

**WUFI®**

# Leitfaden zur Berechnung von Flachdächern

Stand: November 2017

Einführung.....	<a href="#">Folie 3</a>
Hinweise zur Eingabe	
– Bauteilaufbau.....	<a href="#">Folie 4</a>
– Feuchtequelle.....	<a href="#">Folie 5</a>
– Orientierung / Neigung.....	<a href="#">Folie 7</a>
– Oberflächenübergangskoeffizient.....	<a href="#">Folie 8</a>
– Anfangsbedingungen.....	<a href="#">Folie 11</a>
– Steuerung.....	<a href="#">Folie 12</a>
– Klima.....	<a href="#">Folie 13</a>
Hinweise zur Auswertung	
– Mineralwolledämmung.....	<a href="#">Folie 15</a>
– Holzfaserdämmung.....	<a href="#">Folie 16</a>
– Holzschalung.....	<a href="#">Folie 17</a>
Literatur.....	<a href="#">Folie 21</a>
Beispiel: Flachdach mit Mineralwolledämmung und Holzschalung.....	<a href="#">Folie 22</a>
– Konstruktionsaufbau und Randbedingungen.....	<a href="#">Folie 23</a>
– Bewertungsmatrix.....	<a href="#">Folie 25</a>
– Vorgehen bei der Eingabe.....	<a href="#">Folie 26</a>
– Vorgehen bei der Auswertung.....	<a href="#">Folie 36</a>

---

# Einführung

---

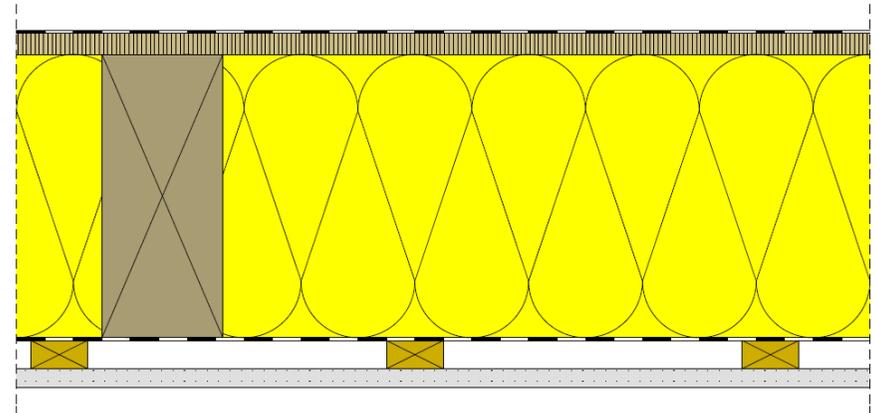
Dieser Leitfaden erläutert das Vorgehen bei der Berechnung und Bewertung von Flachdächern in Holzbauweise ohne Auflast.

Zur Beurteilung von begrünten oder bekiesten Flachdachkonstruktionen stehen folgende Leitfäden zur Verfügung:

- [Leitfaden zur Berechnung von extensiv begrünten Dächern](#)
- [Leitfaden zur Berechnung von bekiesten Dächern](#)

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

### Dachbahn

Die Dachbahn wird nicht als Bauteilschicht mitberechnet, sondern als  $s_d$ -Wert bei den Oberflächenübergangsparmetern 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 des 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 [2].

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

#### Außenoberfläche

Der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenoberfläche wird für Flachdächer entsprechend Erfahrungswerten des IBP aus zahlreichen Freiland- und Objektuntersuchungen mit  $19 \text{ W/m}^2\text{K}$  angesetzt.

Die in der Norm vorgeschlagenen  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$  entsprechen einer mittleren Windgeschwindigkeit von über  $6 \text{ m/s}$ , was deutlich über dem Mittelwert für Deutschland mit  $3,5 \text{ m/s}$  und damit zu weit auf der sicheren Seite liegt. (Wenn auch der kurzfristige Verlauf der Oberflächentemperaturen zu bewerten ist, sollte die Einstellung „windabhängig“ gewählt werden.)

#### Innenoberfläche

Der Wärmeübergangskoeffizient an der Innenoberfläche wird entsprechend der DIN 4108-3 [3] mit  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$  angesetzt.

## Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

### $s_d$ -Wert an der Außenoberfläche

Die Dachbahn wird nicht als Bauteilschicht berücksichtigt, sondern als  $s_d$ -Wert bei den Oberflächenübergangsparemtern angegeben.

### Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl ist in Abhängigkeit von der Farbgebung der Dachbahn zu wählen.

### Langwellige Strahlungsemissionszahl

Die langwellige Strahlungsemission beträgt für Dachbahnen i.d.R. 0,9.

Die explizite Strahlungsbilanz ist bei Dächern aufgrund des starken Strahlungsaustauschs mit der Atmosphäre grundsätzlich einzuschalten, um die Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung zu berücksichtigen.

## Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

### Anhaftender Anteil des Regens

Da die Dachbahn den Niederschlag abhält, im Bauteilaufbau in WUFI® aber nicht enthalten ist, wird die Regenwasserabsorption ausgeschaltet.

Anmerkung: Die Einstellung zum  $s_d$ -Wert beeinflusst ausschließlich das Diffusionsverhalten und nicht den Flüssigtransport.

## Bauteil – Anfangsbedingungen

### Anfangstemperatur und -feuchte:

Als Voreinstellung kann 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. 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.

### 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 [4] für 11 Standorte in Deutschland erstellt wurden. Diese Standorte sind repräsentativ für die jeweilige Klimaregion. 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.

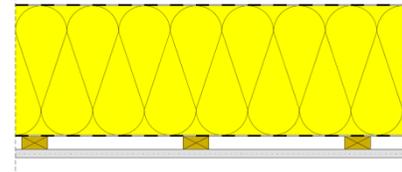
### Klima

#### Innenklima:

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

Alternativ können je nach Nutzung des Gebäudes auch das Innenklima nach EN 15026 [6] mit normaler bzw. hoher Feuchtelast oder z.B. konstante oder gemessene Bedingungen angesetzt werden.

### Dächer mit Mineralwolledämmung ohne Holzschalung

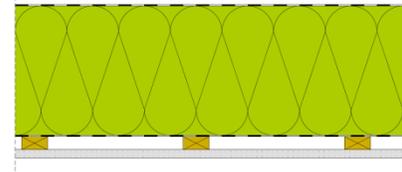


Diese Aufbauten weisen im Regelquerschnitt (im Gefach) keine feuchteempfindlichen Materialien auf. Lediglich an der Dachbahn kann es aufgrund des im Vergleich zur Dämmung höheren Diffusionswiderstands ggf. zu temporär erhöhten Feuchten oder Tauwasserbildung kommen.

Zur Beurteilung der Ergebnisse werden die an der Dachbahn 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 [7] 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 ohne Holzschalung



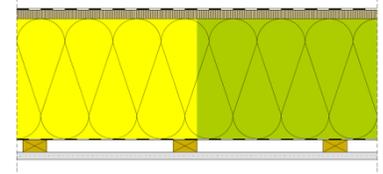
Bei Konstruktionen, die eine Holzfaserdämmung zwischen den Sparren aufweisen, erfolgt eine Auswertung der Holzfeuchte in der Holzfaserdämmung.

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 15+16](#) beurteilt.

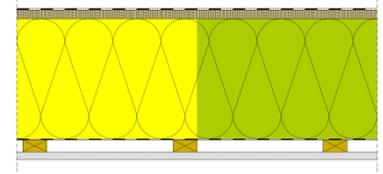


Zur Bewertung der Holzschalung wird der Verlauf der Holzfeuchte in [M.-%] in der Holzschalung im eingeschwungenen Zustand herangezogen. Als Grenzwert wird der in der DIN 68800 [1] angegebene Wert von 20 M.-% für Holz bzw. 18 M.-% für Holzwerkstoffe empfohlen. Wird diese Grenzfeuchte nicht überschritten, ist keine weitere Auswertung notwendig.

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

## Dächer mit Dämmung und Holzschalung

### Auswertung nach DIN 68800 [1]



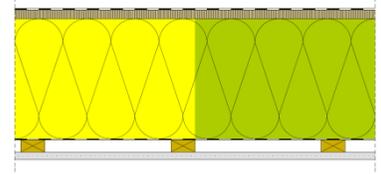
Feuchtetechnisch kritische Verhältnisse bezüglich einer Schädigung des Holzes können bei langfristigem Überschreiten der in der DIN 68800 [1] angegebenen Grenzwerte der Holzfeuchte von 20 M.-% für Holz bzw. 18 M.-% für Holzwerkstoffe auftreten.

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 [8]

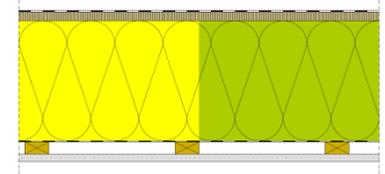


Wird der Grenzwert für Holz von 20 M.-% nach DIN 68800 [1] überschritten, kann zusätzlich eine Auswertung nach dem neuen WTA-Merkblatt 6-8 [8] durchgeführt werden. Hier erfolgt die Bewertung von Holzkonstruktionen anhand temperaturabhängiger Grenzwerte für die relative Porenluftfeuchte in einer 1 cm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



### 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.

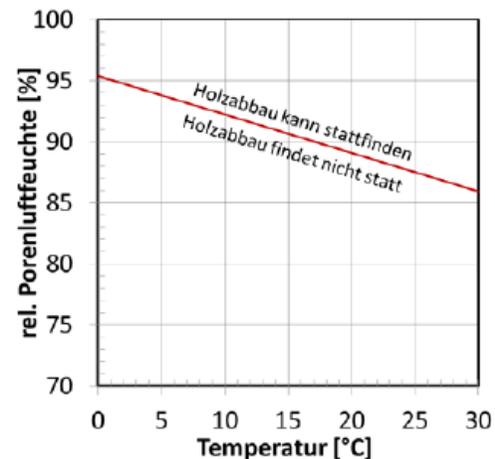
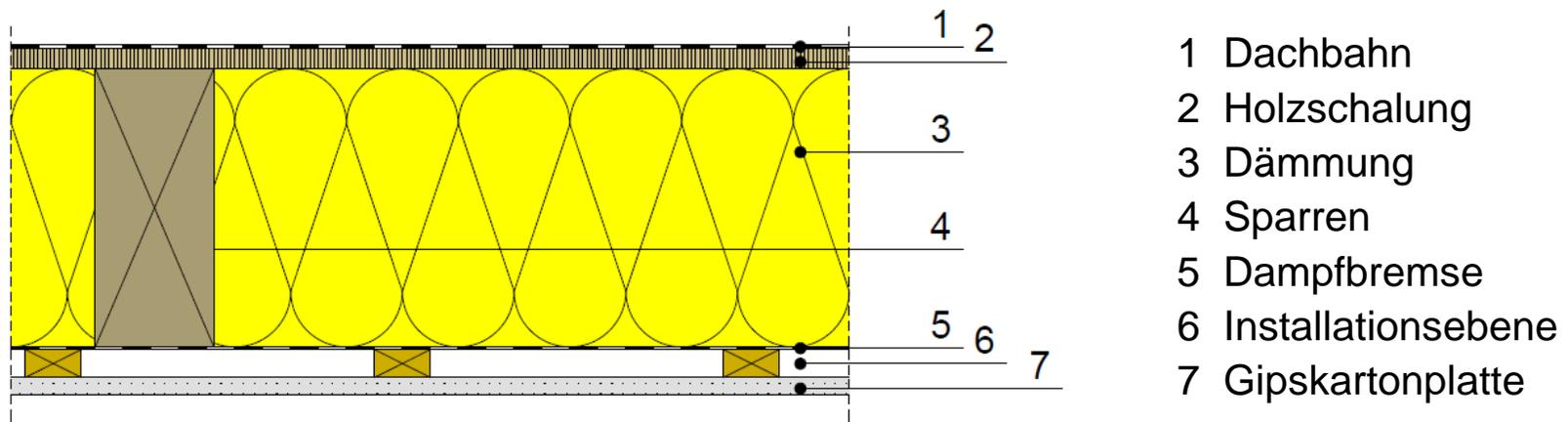


Abbildung 1: Grenzkurve der rel. Porenluftfeuchte bezogen auf die Temperatur einer 10 mm dicken Holzschicht, die im Tagesmittel nicht überschritten werden darf.

- [1] DIN 68800: Holzschutz im Hochbau. Beuth Verlag, Berlin 2012.
- [2] 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.
- [3] DIN 4108-3:2014-11: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag. Berlin 2014.
- [4] 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.
- [5] WTA-Merkblatt 6-2-14/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Dezember 2014.
- [6] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth Verlag, Berlin 2007.
- [7] 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.
- [8] WTA-Merkblatt 6-8-16/D: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulationen. 2016.

## Beispiel: Flachdach mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung

Am Beispiel eines Flachdachs in Holzbauweise mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Eingabe und der Beurteilung von Flachdächern beschrieben.



### Aufbau (von außen nach innen):

- Dachbahn ( $s_d = 300 \text{ m}$ )
- Holzschalung (Weichholz) 0,025 m
- Mineralfaser (Wärmeleitf.: 0,04 W/mK) 0,3 m
- feuchtevariable Dampfbremse (PA-Folie) 0,001 m
- Luftschicht 0,02 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

### Randbedingungen:

- Flachdach (3° nach Norden geneigt)
- Helle Dachbahn ( $a = 0,4$ ;  $\varepsilon = 0,9$ )
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: EN 15026 mit normaler Feuchtelast
- 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 von Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach DIN 68800 bzw. WTA 6-8)

# Beispiel: Eingabe – Bauteilaufbau

## Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI® Pro 6.1  
Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt  
Variante: 1 Flachdach mit Mineralwoll- und Holzschalung

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

Variante: Flachdach mit Mineralwoll- und Holzschalung

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

Schichtname: Gipskartonplatte | Dicke [m]: 0,0125

Außen (linke Seite): 0,025 | 0,3 | Innen (rechte Seite): 0,010, 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: 0,359 m  
Wärmeschutzigenschaften: Wärmedurchlasswiderstand: 7,95 m²K/W | U-Wert: 0,123 W/m²K

Einheiten: SI | Keine Rechenergebnisse vorhanden.

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 WUFI Pro 6.1 software interface. The main window shows a cross-section of a building construction with various layers. A green box highlights a specific layer, and a green callout box labeled "Bauteilschicht markieren" points to it. Another green callout box labeled "Quellen und Senken" points to a button in the software's control panel. A dialog box titled "Hygrothermische Quellen" is open, showing a table for adding moisture sources. A green callout box labeled "Neue Feuchtequelle" points to the "Neue Feuchtequelle..." button in the dialog.

**Quellen und Senken**

**Bauteilschicht markieren**

**Neue Feuchtequelle**

**Hygrothermische Quellen**

Schicht/Materialname:

Nr.	Typ	Bezeichnung

Buttons: , , , ,

Buttons: , ,

# Beispiel: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren  
5 mm der 25 mm dicken Holzschalung.

Bezeichnung Infiltrationsquelle

Verteilungsbereich

- Ein Element
- Mehrere Elemente
- Ganze Schicht

Quellentyp

- instationär aus Datei
- Anteil des Schlagsregens
- 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/m²h] 3

Luftdichtigkeitsklasse B

Höhe der Luftsäule [m] 5

Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa] 0

OK Abbrechen Hilfe

# Beispiel: Eingabe – Orientierung / Neigung

## Eingabe: Bauteil - Orientierung

WUFI Pro 6.1

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 Flachdach mit Mineral

Bauteil

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

Variante: Flachdach mit Mineralwollgedämmung und Holzschalung

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

Variante: Flachdach mit Mineralwolledämmung und Holzschalung

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

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/m <sup>2</sup> K]	19.0	Dach
beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/m <sup>2</sup> K]	6.5	
Windabhängig	<input type="checkbox"/>	...
Sd-Wert [m]	300	Benutzerdefiniert
Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme		
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]	0.4	Benutzerdefiniert
Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]	0.9	
Explizite Strahlungsbilanz	<input checked="" type="checkbox"/>	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/m <sup>2</sup> K]	8.0	(Dach)
Sd-Wert [m]	----	Keine Beschichtung

Wärmeübergangskoeffizient  
Flachdach = 19 W/m<sup>2</sup>K

s<sub>d</sub>-Wert der Dachbahn = 300 m

Farbgebung der Dachbahn  
(hier: helle Dachbahn mit a = 0,4)

Explizite Strahlungsbilanz einschalten (ε = 0,9)!

Keine Regenwasserabsorption!

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

# Beispiel: Eingabe – Anfangsbedingungen

## Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window is titled 'Variante: Flachdach mit Mineralwolldämmung und Holzschalung'. The 'Anfangsbedingungen' (Initial Conditions) tab is active. The 'Anfangsfeuchte im Bauteil' (Initial moisture in the component) is set to 'Über das Bauteil konstant' (Constant over the component). The 'Anfangstemperatur im Bauteil' (Initial temperature in the component) is also set to 'Über das Bauteil konstant'. The relative initial moisture is 0.8, and the initial temperature is 20°C. Below this, a table shows the initial moisture content in individual layers.

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Weichholz	0,025	60,0
2	Mineralfaser (Wärmeleit: 0,04 W/mK)	0,3	1,79
3	PA-Folie	0,001	0,44
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 main window is titled 'Variante: Flachdach mit Mineralwollendämmung und Holzschalung'. The left sidebar shows a project tree with 'Steuerung' selected, containing 'Zeit/Profile' and 'Numerik'. The main area displays a table for 'Start & Ende / Profile' with columns for 'Rechnung', 'Profile', 'Datum', and 'Stunde'. The table contains two rows: 'Start' (Profil 1, 01.10.2017, 00:00:00) and 'Ende' (Profil 2, 01.10.2022, 00:00:00). Below the table, there is a 'Rechenzeitschritt [h]' field set to 1. A green box highlights the table, and a green callout box points to it with the text 'Rechenzeitraum anpassen'.

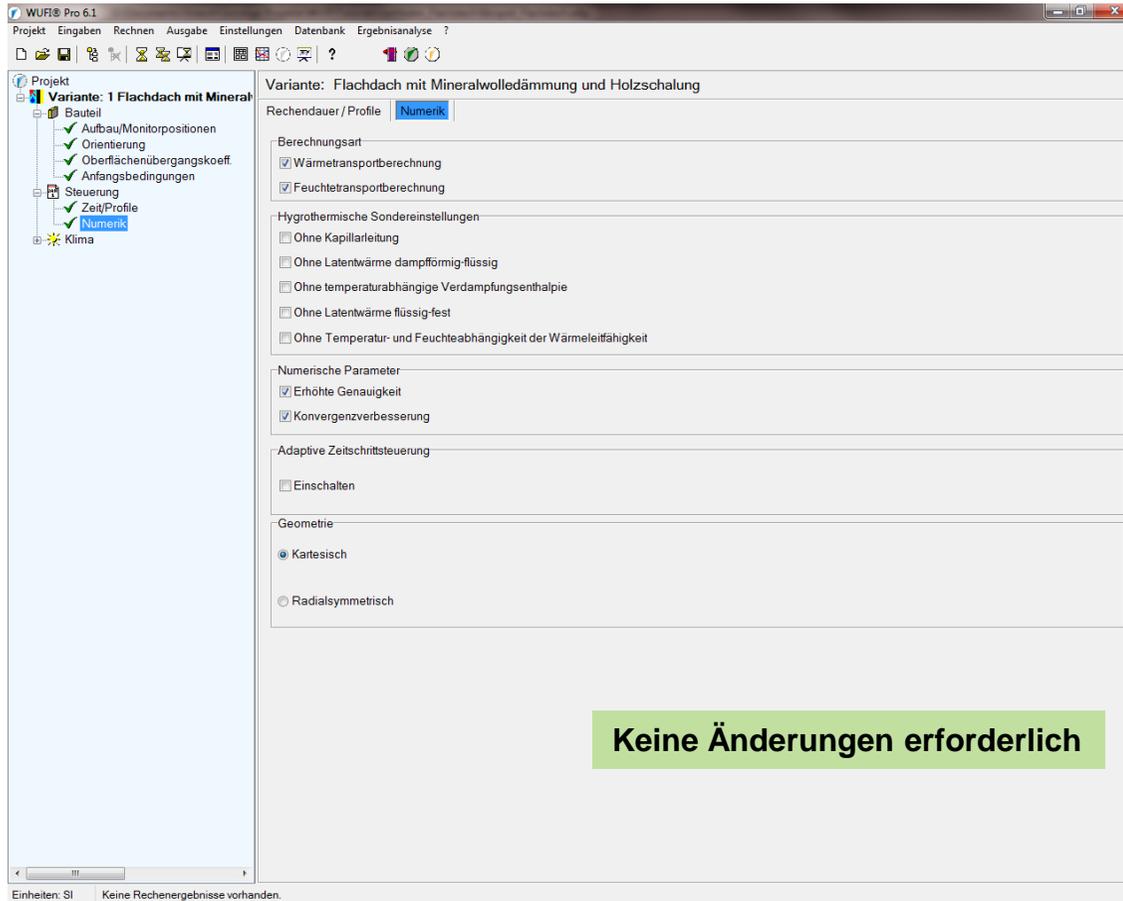
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2017	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2022	00:00:00

Rechenzeitschritt [h] 1

Rechenzeitraum anpassen

# Beispiel: Eingabe – Numerik

## Eingabe: Steuerung – Numerik



The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window title is "WUFI Pro 6.1". The menu bar includes "Projekt", "Eingaben", "Rechnen", "Ausgabe", "Einstellungen", "Datenbank", and "Ergebnisanalyse". The left sidebar shows a project tree with "Variante: 1 Flachdach mit Mineral" selected, and "Numerik" highlighted under "Steuerung". The main panel is titled "Variante: Flachdach mit Mineralwollendämmung und Holzschalung" and shows the "Numerik" settings. The "Rechendauer / Profile" section is active. The "Berechnungsart" section has "Wärmetransportberechnung" and "Feuchttransportberechnung" checked. The "Hygrothermische Sondereinstellungen" section has several options unchecked. The "Numerische Parameter" section has "Erhöhte Genauigkeit" and "Konvergenzverbesserung" checked. The "Adaptive Zeitschrittsteuerung" section has "Einschalten" unchecked. The "Geometrie" section has "Kartesisch" selected. A green box at the bottom right of the main panel 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 6.1 software interface. The main window title is 'WUFI Pro 6.1'. The menu bar includes 'Projekt', 'Eingaben', 'Rechnen', 'Ausgabe', 'Einstellungen', 'Datenbank', and 'Ergebnisanalyse'. The left sidebar shows a project tree with 'Variante: 1 Flachdach mit Mineral' selected, and sub-items like 'Bauteil', 'Steuerung', and 'Klima' (with 'Außen (linke Seite)' and 'Innen (rechte Seite)' checked).

The main area shows 'Variante: Flachdach mit Mineralwolldämmung und Holzschalung'. The 'Außenklima (linke Seite)' tab is active. A green box highlights the 'Holzkirchen, IBP, Feuchtereferenzjahr' dropdown menu and the 'Klima wählen...' button. A green callout box with the text 'Standort auswählen' points to this area.

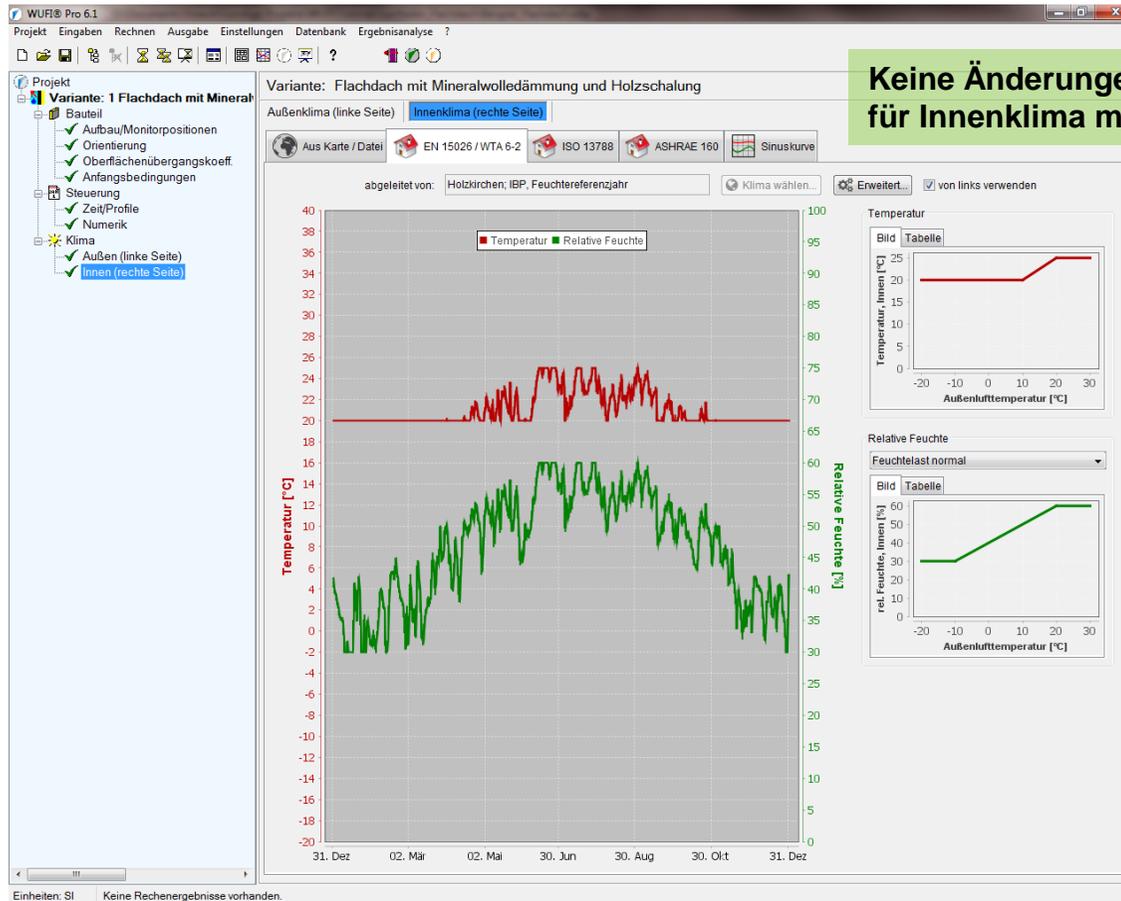
Below the dropdown, there are three charts: 'Temperatur / Relative Feuchte', 'Klimaanalyse', and 'Zusätzliche Diagramme' (set to 'Diffuse Solarstrahlung'). The 'Temperatur / Relative Feuchte' chart shows temperature (red line) and relative humidity (green line) over a year. The 'Zusätzliche Diagramme' chart shows diffuse solar radiation (ISD) in W/m² over a year.

On the right, the 'Datei-Info' panel lists: Klimaort: Holzkirchen, Breite [°]: 47,88 Nord, Länge [°]: 11,73 Ost, Höhe über NN [m]: 680, Zeitzone: 1,0, Anzahl Datenzellen: 8760, Beschreibung: ..., Kommentar: ... The 'Klimaelemente' panel lists: Temperatur: TA, Relative Feuchte: HREL, Kurzweilige Strahlung: ISGH, ISD, Langweilige Strahlung: ILAH, Wind: WS, WV, WD, Regen: RN, Bewölkungsgrad: —, Luftdruck: PSTA.

At the bottom left, it says 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.'.

# Beispiel: Eingabe - Raumklima

## Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



# Beispiel: Auswertung – Numerik

## Auswertung: Numerik

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	31.05.2017 14:01:54		
Rechenzeit	1 min,9 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/m <sup>2</sup> ]	0,0	-0,02
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m <sup>2</sup> ]	1,5E-7	0,92
Bilanz 1	[kg/m <sup>2</sup> ]	-0,42	
Bilanz 2	[kg/m <sup>2</sup> ]	-0,42	

Wassergehalt [kg/m<sup>2</sup>]

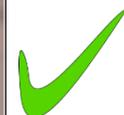
	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,15	1,73	1,72	2,4

Schicht/Material

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

Rechnung gesperrt

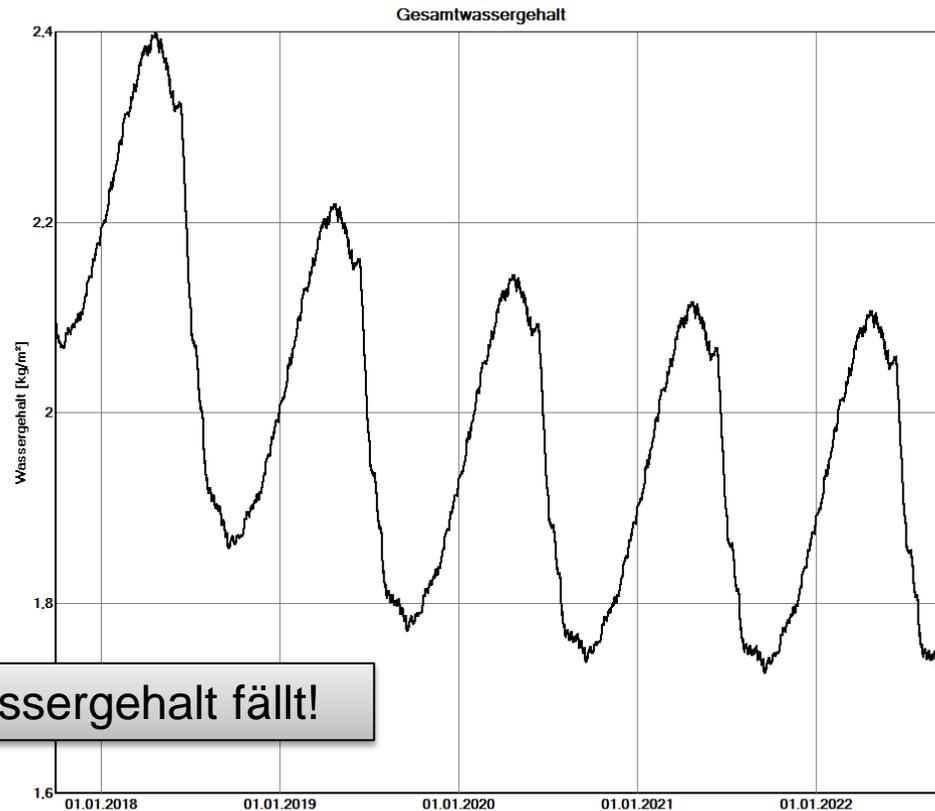
Schließen Hilfe



Keine Konvergenzfehler und keine Bilanzunterschiede!

# Beispiel: Auswertung – Gesamtwassergehalt

## Auswertung: Gesamtwassergehalt



Gesamtwassergehalt fällt!



# Beispiel: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



Der Wassergehalt in der Schalung liegt ab dem 2. Jahr dauerhaft unter dem Grenzwert von 20 M.-%.

- keine Schädigung des Holzes zu erwarten
- Exemplarisch wird noch die Auswertung der Holzfeuchte nach WTA gezeigt

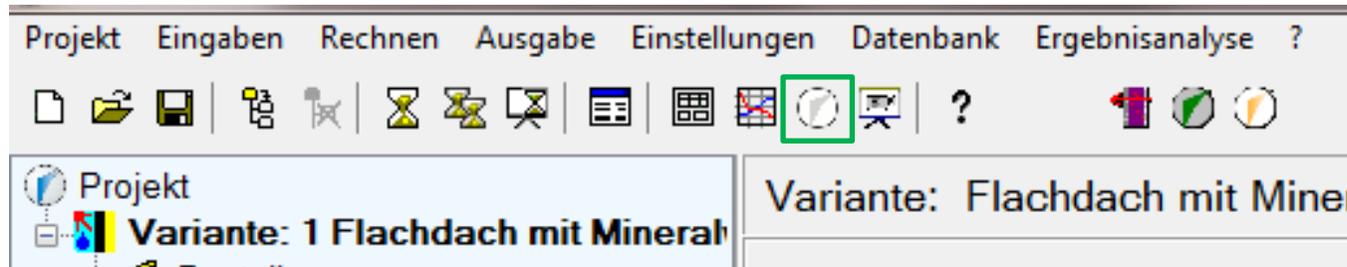


## Beispiel: Auswertung – Holzschalung

---

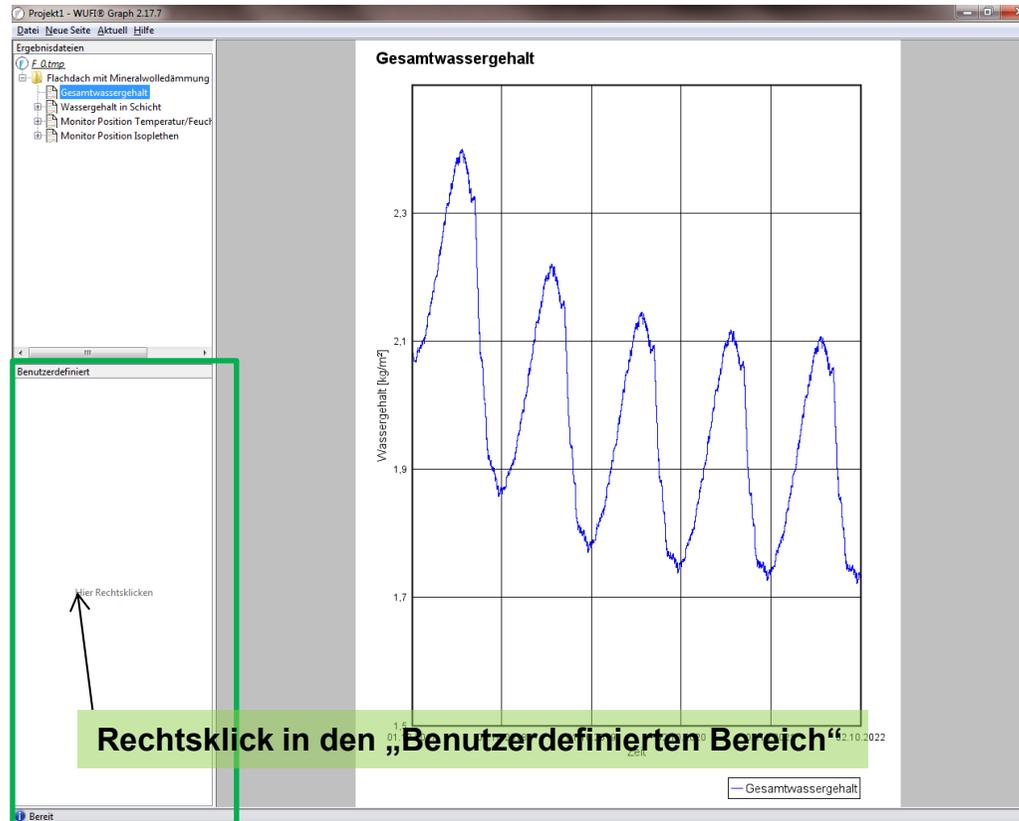
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8

WUFI Graph öffnen



# Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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



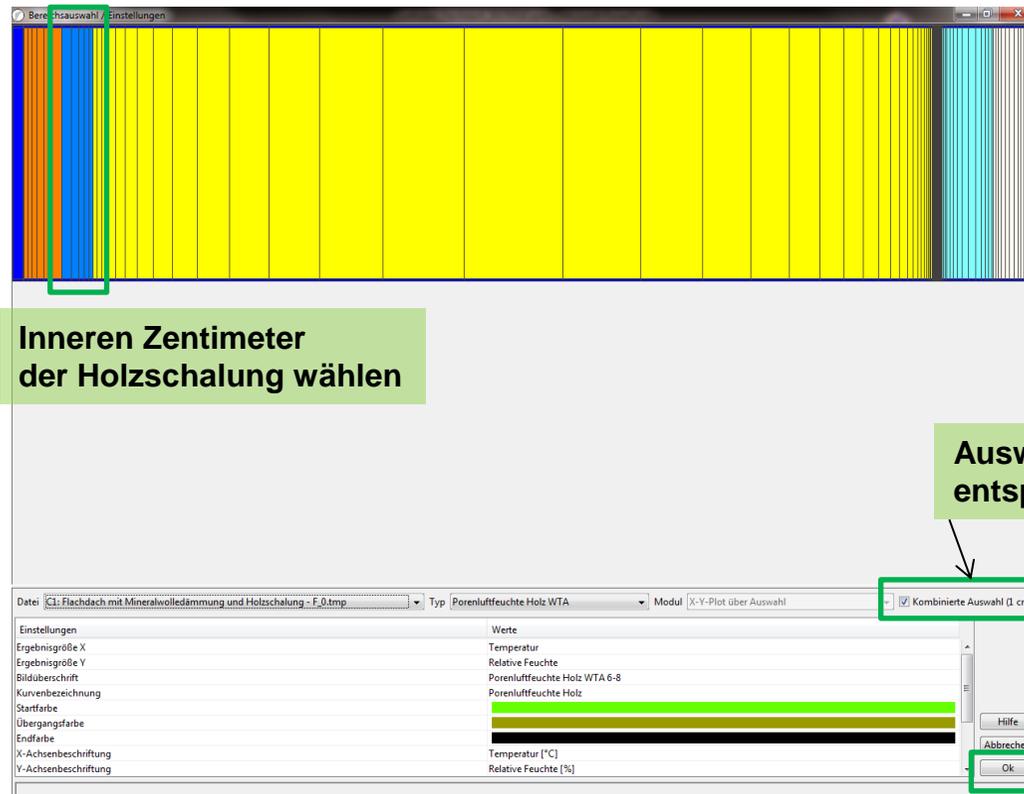
# Beispiel: Auswertung – Holzschalung

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

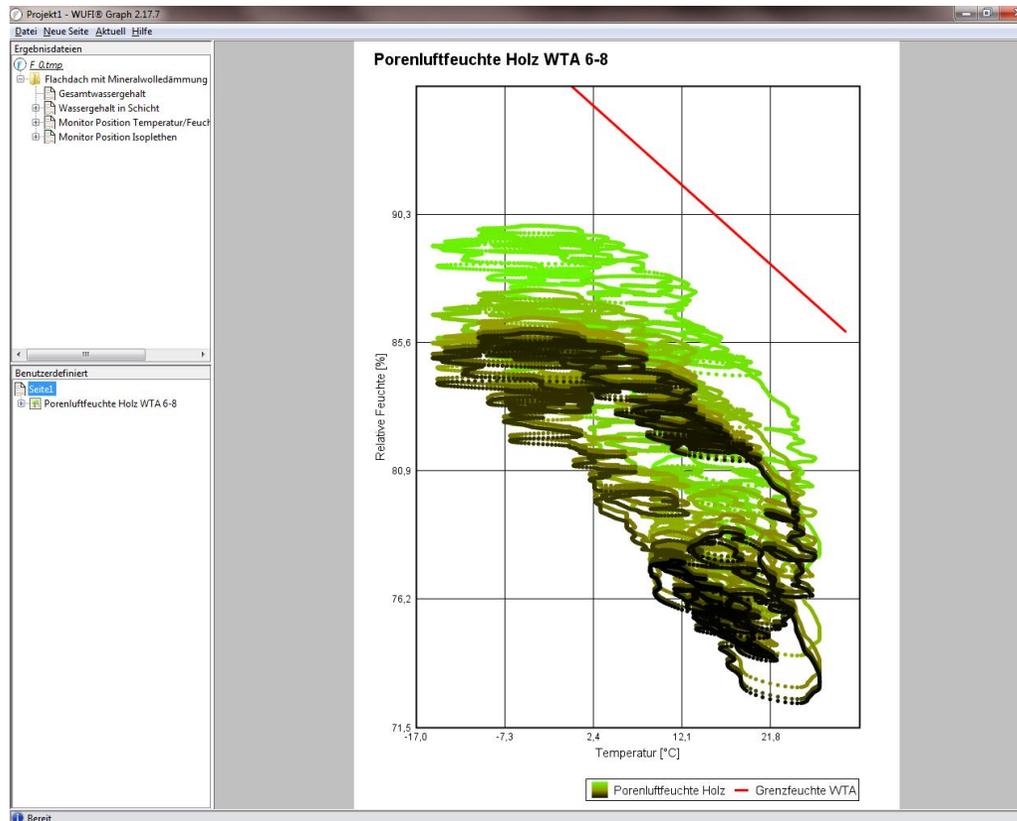
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8



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.

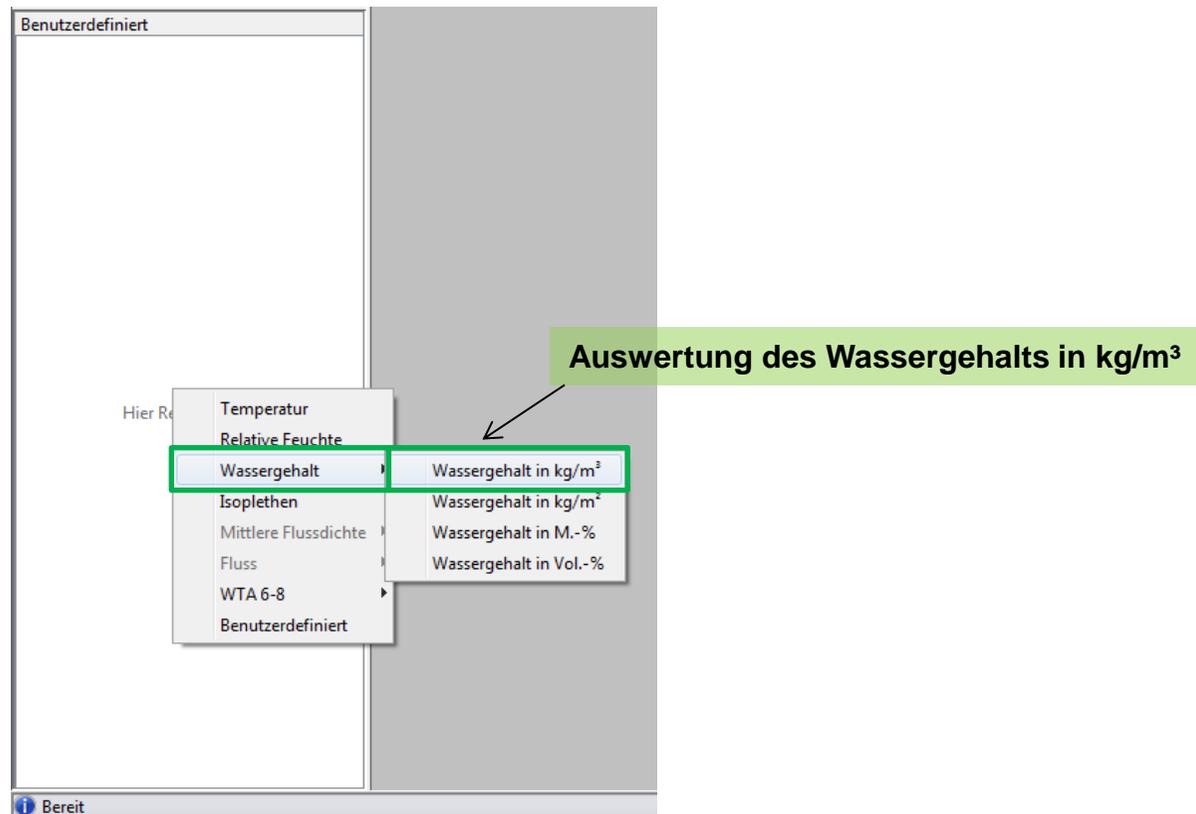
→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten



# Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



# Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung

2. Äußersten Zentimeter der Dämmung wählen

1. Auswahlbereich von 1 cm anhängen

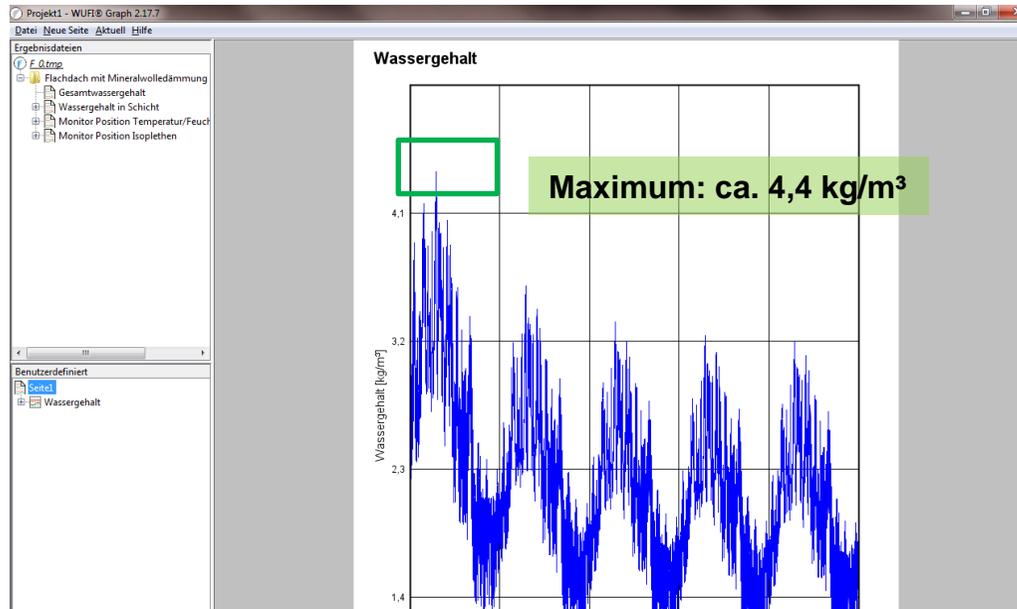
3. Mit „OK“ bestätigen

Einstellungen	Werte
Ergebnisgröße	Wassergehalt in kg/m <sup>3</sup>
Bildüberschrift	Wassergehalt
Kurvenbezeichnung	Wassergehalt
Farbe	
X-Achsenbeschriftung	Zeit
Y-Achsenbeschriftung	Wassergehalt [kg/m <sup>3</sup> ]
Anfangsdatum	01.10.2017 00:00
Enddatum	01.10.2022 00:00
Mittelwertbildung	Kein Mittelwert

## Beispiel: Auswertung – Tauwassermenge

Auswertung: Tauwassermenge in der Mineralfaserdämmung

→ Auswertung des Wassergehalts im äußersten Zentimeter der Dämmung



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

$4,4 \text{ kg/m}^3 * 0,01 \text{ m (Schichtdicke)} = 0,044 \text{ kg/m}^2 = 44 \text{ g/m}^2$

→ Grenzwert von  $200 \text{ g/m}^2$  wird deutlich unterschritten

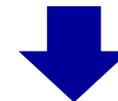


## Beispiel: Auswertung – abschließende Bewertung

---

### 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!