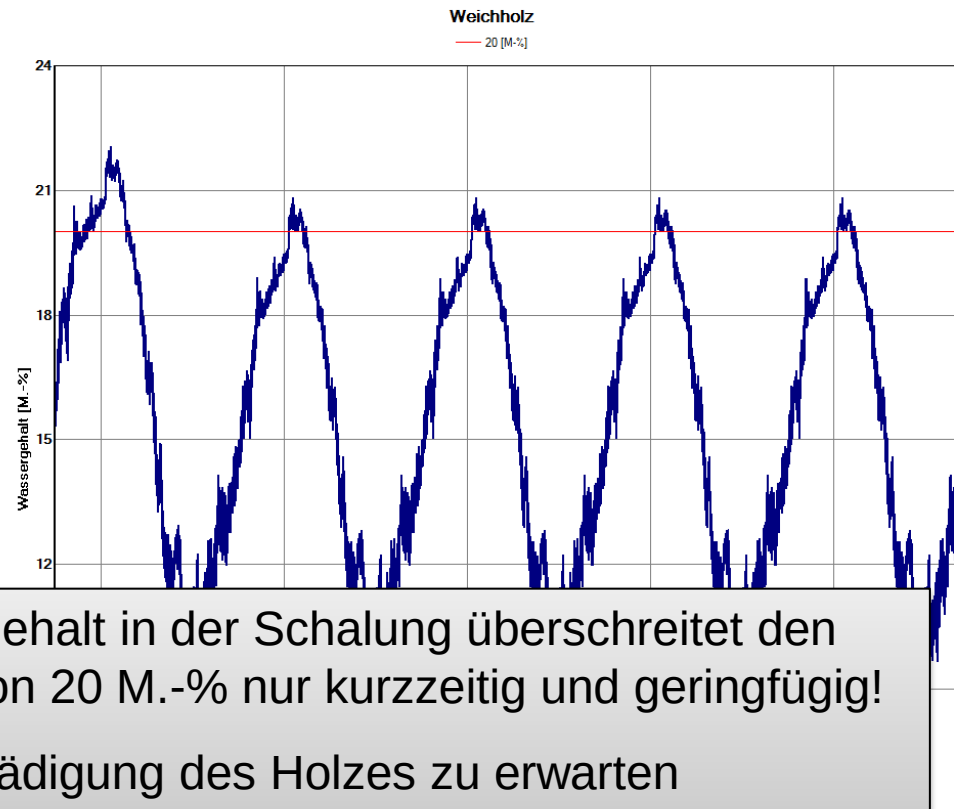


Eingeschwungener Zustand
nach 2 Jahren



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



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

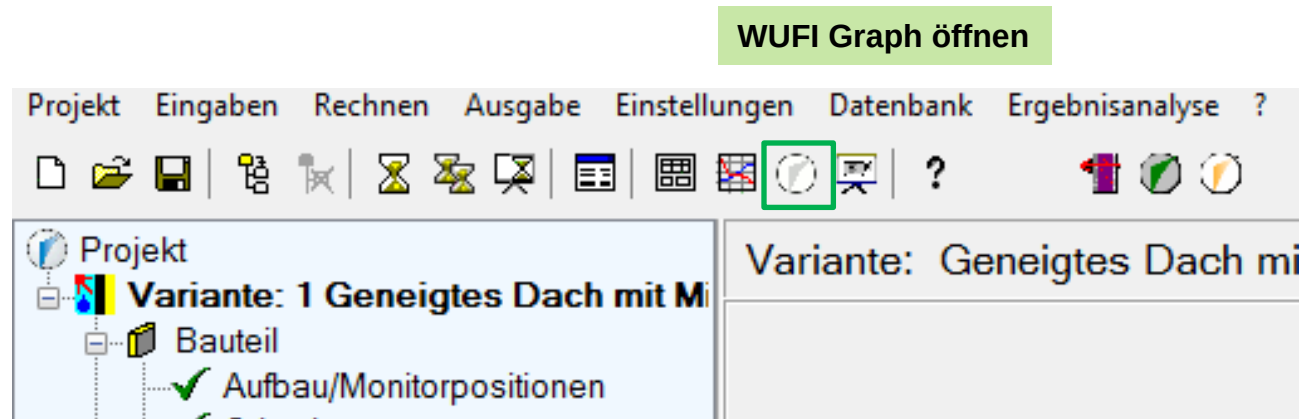
→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten

→ zusätzlich: Auswertung der Holzfeuchte nach WTA



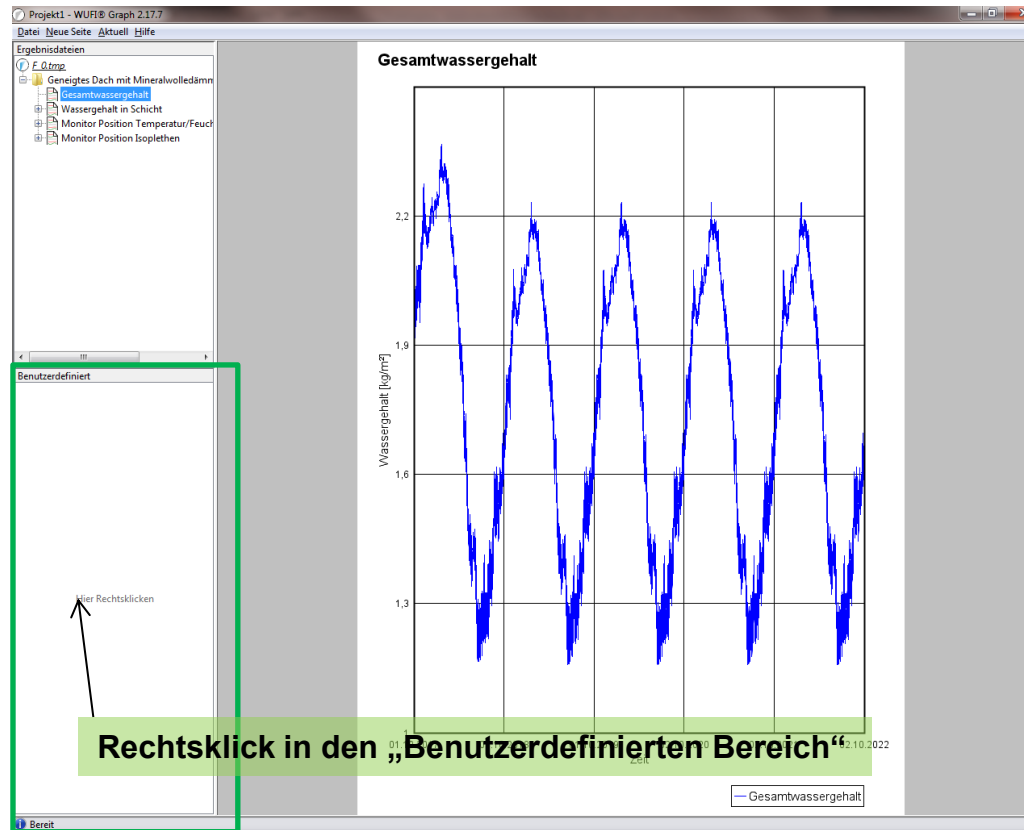
Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



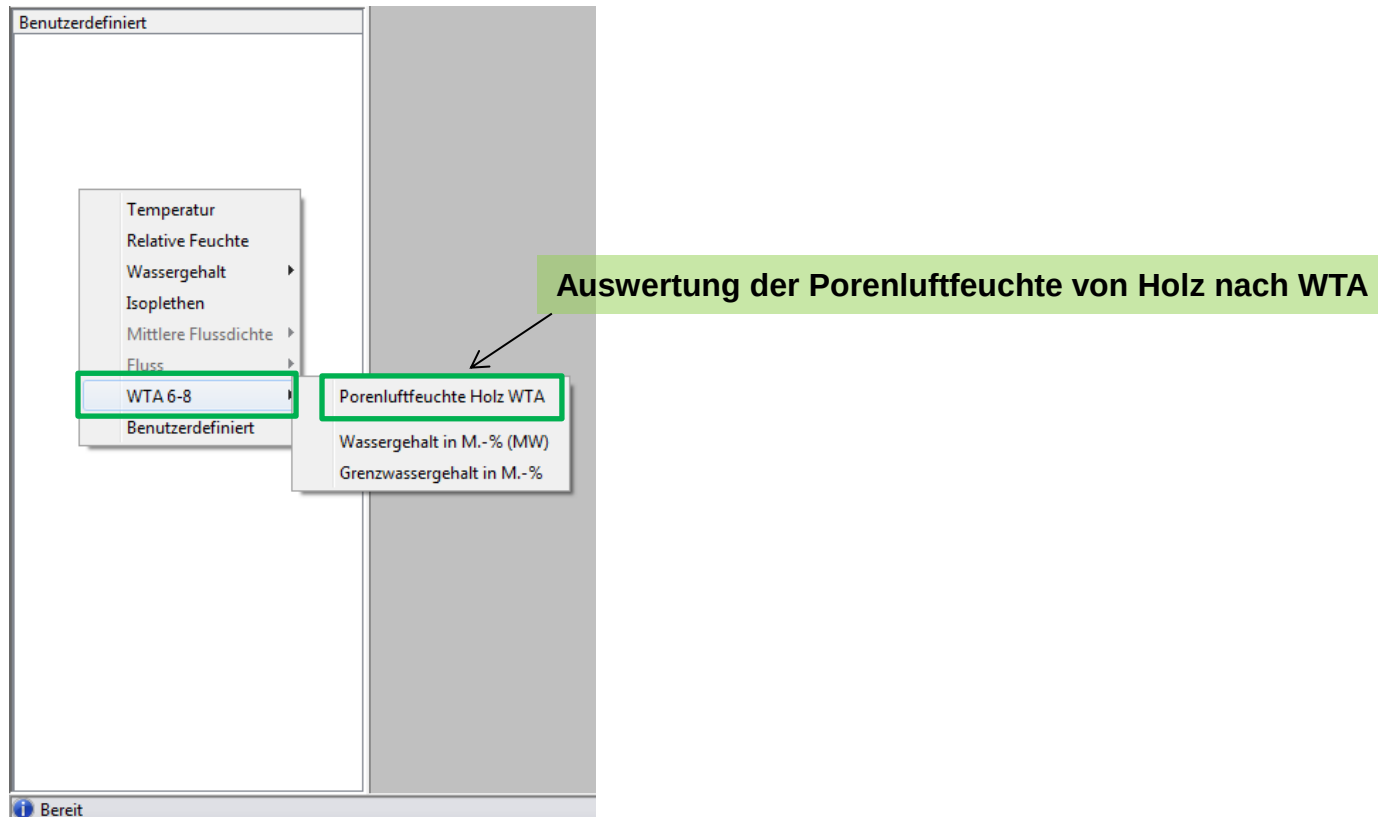
Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



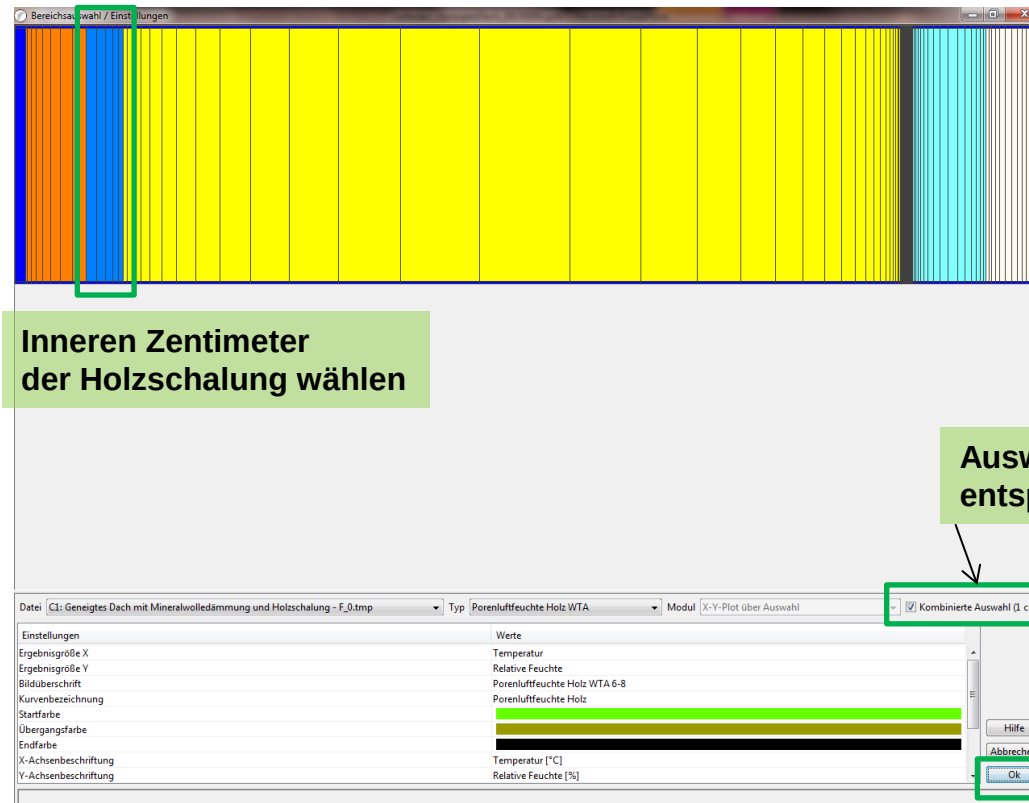
Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



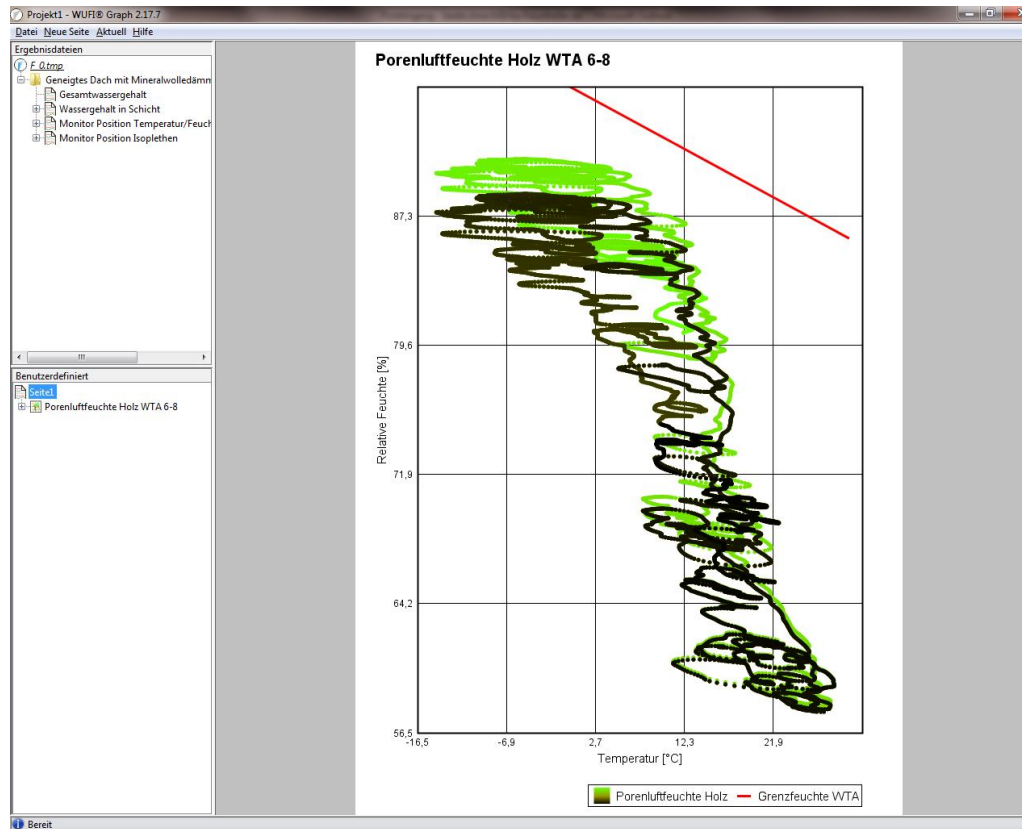
Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



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

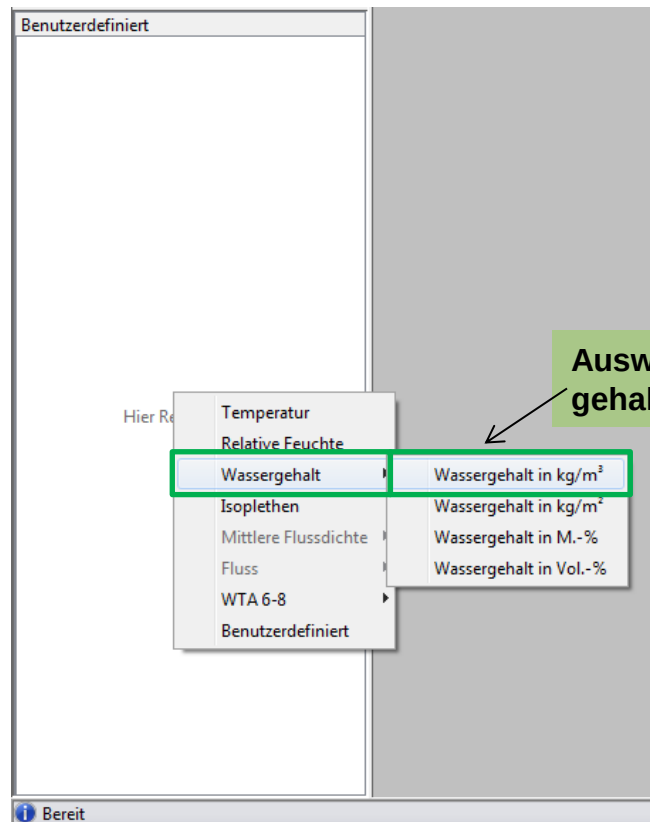
→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten



Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



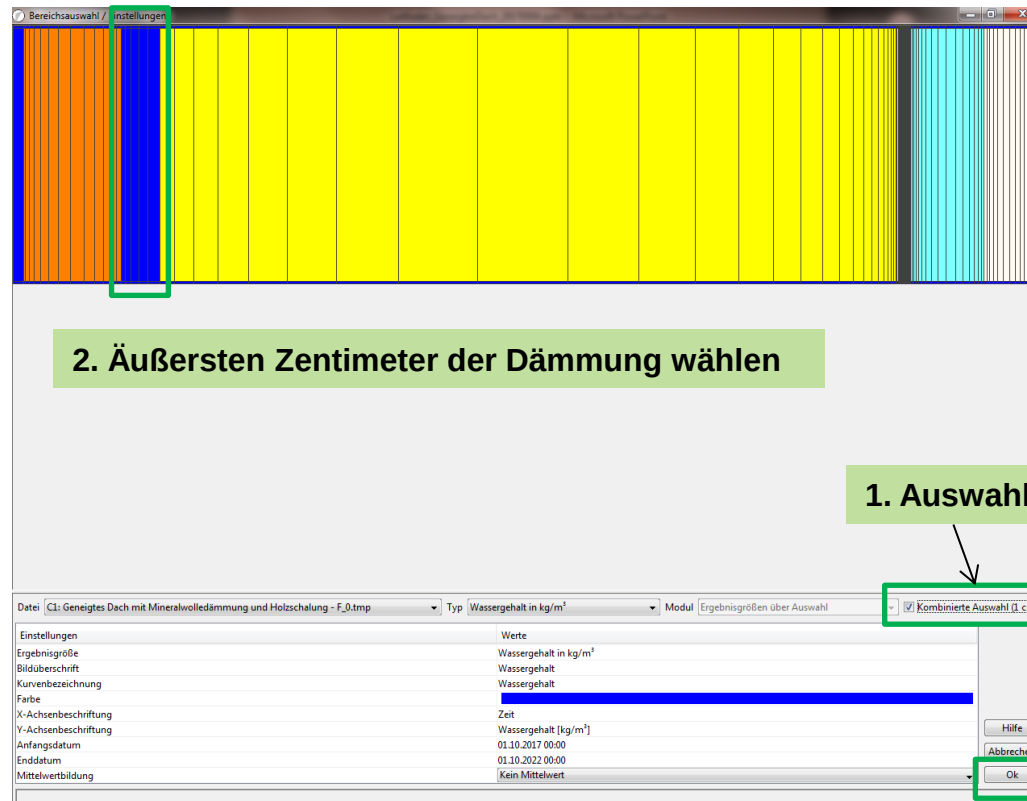
Hinweis:

Für Mineralfaserdämmung mit gemessener Feuchtespeicherfunktion kann ein anderes Auswerteverfahren herangezogen werden. Siehe [Leitfaden zur Tauwasserauswertung](#).

Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

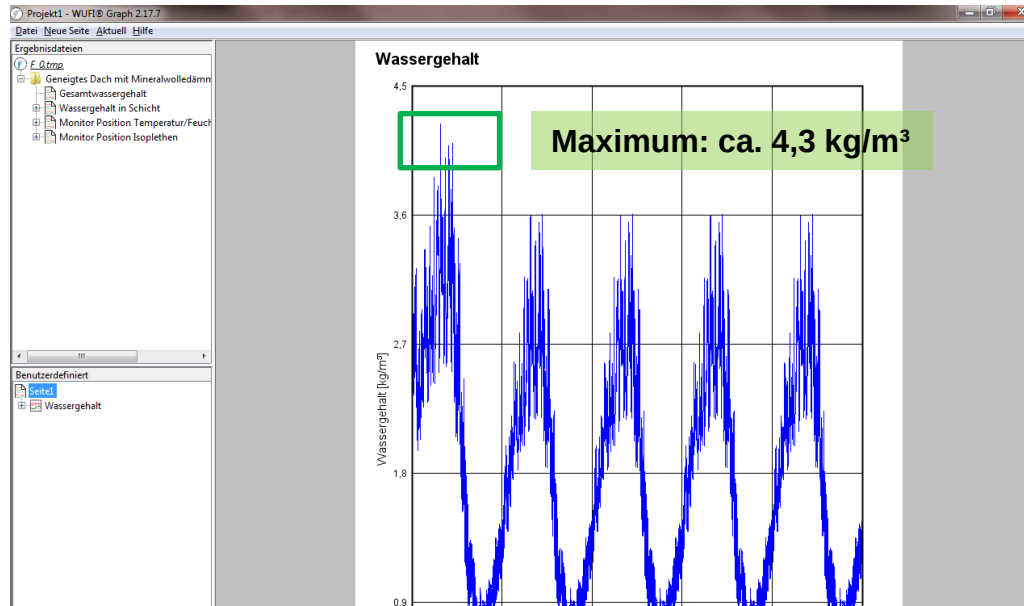
→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



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

$4,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m (Schichtdicke)} = 0,043 \text{ kg/m}^2 = 43 \text{ g/m}^2$

→ 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!