

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von Flachdächern

Stand: Juli 2023

Einführung.....	Folie 3
Hinweise zur Eingabe	
– Bauteilaufbau.....	Folie 4
– Feuchtequelle.....	Folie 5
– Orientierung / Neigung.....	Folie 7
– Oberflächenübergangskoeffizient.....	Folie 8
– Anfangsbedingungen.....	Folie 11
– Steuerung.....	Folie 12
– Klima.....	Folie 13
Hinweise zu hinterlüfteten Flachdächern.....	Folie 15
Hinweise zur Auswertung	
– Mineralwolledämmung.....	Folie 18
– Holzfaserdämmung.....	Folie 19
– Holzschalung.....	Folie 20
Literatur.....	Folie 24
Beispiele: Flachdach ohne und mit Verschattung durch PV-Module.....	Folie 25
– Beispiel A: Flachdach ohne Verschattung.....	Folie 29
– Beispiel B: Flachdach mit Verschattung durch PV-Module.....	Folie 49

Einführung

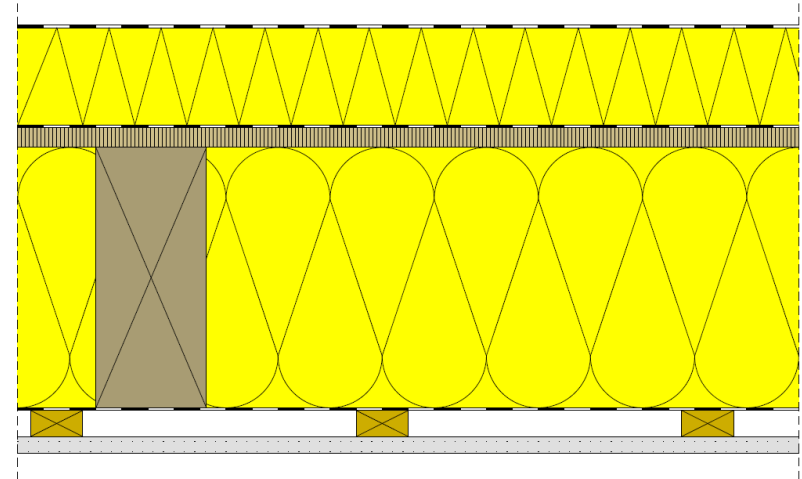
Dieser Leitfaden erläutert das Vorgehen bei der Berechnung und Bewertung von Flachdächern in Holzbauweise ohne Auflast.

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 Oberflächenübergangsparemtern 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 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.

Hinterlüftete Flachdächer

Anforderungen an den Belüftungsquerschnitt und die Be- und Entlüftungsöffnungen nach verschiedenen Regelwerken in Abhängigkeit der Dachneigung:

Anforderungen an den Belüftungsquerschnitt und die Be- und Entlüftungsöffnungen nach verschiedenen Regelwerken in Abhängigkeit der Dachneigung¹⁾

DACHNEIGUNG	DIN 68800-2		DIN 4108-3 UND FACHREGELN DES DACHDECKERHANDWERKS [MB WS]	
	Querschnitt	Öffnung ³⁾	Querschnitt	Öffnungen ³⁾ bei DN < 5° bis max. 10 m
< 3°	Für Dachneigungen unter 3° wird grundsätzlich keine Belüftung empfohlen!			
≥ 3° und < 5°	≥ 80 mm bzw. ≥ 150 mm ⁴⁾	≥ 40 %	≥ 50 mm ⁵⁾	- Traufe und Pultdachanschluss für DN < 5°: 2 ‰ der Dachfläche, mind. 200 cm ² /m
≥ 5° und < 15°	≥ 80 mm	≥ 40 %	(≥ 20 mm) ⁵⁾	- First und Grat für DN ≥ 5°:
≥ 15°	≥ 40 mm	≥ 40 %	(≥ 20 mm) ⁵⁾	0,5 ‰ der Dachfläche, mind. 50 cm ² /m

¹⁾ Die i.d.R. maßgebenden Bedingungen der Holzschutznorm DIN 68800-2 sind zu bevorzugen.

²⁾ Bei Sparrenlängen größer 15 m bzw. 10 m werden besondere Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Belüftungsfunktion erforderlich, z.B. der Einbau von Lüftern.

³⁾ Bezogen auf den Lüftungsquerschnitt – Lüftungsgitter und Querschnittsverengungen sind zu berücksichtigen

⁴⁾ Angabe gültig für begrünte, flach geneigte oder geneigte Dächer nach DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17

⁵⁾ Theoretischer Wert gemäß Regelwerk, da aufwölbende Mattendämmstoffe bzw. deren Maßtoleranzen die Belüftung verhindern.
Die Lüftungsquerschnitte sollten daher größer als das angegebene Mindestmaß ausfallen.

Quelle: Informationsdienst Holz - Flachdächer in Holzbauweise, 01-2019

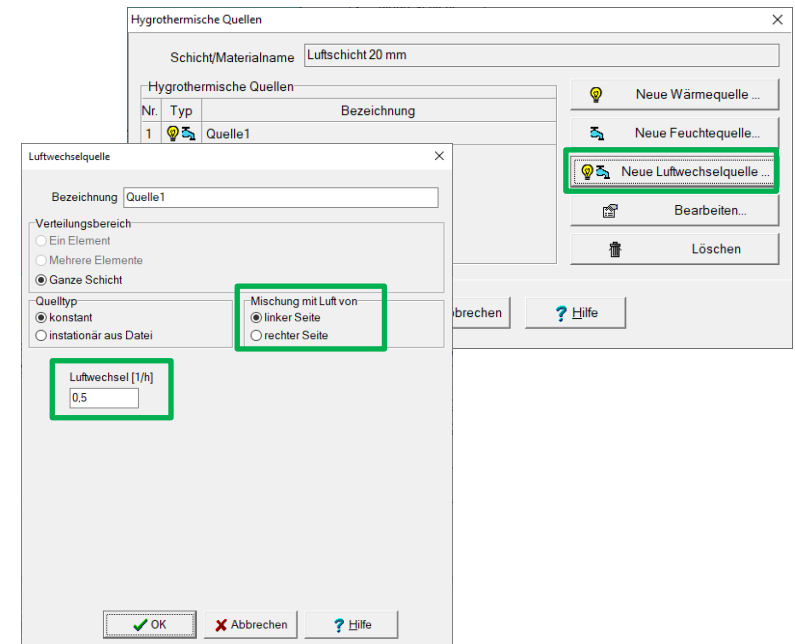
Hinterlüftete Flachdächer

Luftwechselquelle in WUFI®

Die Luftwechselquelle tauscht nach Maßgabe der Luftwechselzahl Luft am Ort der Quelle gegen Außenluft. Je nach Temperatur- und Feuchteverhältnissen im Bauteil und in der Außenluft können dadurch Wärme und Feuchte ins Bauteil oder aus dem Bauteil transportiert werden.

Vorgehen:

- zu belüftende Luftschicht auswählen
- über „Quellen, Senken“
→ „neue Luftwechselquelle“ erstellen
- konstanten Luftwechsel
in [1/h] angeben;
Mischung mit Luft von „linker Seite“



Hinterlüftete Flachdächer

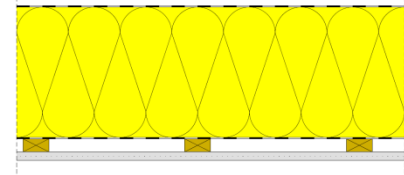
Luftwechselzahl in [1/h]

Je nach Ausführung der Lüftungsquerschnitte und Neigung des Daches, kann sich möglicherweise ein nur geringer Luftwechsel einstellen.

Wir empfehlen, die Luftwechselzahl zu variieren (0/h; 0,5/h; 2/h; 5/h), um zu prüfen, wie sensibel die Konstruktion auf die Hinterlüftung reagiert.

Funktioniert die Konstruktion nur mit einem hohem Luftwechsel, ist auf eine sehr exakte Ausführung und Einhaltung der geforderten Lüftungsquerschnitte und Lüftungsöffnungen zu achten!

Dächer mit Mineralwolledämmung ohne Holzschalung



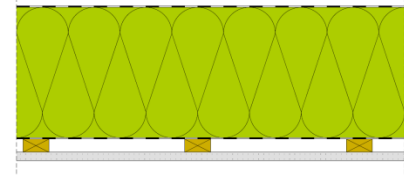
Diese Aufbauten weisen im Regelquerschnitt (im Gefach) keine feuchteempfindlichen Materialien auf. Lediglich an der Dachbahn kann es aufgrund des im Vergleich zur Dämmung höheren Diffusionswiderstands ggf. zu temporär erhöhten Feuchten oder Tauwasserbildung kommen.

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.

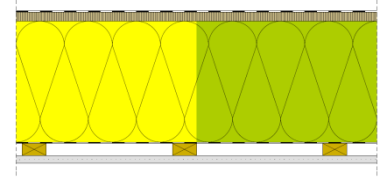


Ausgewertet wird hierfür die Holzfeuchte in [M.-%] im äußeren Zentimeter der Holzfaserdämmung im eingeschwungenen Zustand. Der Verlauf ist eingeschwungen, wenn sich der Wassergehalt nur noch im Jahresverlauf, jedoch nicht mehr von einem Jahr zum Nächsten ändert.

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.

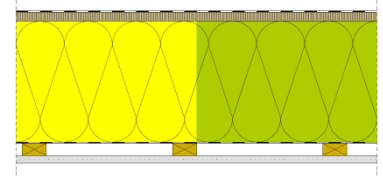


Zur Bewertung der Holzschalung wird der Verlauf der Holzfeuchte in [M.-%] in der Holzschalung im eingeschwungenen Zustand herangezogen. Als Grenzwert wird der in der DIN 68800 [1] angegebene Wert von 20 M.-% für Holz bzw. 18 M.-% für Holzwerkstoffe empfohlen. Wird diese Grenzfeuchte nicht überschritten,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



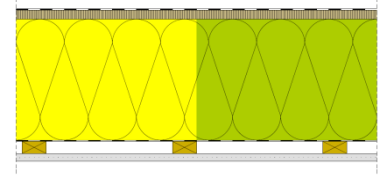
Feuchtetechnisch kritische Verhältnisse bezüglich einer Schädigung des Holzes können bei langfristigem Überschreiten der in der DIN 68800 [1] angegebenen Grenzwerte der Holzfeuchte von 20 M.-% für Holz bzw. 18 M.-% für Holzwerkstoffe auftreten.

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]

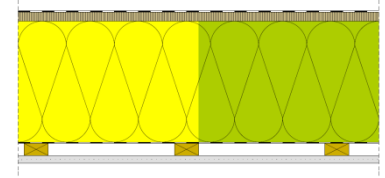


Wird der Grenzwert für Holz von 20 M.-% nach DIN 68800 [1] überschritten, kann zusätzlich eine Auswertung nach dem neuen WTA-Merkblatt 6-8 [8] durchgeführt werden. Hier erfolgt die Bewertung von Holzkonstruktionen anhand temperaturabhängiger Grenzwerte für die relative Porenluftfeuchte in einer 1 cm 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 Porenlufffeuchte der maßgebenden (kritischen) 10 mm Schicht.
- Für die Beurteilung der konstruktiven Aspekte (siehe Abschnitt 6.5) wird die mittlere Holzfeuchte der gesamten Materialschicht herangezogen (Holz und Holzwerkstoffe). Bei vielen Holzwerkstoffen ist dies das maßgebende Beurteilungskriterium.

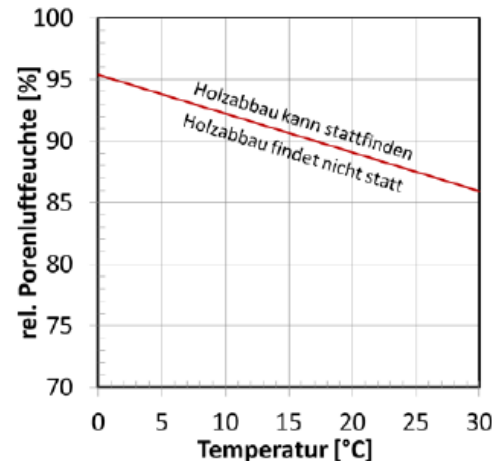


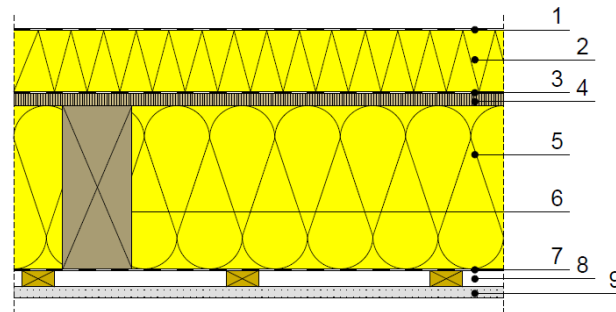
Abbildung 1: Grenzkurve der rel. Porenlufffeuchte bezogen auf die Temperatur einer 10 mm dicken Holzschicht, die im Tagesmittel nicht überschritten werden darf.

- [1] DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth Verlag, Februar 2022.
- [2] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B. und Borsch-Laaks, R.: Dampfkonnektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteeintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen. Proceedings 30. AIVC Conference, Berlin 2009.
- [3] DIN 4108-3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag, Oktober 2018.
- [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: 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, Juli 2007.
- [7] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Oberflächentemperatur zur Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren. Beuth Verlag, Mai 2013.
- [8] WTA-Merkblatt 6-8: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulationen. August 2016.

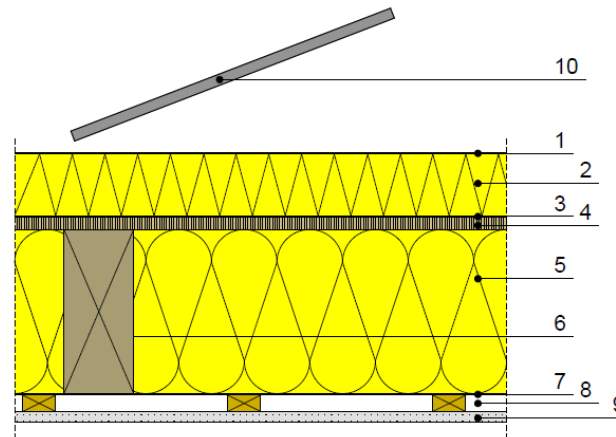
Beispiele: Flachdach ohne und mit Verschattung durch PV-Module

Am Beispiel eines Flachdachs in Holzbauweise ohne und mit Verschattung durch aufgeständerte PV-Module wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Eingabe und der Beurteilung von Flachdächern beschrieben.

Beispiel A:



Beispiel B:



- 1 Dachbahn
- 2 EPS-Überdämmung
- 3 PE-Folie
- 4 Holzschalung
- 5 Dämmung
- 6 Sparren
- 7 Dampfbremse
- 8 Installationsebene
- 9 Gipskartonplatte
- 10 PV-Modul (aufgeständert)

Aufbau (von außen nach innen):

- Dachbahn ($s_d = 300$ m)
- EPS (Wärmeleitf.: 0,04 W/mK – Dichte: 30 kg/m³) 0,1 m
- PE-Folie (Dampfbremse, $s_d = 100$ m)
- Holzschalung (Weichholz) 0,025 m
- Mineralfaser (Wärmeleitf.: 0,04 W/mK) 0,24 m
- feuchtevariable Dampfbremse (PA-Folie) 0,001 m
- Luftschicht 0,02 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

Randbedingungen:

- Flachdach (3° nach Norden geneigt)
- Dunkle Dachbahn ($a = 0,8$; $\varepsilon = 0,9$)
- Beispiel A: keine Verschattung
Beispiel B: Verschattung durch aufgeständerte PV-Module (WTA 6-8)
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: Bemessungsklima nach DIN 4108-3
(Feuchtelast normal +5%)
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$
- Höhe der Luftsäule: 5 m

Beispiele: Bewertungsmatrix

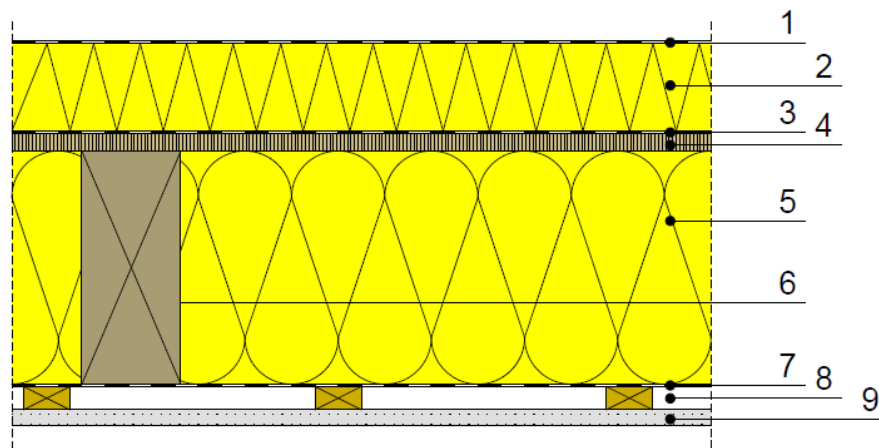
Bewertungsmatrix:

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

	Kriterium
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering?
	Wenige oder keine Konvergenzfehler?
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt erreicht eingeschwungenen Zustand oder fällt?
	Risiko von Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach DIN 68800 bzw. WTA 6-8)

Beispiel A: Flachdach ohne Verschattung

Beispiel A:
Flachdach in Holzbauweise ohne Verschattung



- 1 Dachbahn
- 2 EPS-Überdämmung
- 3 PE-Folie
- 4 Holzschalung
- 5 Dämmung
- 6 Sparren
- 7 Dampfbremse
- 8 Installationsebene
- 9 Gipskartonplatte

Beispiel A: Eingabe – Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Flachdach ohne Verschattung
 - Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen ✓
 - Orientierung ✓
 - Oberflächenübergangskoeff. ✓
 - Anfangsbedingungen ✓
 - Steuerung
 - Klima

Variante: Flachdach ohne Verschattung

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

Schichtname: Gipskartonplatte

Dicke [m]: 0,0125

Außen (linke Seite): 0.1 | 0,00,025 | 0.24 | Innen (rechte Seite): 0,00,0,0125

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

Bild (selected)

Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (II)

100 | Fein

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Gesamtdicke: Dicke: 0.4 m

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 8.95 (m² K)/W

U-Wert: 0.11 W/(m² K)

Einheiten: SI | Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Dachaufbau ohne Dachbahn eingeben
ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel A: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Infiltrationsquelle nach DIN 68800 in der Holzschalung berücksichtigen.

The screenshot displays the WUFI Pro 6.5 software interface. The main window shows a cross-section of a building facade with a yellow insulation layer and an orange wooden cladding layer. A green box highlights the wooden cladding layer, with the text "Bauteilschicht markieren" (Mark component layer) overlaid. Another green box highlights the "Quellen und Senken" (Sources and Sinks) button in the software's toolbar, with the text "Quellen und Senken" overlaid. A dialog box titled "Hygrothermische Quellen" (Hygrothermal Sources) is open, showing the "Weichholz" (Softwood) material selected. The dialog box has a table for defining moisture sources and buttons for "Neue Feuchtequelle..." (New Moisture Source...), "Neue Wärmequelle..." (New Heat Source...), "Neue Luftwechselquelle..." (New Air Exchange Source...), "Bearbeiten..." (Edit...), and "Löschen" (Delete). The "Neue Feuchtequelle..." button is highlighted with a green box and the text "Neue Feuchtequelle" overlaid. The dialog box also includes "OK", "Abbrechen" (Cancel), and "Hilfe" (Help) buttons at the bottom.

Beispiel A: Eingabe – Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

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

Feuchtequelle

Bezeichnung **Innere 5 mm der Holzschalung**

Verteilungsbereich

Ein Element

Mehrere Elemente

Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]

Endtiefe in Schicht [m]

Quellentyp

instationär aus Datei

Anteil der Regenbelastung

Luftinfiltrationsmodell IBP

konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]

keine Begrenzung

Begrenzung auf max. Wassergehalt

Begrenzung auf freie Wassersättigung

Benutzerdefiniert

Durchströmung der Hülle q_{50} [m³/(m² h)]

Höhe der Luftsäule [m]

Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa]

Infiltrationsquelle anpassen

Beispiel A: Eingabe – Orientierung / Neigung

Eingabe: Bauteil - Orientierung

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Flachdach ohne Versch.
- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen ✓
 - Orientierung ✓
 - Oberflächenübergangskoeff. ✓
 - Anfangsbedingungen ✓
- Steuerung
- Klima

Variante: Flachdach ohne Verschattung

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

Orientierung

N
W O
S
Nord

Neigung

Neigung [°] 3

Höhe/Schlagregenkoeffizienten

Regenbelastung nach ASHRAE Standard 160

R1 [-] 1

R2 [s/m] 0

Hinweis:
Regenbelastung =
 $\text{Regen} \cdot (R1 + R2 \cdot v_{\text{wind}})$

Orientierung und Neigung anpassen

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Beispiel A: Eingabe – Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Variante: Flachdach ohne Verschattung

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

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]	19	Dach
beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m ² K)]	6,5	
Windabhängig	<input type="checkbox"/>	...

sd-Wert [m]

300	Benutzerdefiniert
-----	-------------------

Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]

0,8	DIN 4108-3: schwarz, dunkler Farbton
-----	--------------------------------------

Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]

0,9	
-----	--

Abminderungsfaktoren wegen Verschattung:

auf Absorptionszahl [-]	1,0	Keine Verschattung
auf Emissionszahl [-]	1,0	

Explizite Strahlungsbilanz

<input checked="" type="checkbox"/>	...	Hinweis: diese Option dient u.a. zur Berücksichtigung der Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung. In sensitiven Fällen sind hinreichend genaue Gegenstrahlungsdaten erforderlich.
-------------------------------------	-----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]

0,2	Standardwert
-----	--------------

Anhaftender Anteil des Regens [-]

----	Keine Regenwasserabsorption
------	-----------------------------

Innenoberfläche (rechte Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]	8	(Dach)
sd-Wert [m]	----	Keine Beschichtung

Wärmeübergangskoeffizient
Flachdach = 19 W/m²K

s_d-Wert der Dachbahn = 300 m

Farbgebung der Dachbahn
(hier: dunkle Dachbahn mit a = 0,8)

Explizite Strahlungsbilanz einschalten (ε = 0,9!)
Keine Verschattung

Keine Regenwasserabsorption!

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel A: Eingabe – Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Projekt
- Variante: 1 Flachdach ohne Verschattung
- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
- Steuerung
- Klima

Variante: Flachdach ohne Verschattung

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 [-] Anfangstemperatur im Bauteil [°C]

Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	EPS (Wärmeleit: 0.04 W/mK - Dichte: 30 kg/m³)	0.1	1.79
2	Dampfbremse (sd=100m)	0.001	0.0
3	Weichholz	0.025	60.0
4	Mineralfaser (Wärmeleit: 0.04 W/mK)	0.24	1.79
5	PA-Folie	0.001	0.44
6	Luftschicht 20 mm	0.02	1.88
7	Gipskartonplatte	0.0125	6.3

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel A: Eingabe – Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Varianten
 - 1 Flachdach ohne Verschattung
 - Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen ✓
 - Orientierung ✓
 - Oberflächenübergangskoeff. ✓
 - Anfangsbedingungen ✓
 - Steuerung
 - Zeit/Profile ✓
 - Numerik ✓
 - Klima ✗

Variante: Flachdach ohne Verschattung

Rechendauer / Profile Numerik

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

Neu

Entfernen

Kopieren

Einfügen

06.04.2022 00:00:00

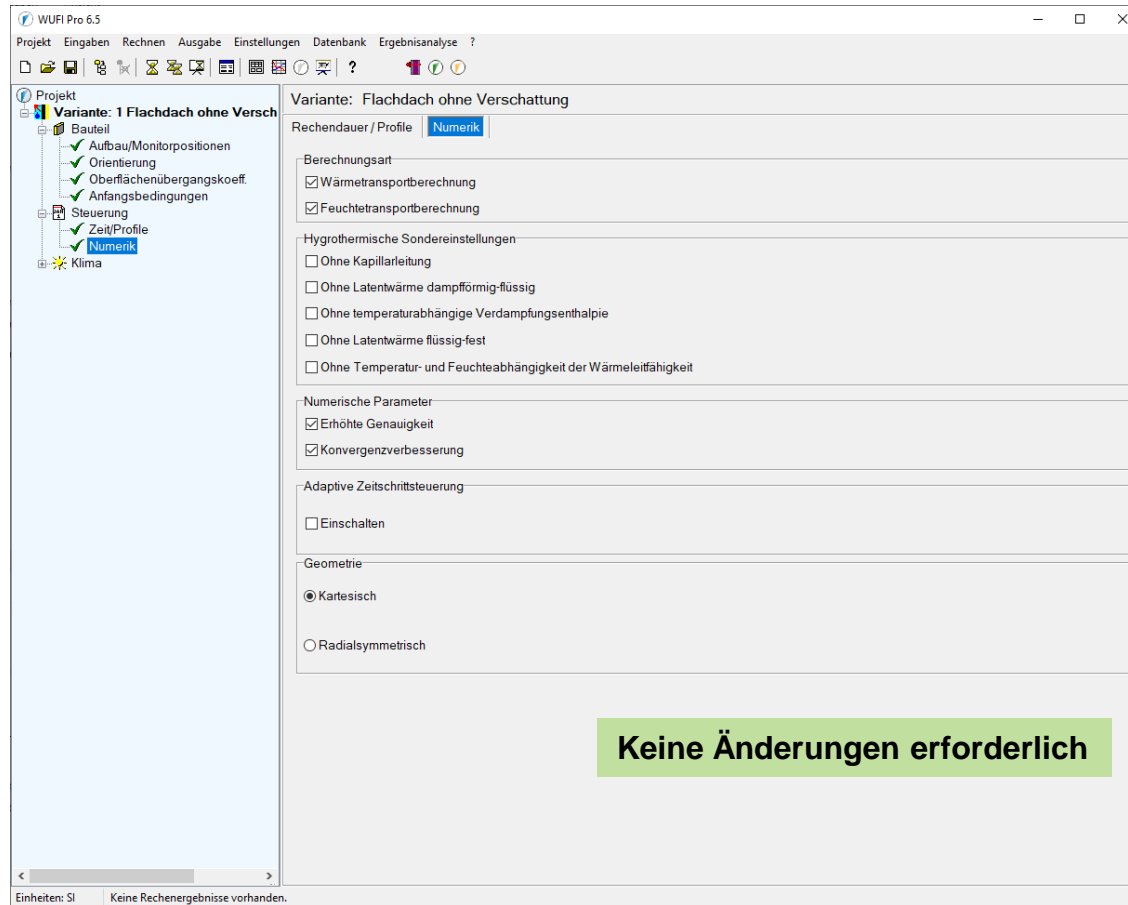
Rechenzeitschritt [h]

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Rechenzeitraum anpassen

Beispiel A: Eingabe – Numerik

Eingabe: Steuerung – Numerik



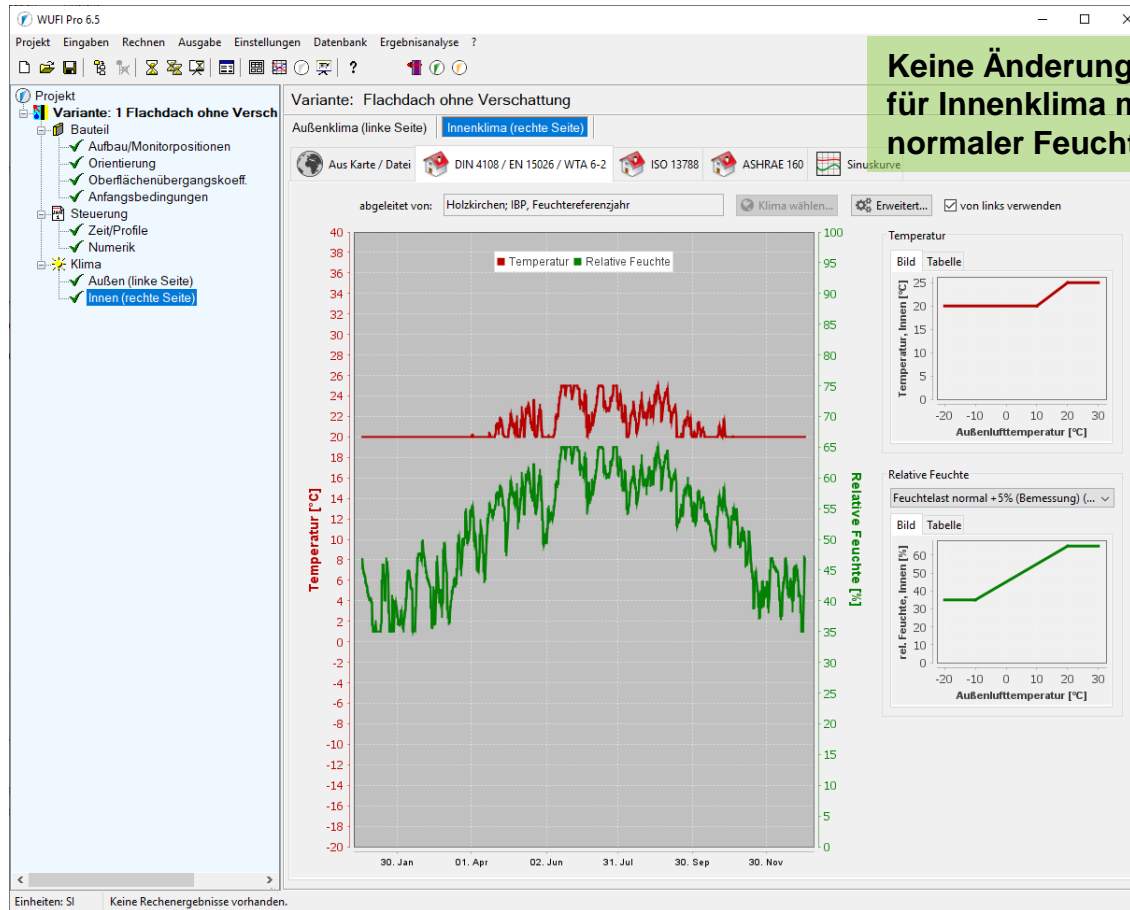
Beispiel A: Eingabe - Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)

The screenshot displays the WUFI Pro 6.5 software interface. The main window title is 'WUFI Pro 6.5'. The menu bar includes 'Projekt', 'Eingaben', 'Rechnen', 'Ausgabe', 'Einstellungen', 'Datenbank', and 'Ergebnisanalyse'. The left sidebar shows a project tree with 'Variante: 1 Flachdach ohne Verschattung' selected, and 'Außen (linke Seite)' highlighted under the 'Klima' category. The main workspace shows the 'Außenklima (linke Seite)' tab selected. A green callout box with the text 'Standort auswählen' points to the 'Klima wählen...' button. The 'Aus Karte / Datei' button is also visible. The 'Holzkirchen; IBP, Feuchtereferenzjahr' text is highlighted in a green box. The main area contains three charts: 'Temperatur / Relative Feuchte' (top), 'Relative Feuchte [%]' (middle), and 'Globalstrahlung' (bottom). The right sidebar shows 'Datei-Info' with details for 'Holzkirchen' (47,88°N, 11,73°E, 680m) and 'Klimaelemente' (TA, HREL, ISGH, ILAH, WS, WW, WD, RN, PSTA). The status bar at the bottom indicates 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.'.

Beispiel A: Eingabe - Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



Keine Änderungen erforderlich für Innenklima mit normaler Feuchtelast +5%

Beispiel A: Auswertung – Numerik

Auswertung: Numerik

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	06.04.2022 10:32:29		
Rechenzeit	1 min,29 sek		
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2022 / 01.10.2027		
Anzahl der Konvergenzfehler	0		

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0	-0,04
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	1,2E-7	0,82
Bilanz 1	[kg/m ²]	-0,76	
Bilanz 2	[kg/m ²]	-0,76	

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,22	1,45	1,42	2,28

Keine Konvergenzfehler und keine Bilanzunterschiede!

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
EPS (Wärmeleit: 0,04 W/mK - Dichte: 30 kg/m ³)	1,79	0,94	0,92	1,82

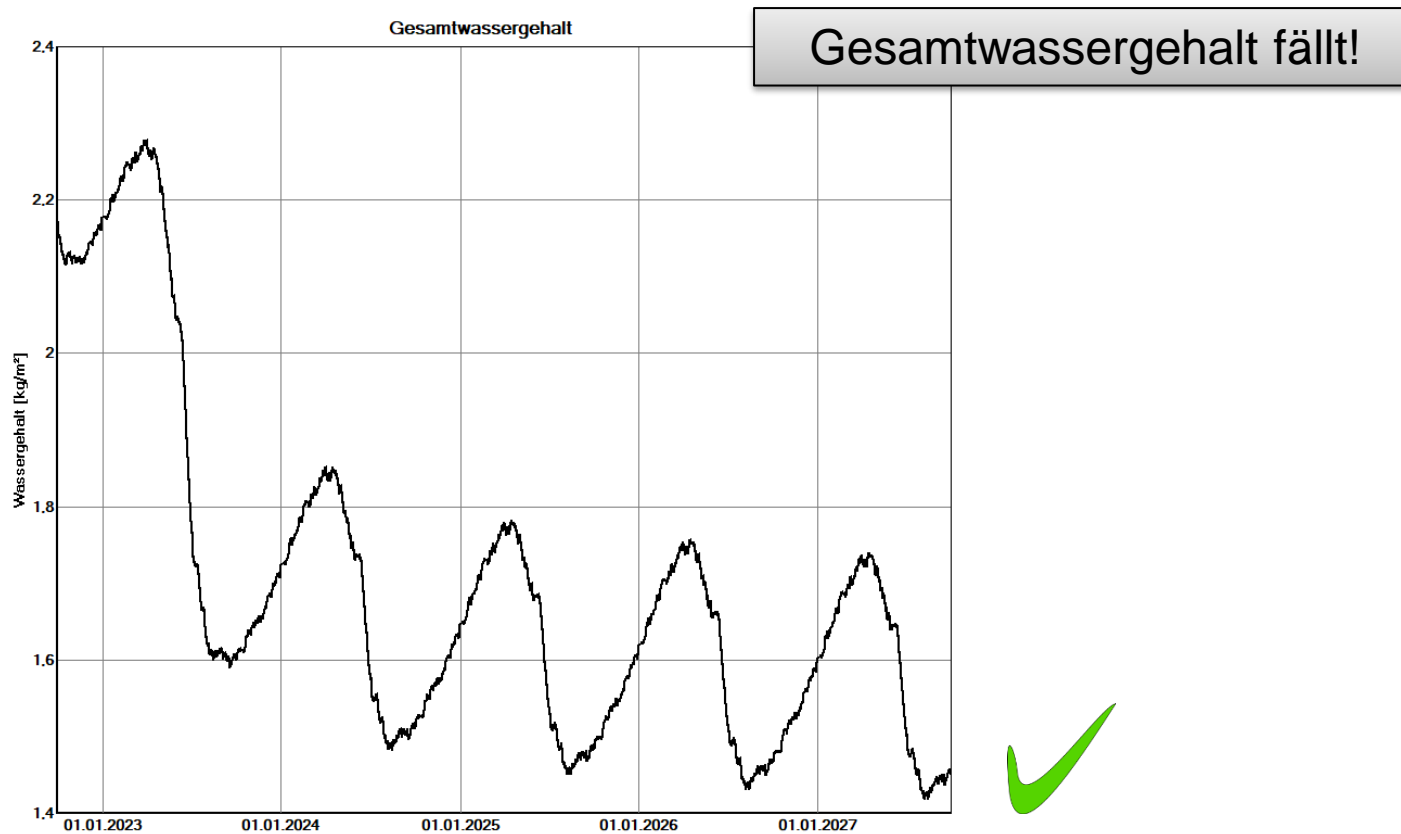
Rechnung gesperrt

Schließen Hilfe



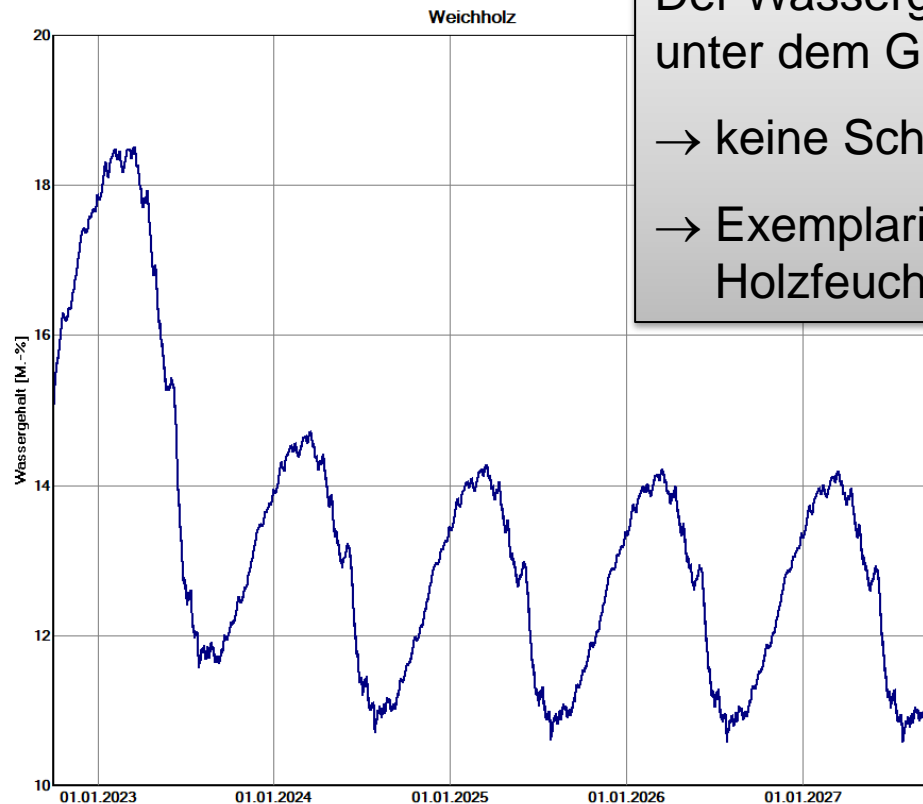
Beispiel A: Auswertung – Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Beispiel A: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



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

→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten

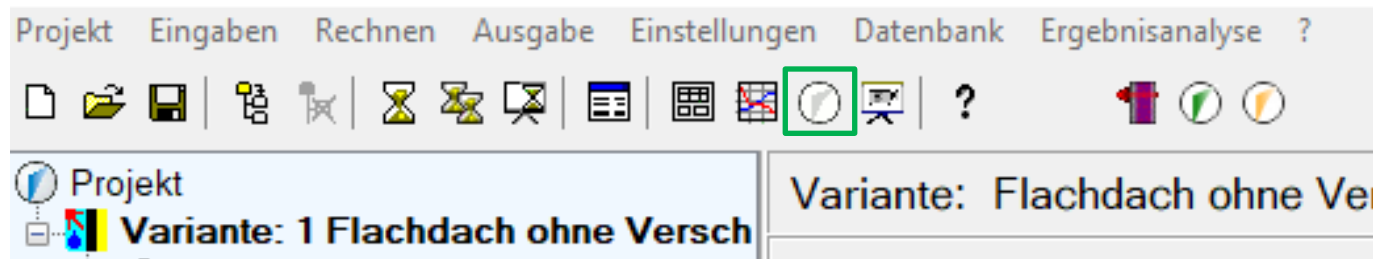
→ Exemplarisch wird noch die Auswertung der Holzfeuchte nach WTA gezeigt



Beispiel A: Auswertung – Holzschalung

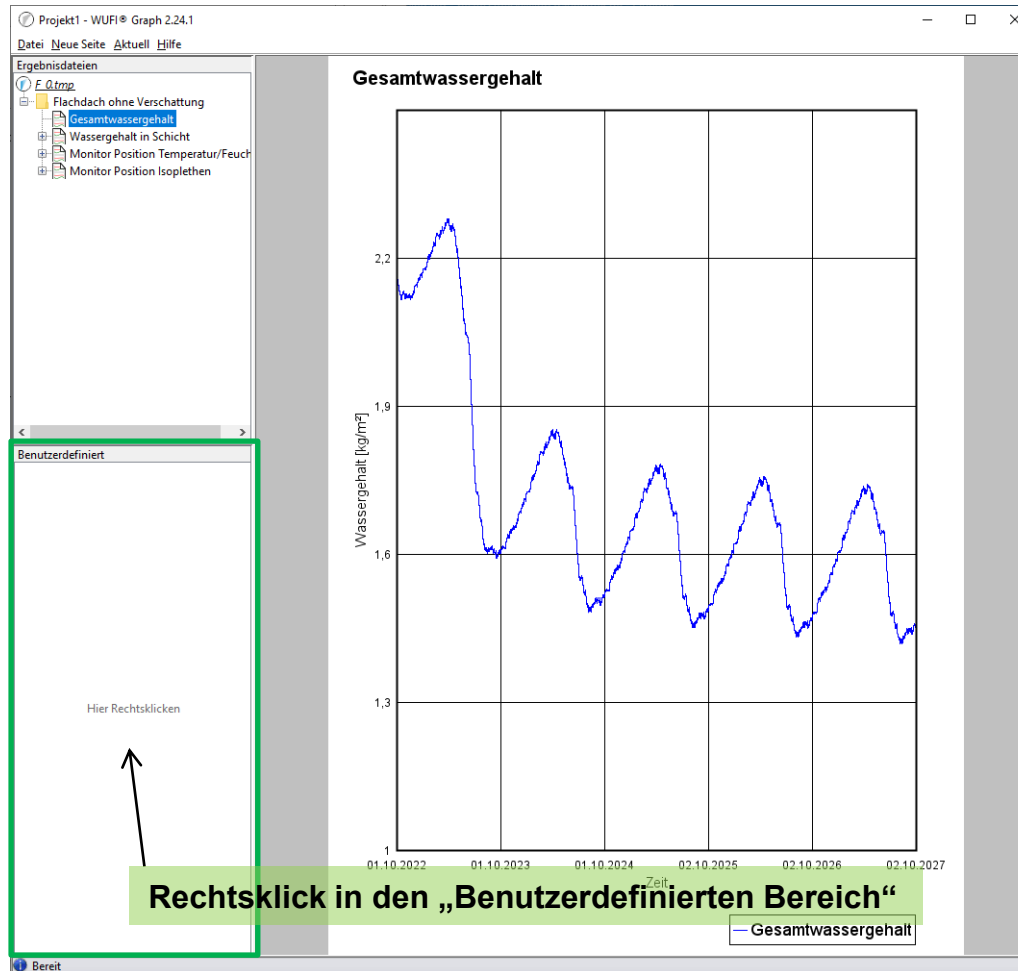
Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach WTA 6-8

WUFI Graph öffnen



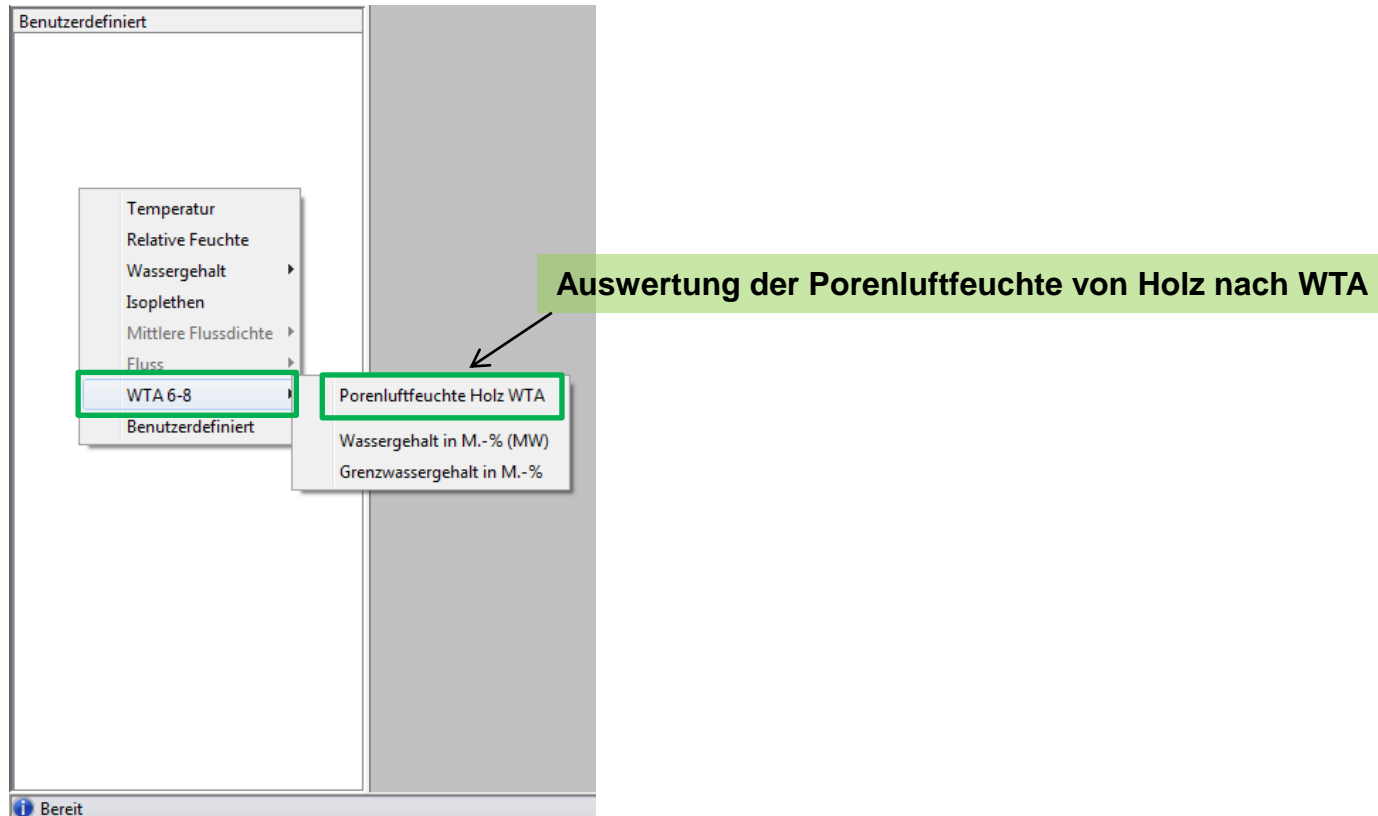
Beispiel A: Auswertung – Holzschalung

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



Beispiel A: Auswertung – Holzschalung

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



Beispiel A: Auswertung – Holzschalung

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

Bereichsauswahl / Einstellungen

Auswahlbereich von 1 cm entspr. WTA ist voreingestellt

Inneren Zentimeter der Holzschalung wählen

Datei: C:\Flachdach ohne... Holzfeuchte Holz WTA Modul: X-Y-Plot über Auswahl Kombinierte Auswahl 10 mm

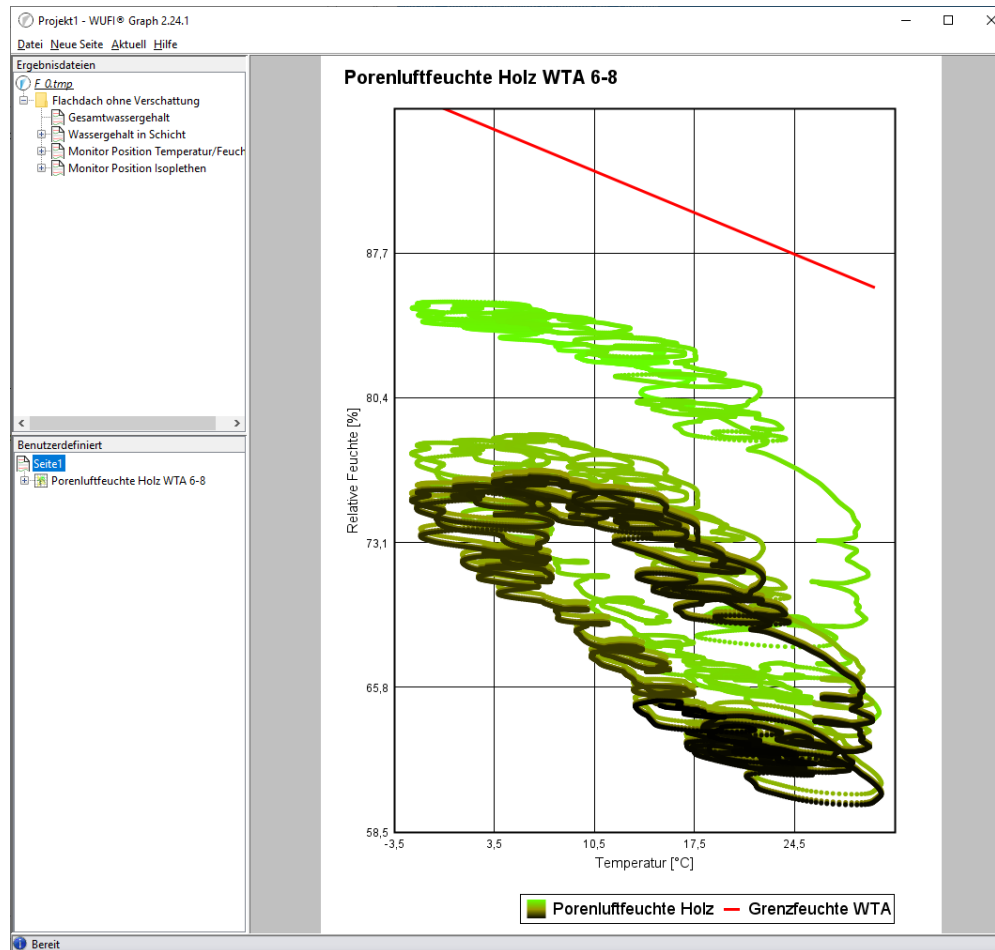
Einstellungen	Werte
Ergebnisgröße X	Temperatur
Ergebnisgröße Y	Relative Feuchte
Bildüberschrift	Porenluftfeuchte Holz WTA 6-8
Kurvenbezeichnung	Porenluftfeuchte Holz
Startfarbe	
Übergangsfarbe	
Endfarbe	
X-Achsenbeschriftung	Temperatur [°C]
Y-Achsenbeschriftung	Relative Feuchte [%]

Hilfe
Abbrechen
OK

Mit „OK“ bestätigen

Beispiel A: 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 A: Auswertung – abschließende Bewertung

Abschließende Bewertung:

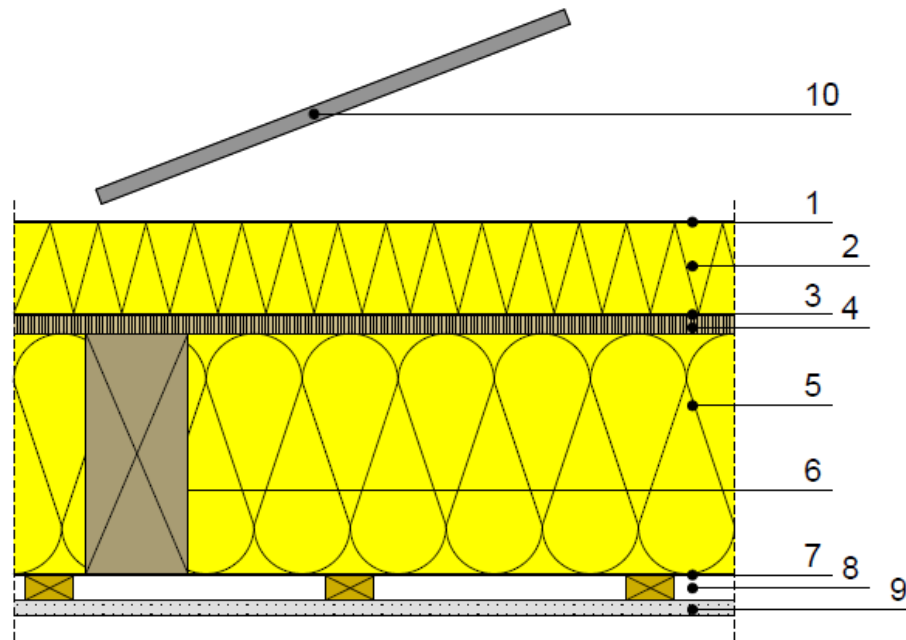
	Kriterium	Bewertung
1) Numerik	Bilanzunterschiede gering?	✓
	Wenige oder keine Konvergenzfehler?	✓
2) Bewertungsgrößen	Gesamtwassergehalt erreicht eingeschwungenen Zustand oder fällt?	✓
	Risiko der Holzfäule in der Holzschalung? (Grenzwerte nach DIN 68800 bzw. WTA 6-8)	✓



Konstruktion
feuchtetechnisch
unproblematisch!

Beispiel B: Flachdach mit Verschattung durch PV-Module

Beispiel B:
Flachdach in Holzbauweise mit Verschattung durch aufgeständerte PV-Module



- 1 Dachbahn
- 2 EPS-Überdämmung
- 3 PE-Folie
- 4 Holzschalung
- 5 Dämmung
- 6 Sparren
- 7 Dampfbremse
- 8 Installationsebene
- 9 Gipskartonplatte
- 10 PV-Modul (aufgeständert)

Der Konstruktionsaufbau ist identisch zu Beispiel A.
Die zusätzliche Verschattung wirkt sich auf die Strahlungsabsorption und -emission aus.
Hier sind die Abminderungsfaktoren wegen Verschattung entsprechend anzupassen!

Beispiel B: Eingabe – Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Variante: Flachdach mit Verschattung

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

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)] Dach

beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m² K)]

Windabhängig ...

sd-Wert [m] Benutzerdefiniert
Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-] DIN 4108-3: schwarz, dunkler Farbton

Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]

Abminderungsfaktoren wegen Verschattung:

auf Absorptionszahl [-] Aufgeständerte PV-Module (WTA 6-8)

auf Emissionszahl [-]

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 [-] Standardwert

Anhaftender Anteil des Regens [-] Keine Regenwasserabsorption

Innenoberfläche (rechte Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)] (Dach)

sd-Wert [m] Keine Beschichtung

Explizite Strahlungsbilanz einschalten ($\epsilon = 0,9$)!
Verschattung durch aufgeständerte PV-Module (WTA 6-8)

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel B: Auswertung – Numerik

Auswertung: Numerik

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	06.04.2022 10:58:44		
Rechenzeit	1 min,27 sek		
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2022 / 01.10.2027		
Anzahl der Konvergenzfehler	0		

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0	-0,03
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	1,1E-7	0,24
Bilanz 1	[kg/m ²]	-0,13	
Bilanz 2	[kg/m ²]	-0,13	

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,22	2,1	2,09	2,37

Keine Konvergenzfehler und keine Bilanzunterschiede!

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
EPS (Wärmeleit: 0,04 W/mK - Dichte: 30 kg/m ³)	1,79	1,95	1,79	1,98

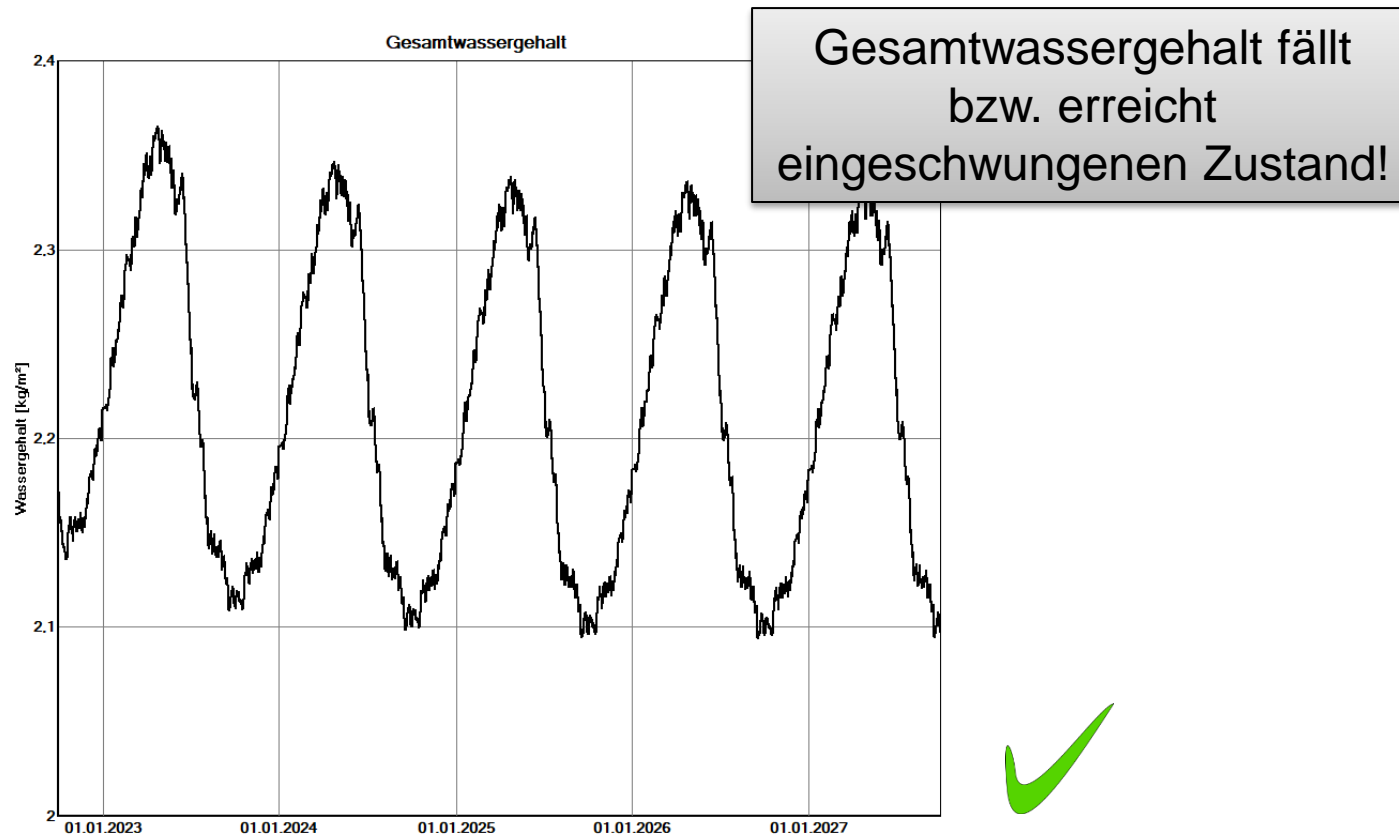
Rechnung gesperrt

Schließen Hilfe



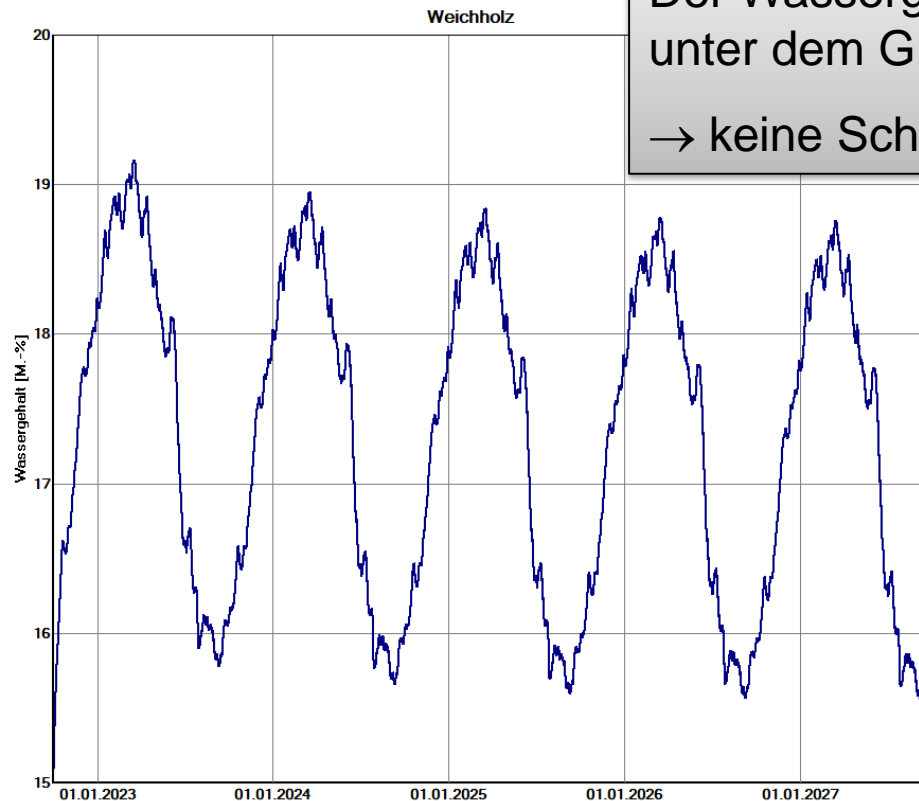
Beispiel B: Auswertung – Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Beispiel B: Auswertung – Holzschalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



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

→ keine Schädigung des Holzes zu erwarten



Beispiel B: Auswertung – abschließende Bewertung

Abschließende Bewertung:

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



Konstruktion
feuchtetechnisch
unproblematisch!