

WUFI®

Beispielfälle in WUFI® Pro: Kiesdächer

Stand: Juli 2021

Kiesdachdatensatz in der WUFI®-Materialdatenbank..... [Folie 3](#)

Bekieste Leichtbaukonstruktionen..... [Folie 4](#)

	ohne Überdämmung	mit Überdämmung
– Konstruktionsaufbau	Folie 5	Folie 30
– Randbedingungen.....	Folie 6	Folie 31
– Bauteilaufbau und Gittereinstellung.....	Folie 7	Folie 32
– Feuchtequelle im Kies (Regen).....	Folie 11	Folie 36
– Infiltrationsquelle (Luftdichtheit).....	Folie 13	Folie 38
– Orientierung / Neigung.....	Folie 15	Folie 40
– Oberflächenübergangskoeffizient.....	Folie 16	Folie 41
– Anfangsbedingungen.....	Folie 17	Folie 42
– Berechnungszeit	Folie 18	Folie 43
– Numerische Einstellungen.....	Folie 19	Folie 44
– Außenklima und Raumklima.....	Folie 20	Folie 45
– Auswertung: Rechenqualität.....	Folie 22	Folie 47
– Auswertung: Gesamtwassergehalt.....	Folie 23	Folie 48
– Auswertung: Holzschalung.....	Folie 24	Folie 49
– Auswertung: Holzfeuchte mit WUFI® Graph.....	Folie 25	

„Generischer Kies“

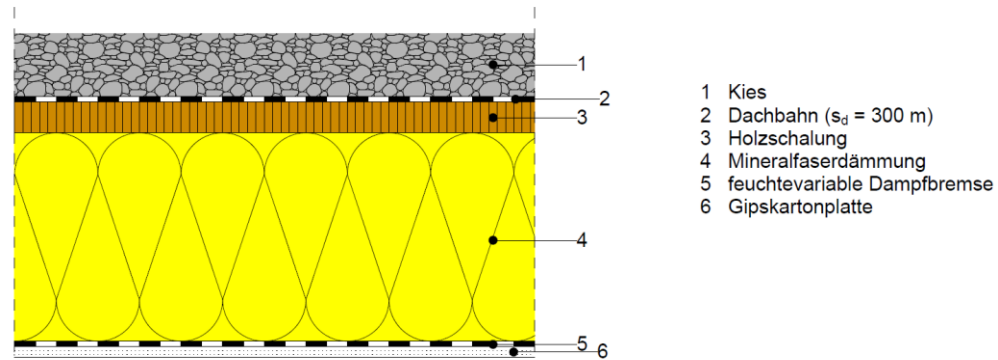
Die Ermittlung der hygrothermischen Materialeigenschaften für die Kiesschicht basiert auf Nachrechnungen von Untersuchungen und Messungen an bekiesten Dächern in Holzkirchen, Gräfelfing und Mailand.

In der Kiesschicht findet in den Poren zwischen den einzelnen Steinen kein Kapillartransport statt. Das bei Beregnung mit der Schwerkraft durch die Kiesschicht fließende Wasser wird über eine Feuchtequelle in das Material eingebracht. Die Feuchtequelle wird über die gesamte Schichtdicke mit Ausnahme des äußersten Elements angesetzt. Eine Feuchtequelle im äußersten Element kann zu numerischen Problemen und Bilanzproblemen führen, am Ergebnis ändert sich ansonsten aber praktisch nichts.

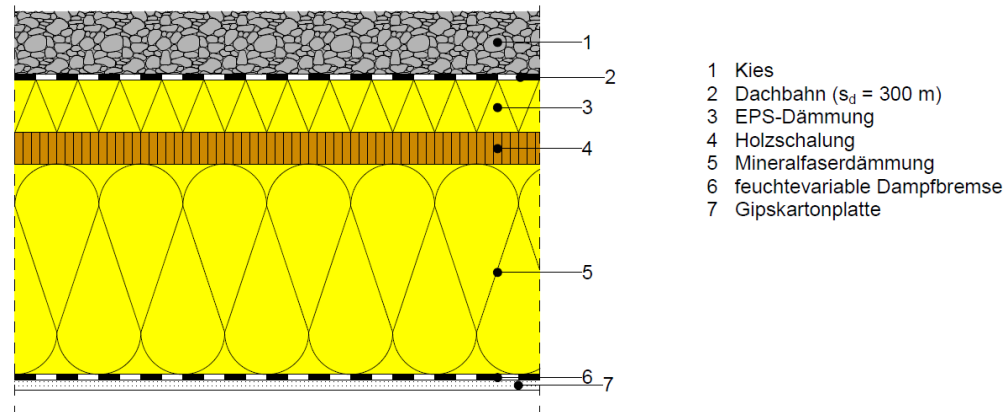
Bekieste Leichtbaukonstruktionen

Anhand von zwei Beispielfällen wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Beurteilung von bekiesten Leichtbaukonstruktionen beschrieben. Es werden die anzusetzenden Materialdaten, die Feuchtequellen und Randbedingungen sowie das Vorgehen bei der Bewertung der Konstruktionen erläutert.

Beispiel A:
Bekieste
Leichtbaukonstruktion
ohne Überdämmung



Beispiel B:
Bekieste
Leichtbaukonstruktion
mit Überdämmung



Aufbau (von außen nach innen):

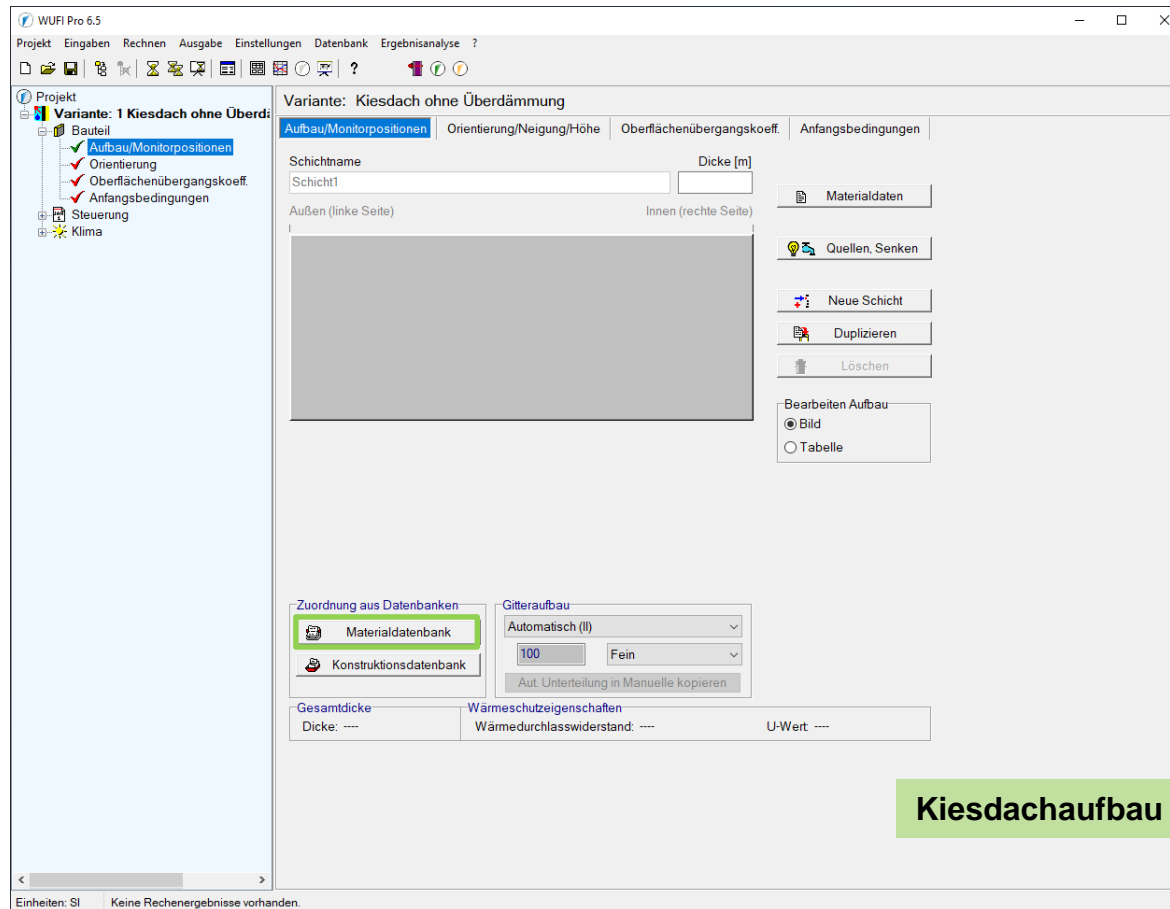
- Generischer Kies 0,06 m
- Dampfbremse ($s_d = 300\text{m}$) 0,001 m
- Holzschalung (Weichholz) 0,025 m
- Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK) 0,24 m
- feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex) 0,001 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

Randbedingungen:

- Flachdach (3° nach Norden geneigt)
- kurzwellige Strahlungsabsorptions- / langwellige Strahlungsemissionszahl:
entsprechend dem generischen Kieddachmodell
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: normale Feuchtelast + 5 % nach DIN 4108-3
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Höhe der Luftsäule: 5 m

Beispiel A: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen



Beispiel A: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Materialien

Alle Materialien durchsuchen

WUFI → Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) → Grün- und Kiesdächer

Materialname	Rohdichte [kg/m³]	Porosität [m³/m³]	Wärmekap. [J/kgK]	Wärmeleit. [W/mK]	Diff.Wid. [s]
Generischer Kies	1400	0,3	1000	0,7	1
Generisches Substrat	1500	0,5	1500	0,9	5
Optigrün Leichtdach 1 (Schutzvlies) 3/3	83	0,95	840	0,035	1
Optigrün Leichtdach 1 (Sedum-Bepflanzung) 1/3	1500	0,5	1000	0,2	5
Optigrün Leichtdach 1 (Substrat Typ L inkl. FKD) 2/3	405	0,82	1000	0,4	3
Optigrün Naturdach 1 (Festkörperdränage) 4/5	60	0,95	850	0,3	1,3
Optigrün Naturdach 1 (Filtermatte) 3/5	83	0,95	840	0,035	1
Optigrün Naturdach 1 (Gras-Bepflanzung) 1/5	1500	0,5	1000	0,2	5

Materialinformationen

Kies (Dicke ≤ 15 cm)

WICHTIG: Eingabe einer Feuchtequelle ("Anteil des Schlagregens") in die gesamte Schicht mit Ausnahme des äußersten Elements (numerisch günstiger) mit 40% des Niederschlags begrenzt auf die freie Wassersättigung.

Die Anpassung der hygrothermischen Materialeigenschaften basiert auf Nachrechnungen von Untersuchungen und Messungen an bekiesten Dächern in Holzkirchen, Gräfelfing und Mailand.

In DB eingefügt: 24.07.2013

Letzte Aktualisierung: ---

Generischer Kies aus Materialdatenbank

Einlesen Exportieren

Dicke [m]: 0,05 Verwenden Abbrechen Hilfe

Beispiel A: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung
 - Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
 - Steuerung
 - Klima

Variante: Kiesdach ohne Überdämmung

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Schichtname

Gipskartonplatte

Dicke [m] 0,0125

Außen (linke Seite) 0,06 0,010,025 0,24 Innen (rechte Seite) 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: 0,339 m

Wärmeschutzeigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 6,38 (m² K)/W

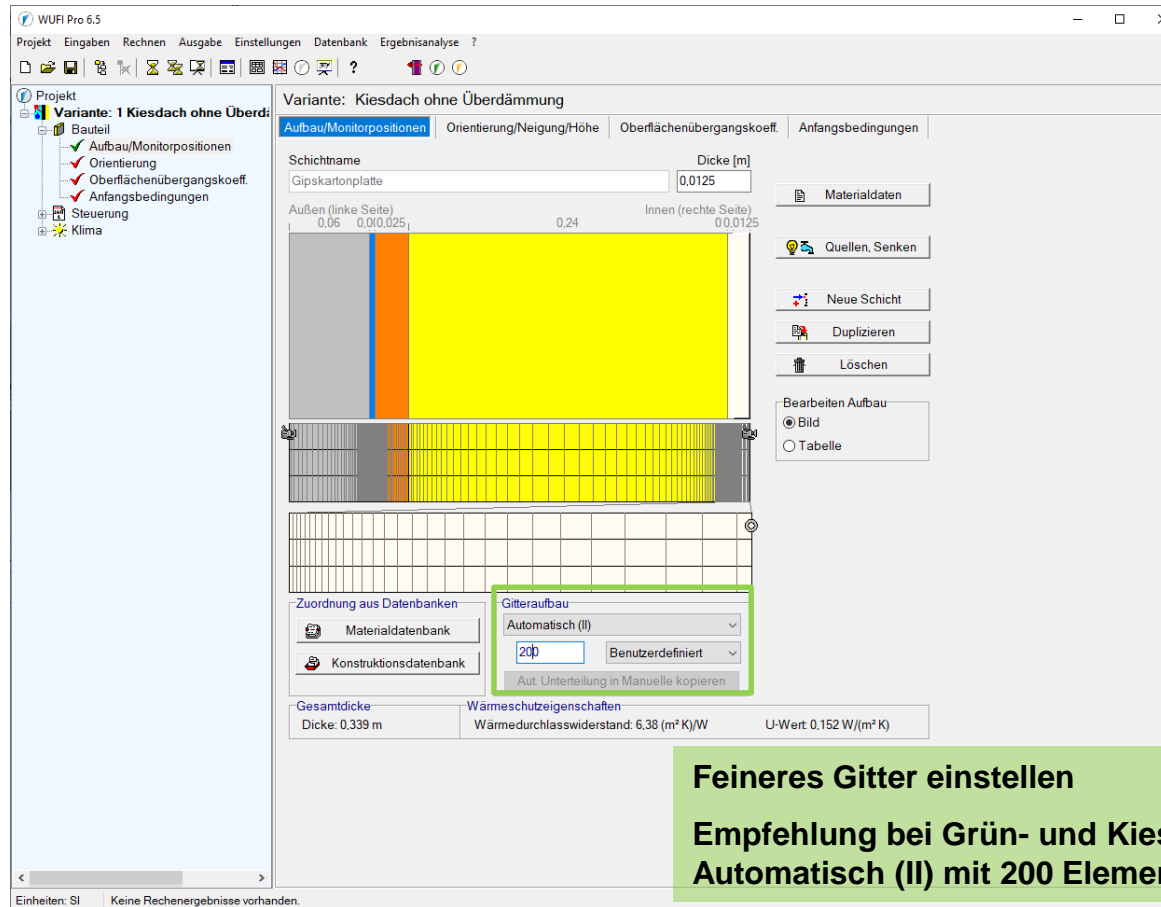
U-Wert: 0,152 W/(m² K)

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Unterkonstruktion eingeben
Ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel A: Gittereinstellung

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen



Feineres Gitter einstellen

**Empfehlung bei Grün- und Kiesdächern:
Automatisch (II) mit 200 Elementen (Benutzerdefiniert)**

Beispiel A: Feuchtequelle im Kies

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in die Schicht „Generischer Kies“ einfügen.

The screenshot displays the WUFI Pro 6.5 software interface. The main window shows a project tree on the left with 'Bauteil' selected. The central area displays a cross-section of a building component, 'Generischer Kies', with a thickness of 0.06 m. A green box labeled 'Bauteilschicht markieren' highlights the layer. To the right, a green box labeled 'Quellen und Senken' points to the 'Quellen, Senken' button. Below the main window, a green box labeled 'Neue Feuchtequelle' points to the 'Neue Feuchtequelle...' button in the 'Hygrothermische Quellen' dialog box. The dialog box shows the 'Generischer Kies' layer selected and the 'Neue Feuchtequelle...' button highlighted. The bottom of the dialog box contains 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe' buttons.

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

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

Variante: Kiesdach ohne Überdämmung

Aufbau/Monitorpositionen

Schichtname: Generischer Kies

Dicke [m]: 0,06

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

- Bild
- Tabelle

Bauteilschicht markieren

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (I)

Benutzerdefiniert

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Gesamtdicke: 0,339 m

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 6,38 (m² K)/W

U-Wert: 0,152 W/(m² K)

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Hygrothermische Quellen

Schicht/Materialname: Generischer Kies

Hygrothermische Quellen

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

Neue Wärmequelle ...

Neue Feuchtequelle...

Neue Luftwechselquelle ...

Bearbeiten...

Löschen

OK

Abbrechen

Hilfe

Beispiel A: Feuchtequelle im Kies

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in gesamte Schicht „Generischer Kies“ mit Ausnahme des äußeren Gitterelements.

Hinweis:

Ein Ansetzen der Feuchtequelle im äußersten Element kann zu numerischen Problemen und Bilanzunterschieden führen.

Gesamte Kiesschicht mit Ausnahme des äußeren Gitterelements

Feuchtequelle

Bezeichnung: Feuchtequelle im Kies

Verteilungsbereich

☐ Ein Element

☒ Mehrere Elemente

☐ Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]: 0,003

Endtiefe in Schicht [m]: 0,06

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

Anteil [%]: 40

Benutzerdefiniert

Anteil des Schlagregens eingeben

OK Abbrechen Hilfe

Beispiel A: 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 with various layers. 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. The dialog box also shows the 'Schicht/Materialname' (Layer/Material name) field set to 'Weichholz' (Softwood).

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 A: Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren
5 mm der Holzschalung.

Feuchtequelle

Bezeichnung: Infiltrationsquelle **Innere 5 mm der Holzschalung**

Verteilungsbereich

☐ Ein Element

☒ Mehrere Elemente

☐ Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]: 0,02

Endtiefe in Schicht [m]: 0,025

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)]: 3

Luftdichtigkeitsklasse B (DIN 4108 mit Prüfung ≤ 3 m³/m³)

Höhe der Luftsäule [m]: 5

Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa]: 0

Infiltrationsquelle anpassen

OK Abbrechen Hilfe

Beispiel A: Orientierung / Neigung

Eingabe: Bauteil - Orientierung

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 Kiesdach ohne Überd.

Bauteil

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

Steuerung

Klima

Variante: Kiesdach ohne Überdämmung

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Orientierung

Neigung

Höhe/Schlagregenkoeffizienten

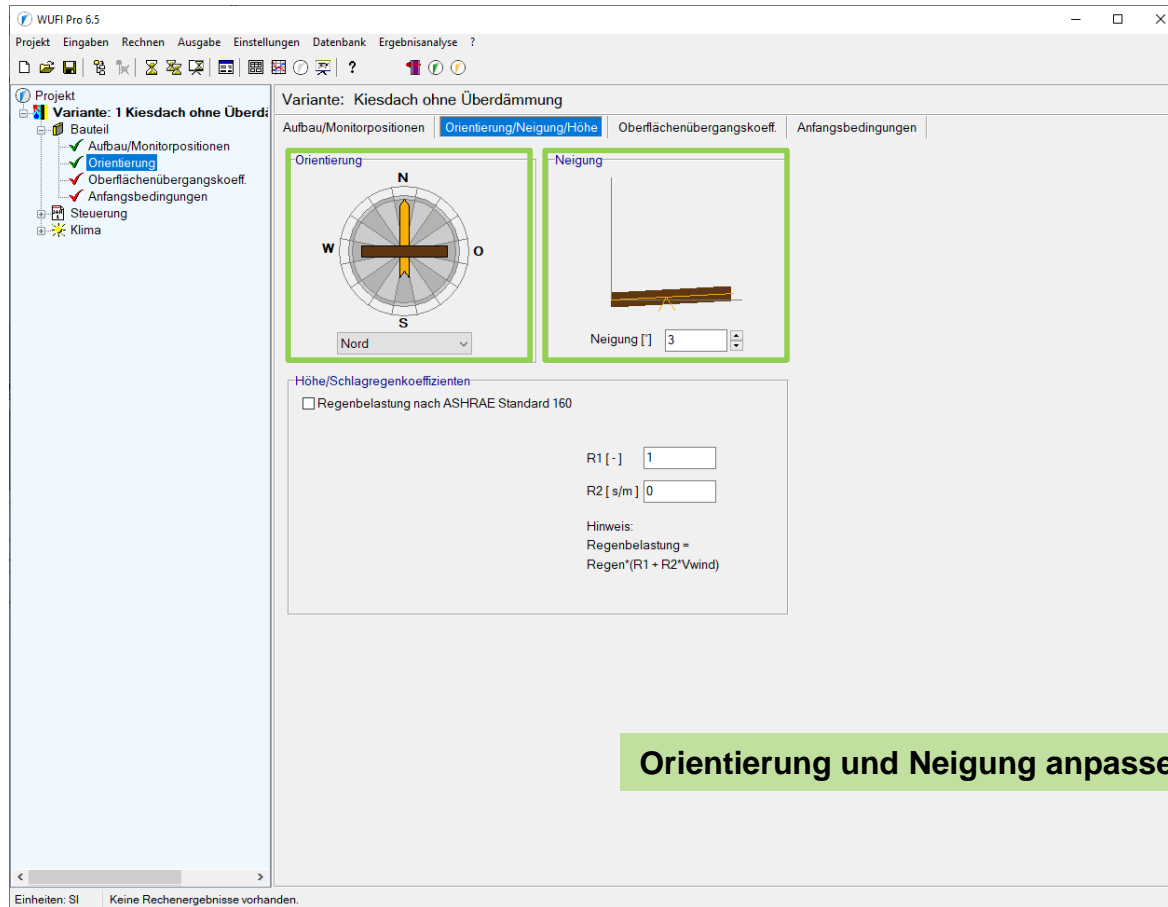
☐ Regenbelastung nach ASHRAE Standard 160

R1 [-] 1

R2 [s/m] 0

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

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.



Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel A: Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

The screenshot shows the WUFI Pro 6.5 software interface. The 'Projekt' (Project) pane on the left shows a tree structure with 'Bauteil' (Component) selected. The 'Variante: 1 Kiesdach ohne Überd.' (Variant: 1 Gravel roof without over-insulation) is selected. The 'Oberflächenübergangskoeff.' (Surface Transition Coefficient) tab is active. The 'Außenoberfläche (linke Seite)' (Outer surface (left side)) section is highlighted with a green box. It contains the following fields: 'Wärmeübergangswiderstand [(m² K)/W]' (Thermal resistance) set to 0.0526, 'Dach' (Roof) selected in the dropdown, 'beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m² K)]' (Includes longwave radiation components) set to 6.5, and 'Windabhängig' (Wind-dependent) set to 'Nein' (No). The 'sd-Wert [m]' (Sound reduction index) is set to 'Keine Beschichtung' (No coating). The 'Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]' (Shortwave radiation absorption coefficient) is set to 0.5, and 'Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]' (Longwave radiation emission coefficient) is set to 0.93. The 'Abminderungsfaktoren wegen Verschattung' (Reduction factors due to shading) section has 'auf Absorptionszahl [-]' (on absorption coefficient) set to 1.0 and 'auf Emissionszahl [-]' (on emission coefficient) set to 1.0. The 'Explizite Strahlungsbilanz' (Explicit radiation balance) checkbox is checked, and a hint is displayed: 'Hinweis: diese Option dient u.a. zur Berücksichtigung der Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung. In sensiblen Fällen sind hinreichend genaue Gegenstrahlungsdaten erforderlich.' (Note: this option serves, among others, for the consideration of subcooling due to longwave radiation. In sensitive cases, sufficiently accurate counter-radiation data are required). The 'Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]' (Terrestrial shortwave reflection coefficient) is set to 0.2, and 'Standardwert' (Standard value) is selected. The 'Anhaftender Anteil des Regens [-]' (Adhering part of rain) is set to 1.0, and 'Gemäß Bauteilneigung' (According to component slope) is selected. The 'Innenoberfläche (rechte Seite)' (Inner surface (right side)) section is highlighted with a green box. It contains the following fields: 'Wärmeübergangswiderstand [(m² K)/W]' (Thermal resistance) set to 0.125, '(Dach)' (Roof) selected in the dropdown, and 'sd-Wert [m]' (Sound reduction index) set to 'Keine Beschichtung' (No coating). The status bar at the bottom indicates 'Einheiten: SI' (Units: SI) and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.' (No calculation results available).

Parameter	Value
Wärmeübergangswiderstand [(m² K)/W]	0.0526
beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m² K)]	6.5
Windabhängig	Nein
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]	0.5
Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]	0.93
Abminderungsfaktoren wegen Verschattung	1.0
Explizite Strahlungsbilanz	Ja
Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]	0.2
Anhaftender Anteil des Regens [-]	1.0
Wärmeübergangswiderstand [(m² K)/W] (Innen)	0.125

Wärmeübergangskoeffizient
für Dach = 19 W/m²K

Strahlungsabsorption und -emission:
Kiesdach, generisches Modell (aus Liste)

Explizite Strahlungsbilanz verwendet

Regenwasserabsorption = 1

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel A: Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt: Variante: 1 Kiesdach ohne Überd.

Bauteil

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

Variante: Kiesdach ohne Überdämmung

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

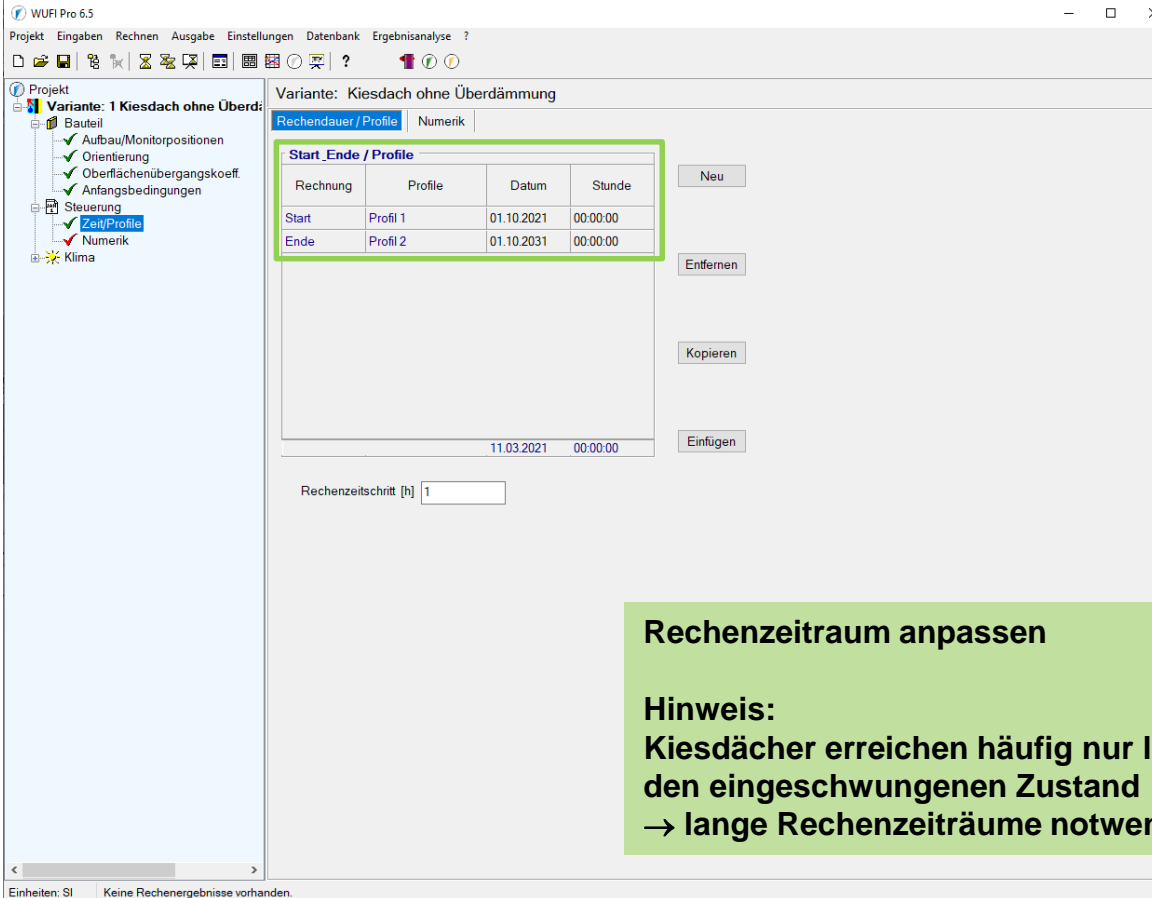
Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wasser- gehalt [kg/m³]
1	Generischer Kies	0.06	5.0
2	Dampfbremse (sd=300m)	0.001	0.0
3	Weichholz	0.025	60.0
4	Mineralfaser (Wärmeleit: 0.04 W/mK)	0.24	1.79
5	ISOVER Vario KM Duplex	0.001	3.5
6	Gipskartonplatte	0.0125	6.3

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel A: Berechnungszeit

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile



WUFI Pro 6.5

Projekt: Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt: Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung

Rechenzeitraum / Profile

Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2021	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2031	00:00:00

Rechenzeitschritt [h] 1

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

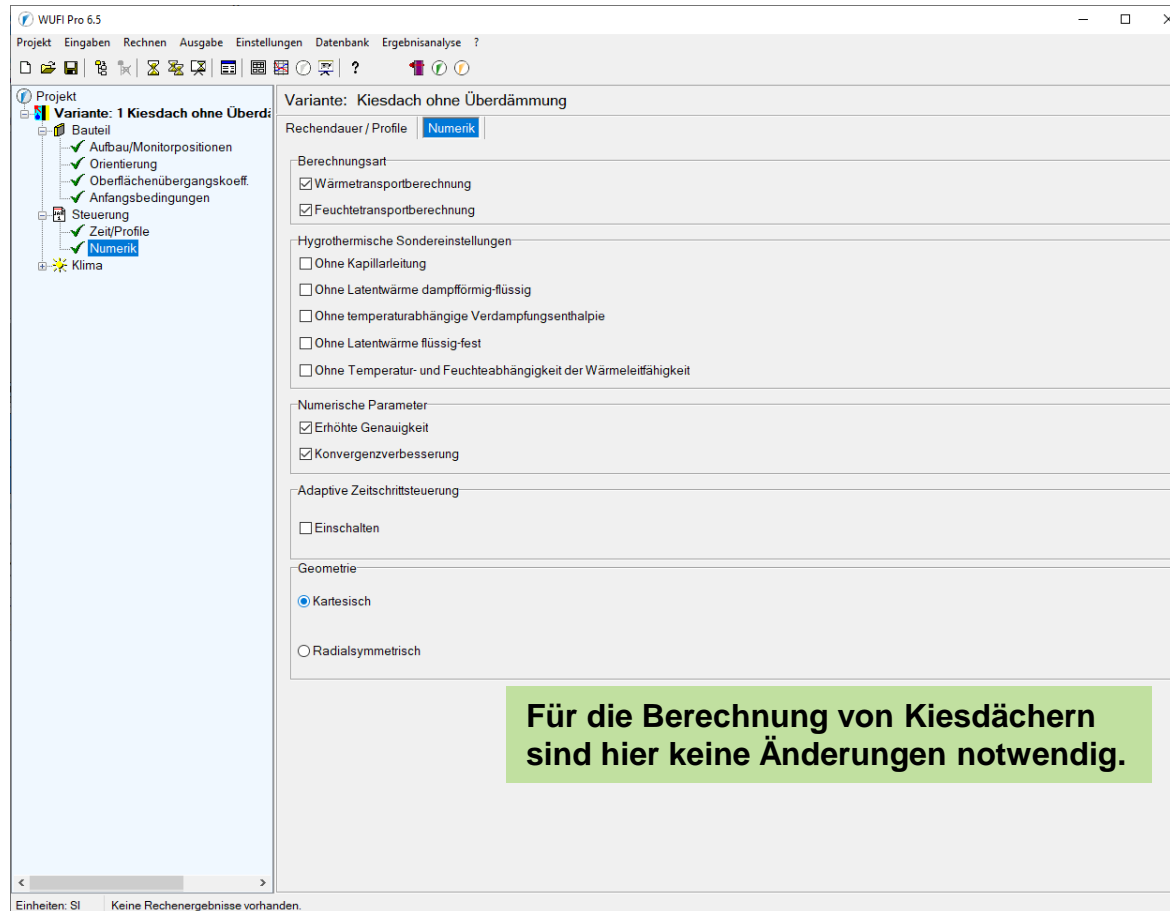
Rechenzeitraum anpassen

Hinweis:

**Kiesdächer erreichen häufig nur langsam den eingeschwungenen Zustand
→ lange Rechenzeiträume notwendig**

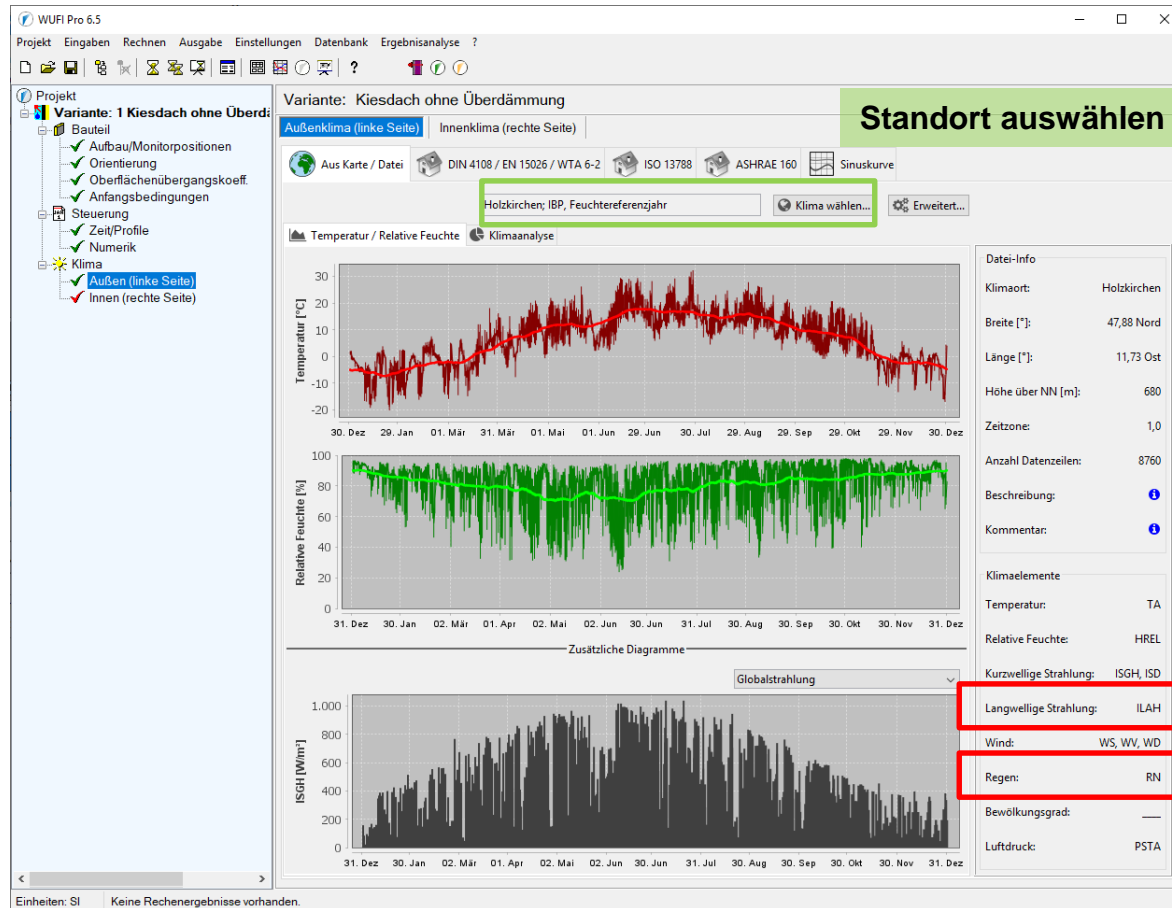
Beispiel A: Numerische Einstellungen

Eingabe: Steuerung – Numerik



Beispiel A: Außenklima

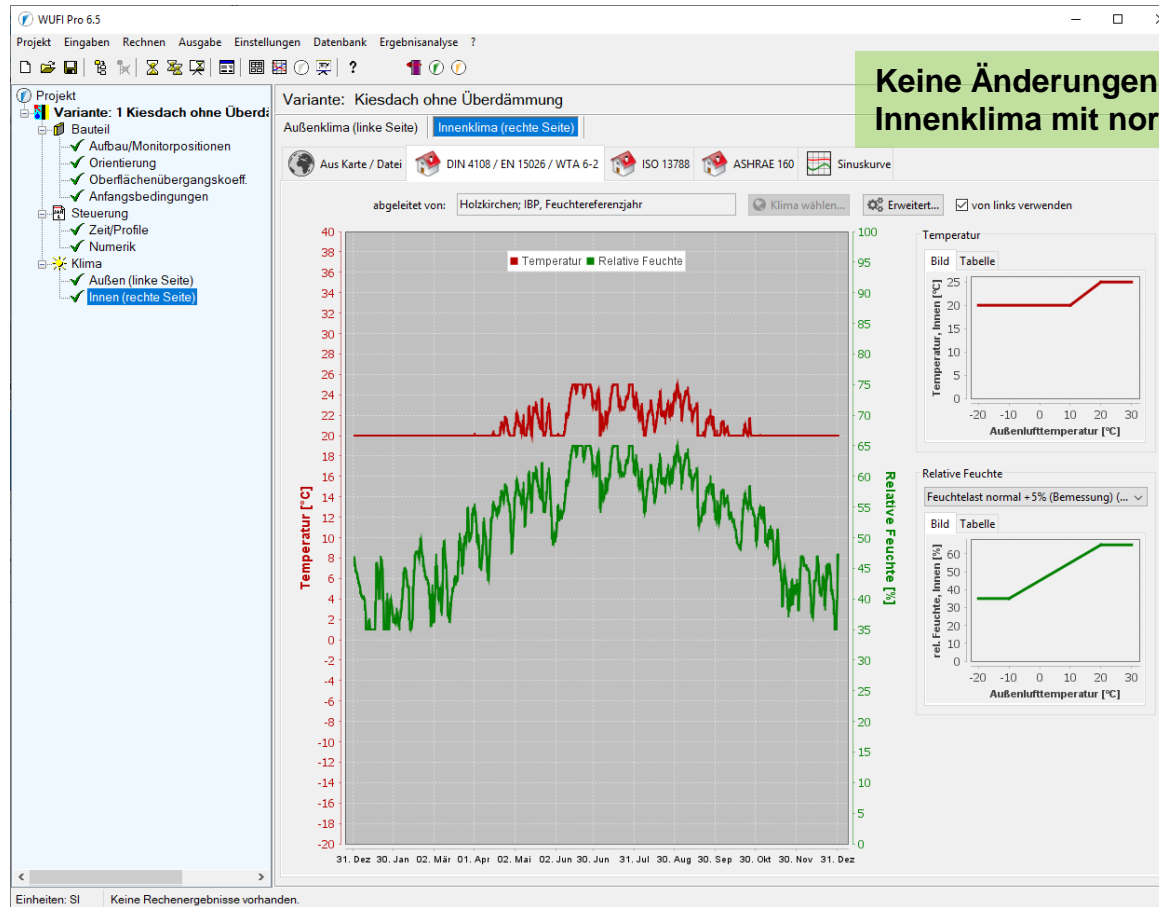
Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)



Hinweis:
Für die Anwendung
des generischen
Kiesdachmodells sind
Standorte notwendig,
die langwellige
Strahlung und
Regendaten enthalten!

Beispiel A: Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



Beispiel A: Auswertung Rechenqualität

Letzter Rechenlauf:

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	11.03.2021 10:42:59
Rechenzeit	7 min,49 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2021 / 01.10.2031
Anzahl der Konvergenzfehler	176

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m²]	0,0 -1112,88
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m²]	3,5E-7 0,48
Bilanz 1	[kg/m²]	2,79
Bilanz 2	[kg/m²]	2,8

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,31	5,11	2,21	6,26

Wassergehalt [kg/m³]

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

☐ Rechnung gesperrt

Schließen

Hilfe

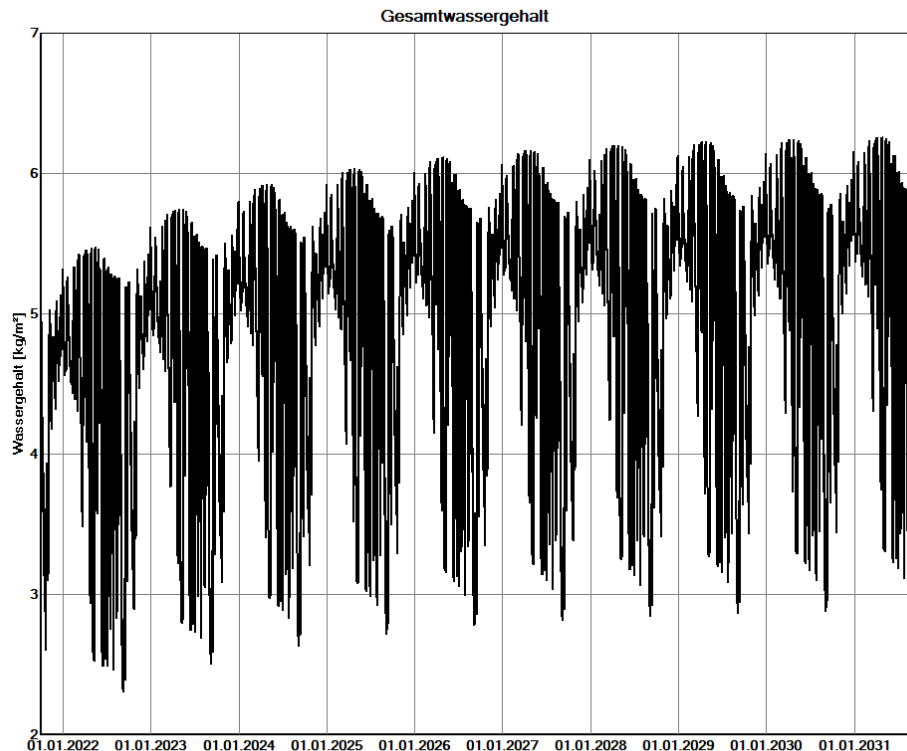
Höhere Anzahl an Konvergenzfehler!

→ Überprüfen, ob die Wassergehaltsverläufe in den Schichten der Unterkonstruktion Auffälligkeiten aufweisen!

Die beiden Bilanzen sind nahezu identisch!

Beispiel A: Auswertung Gesamtwassergehalt

Auswertung anhand der Schnellgrafiken: Gesamtwassergehalt



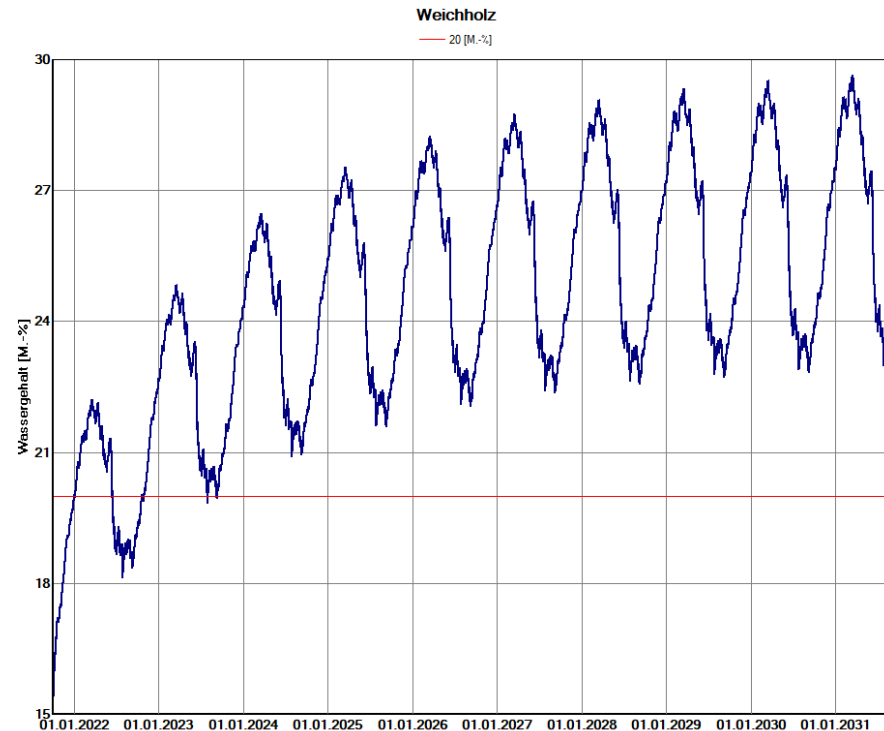
Bewertung:

Der Gesamtwassergehalt bei Kiesdächern ist aufgrund der meist großen Feuchtemenge im Kies ggf. wenig aussagekräftig

→ Auswertung der einzelnen Schichten der Unterkonstruktion

Beispiel A: Auswertung Holzschalung

Auswertung anhand der Schnellgrafiken: Wassergehalt der Schalung



Bewertung:

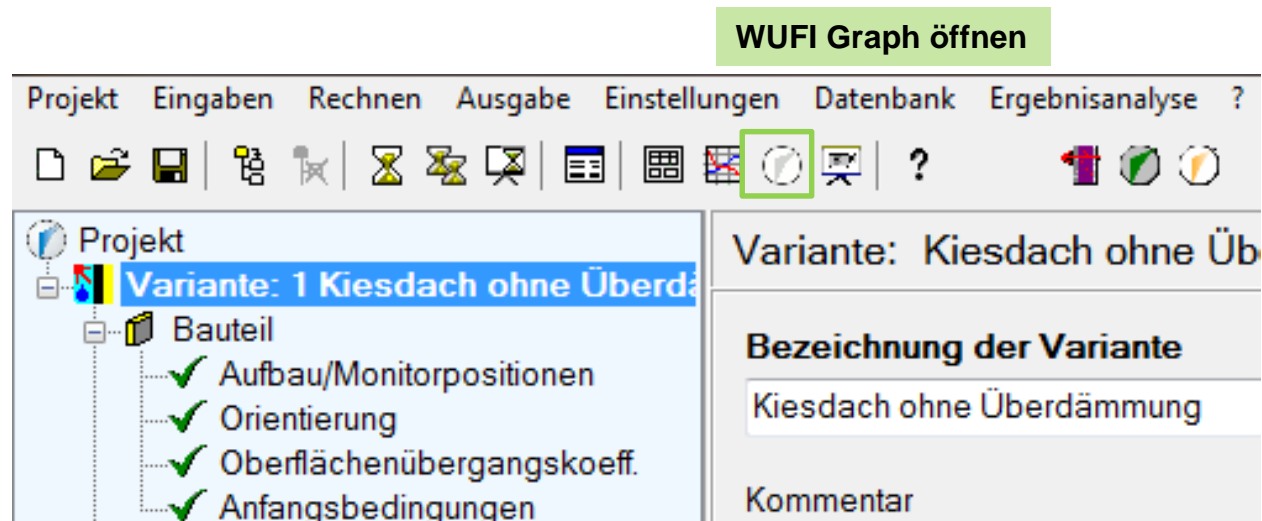
Der Wassergehalt in der Schalung steigt über den Berechnungszeitraum an und überschreitet den Grenzwert von 20 M.-% deutlich.

→ Auswertung der Holzfeuchte nach WTA

Beispiel A: Auswertung Holzfeuchte mit WUFI® Graph

Auswertung anhand WUFI® Graph:

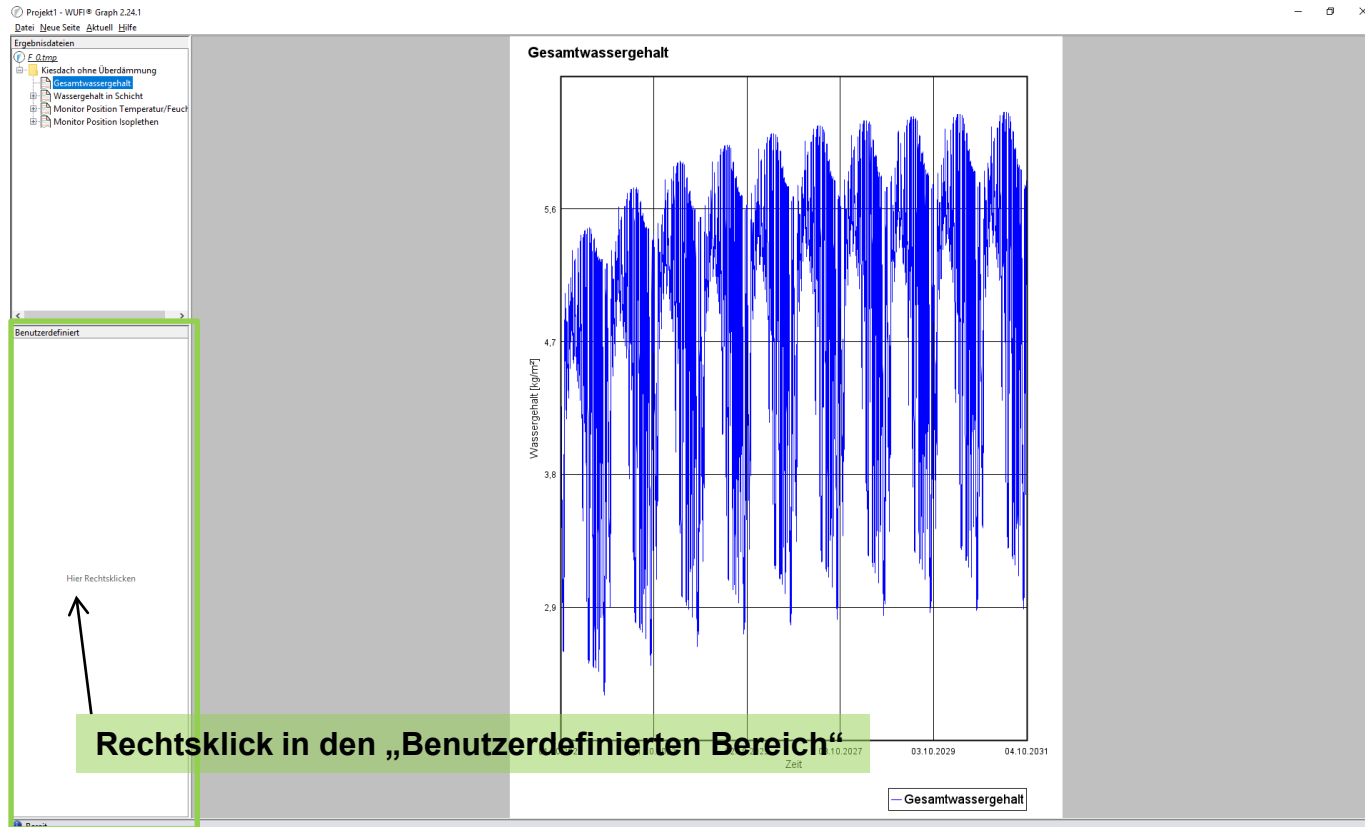
Holzfeuchte in der Schalung entsprechend WTA 6-8



Beispiel A: Auswertung Holzfeuchte mit WUFI® Graph

Auswertung anhand WUFI® Graph:

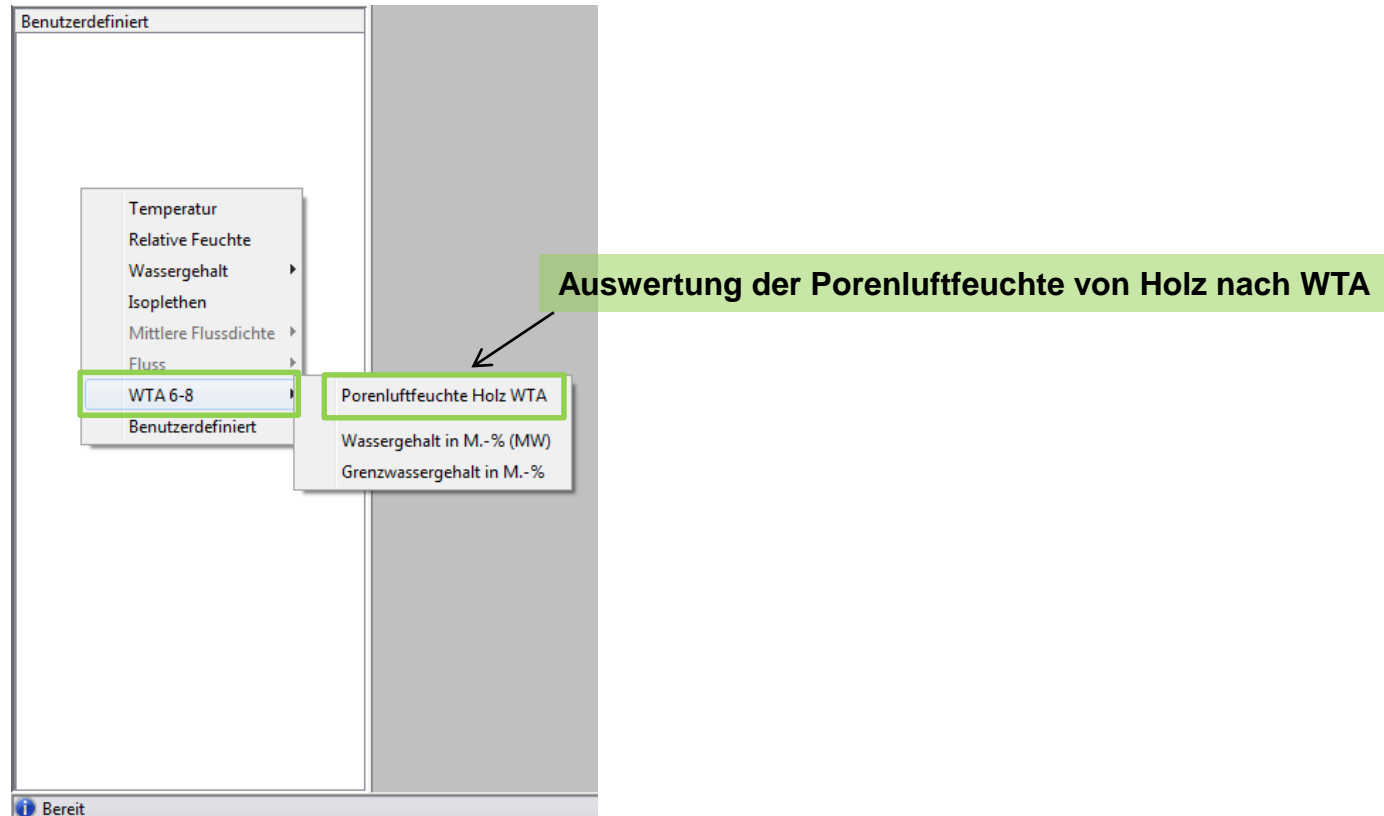
Holzfeuchte in der Schalung entsprechend WTA 6-8



Beispiel A: Auswertung Holzfeuchte mit WUFI® Graph

Auswertung anhand WUFI® Graph:

Holzfeuchte in der Schalung entsprechend WTA 6-8

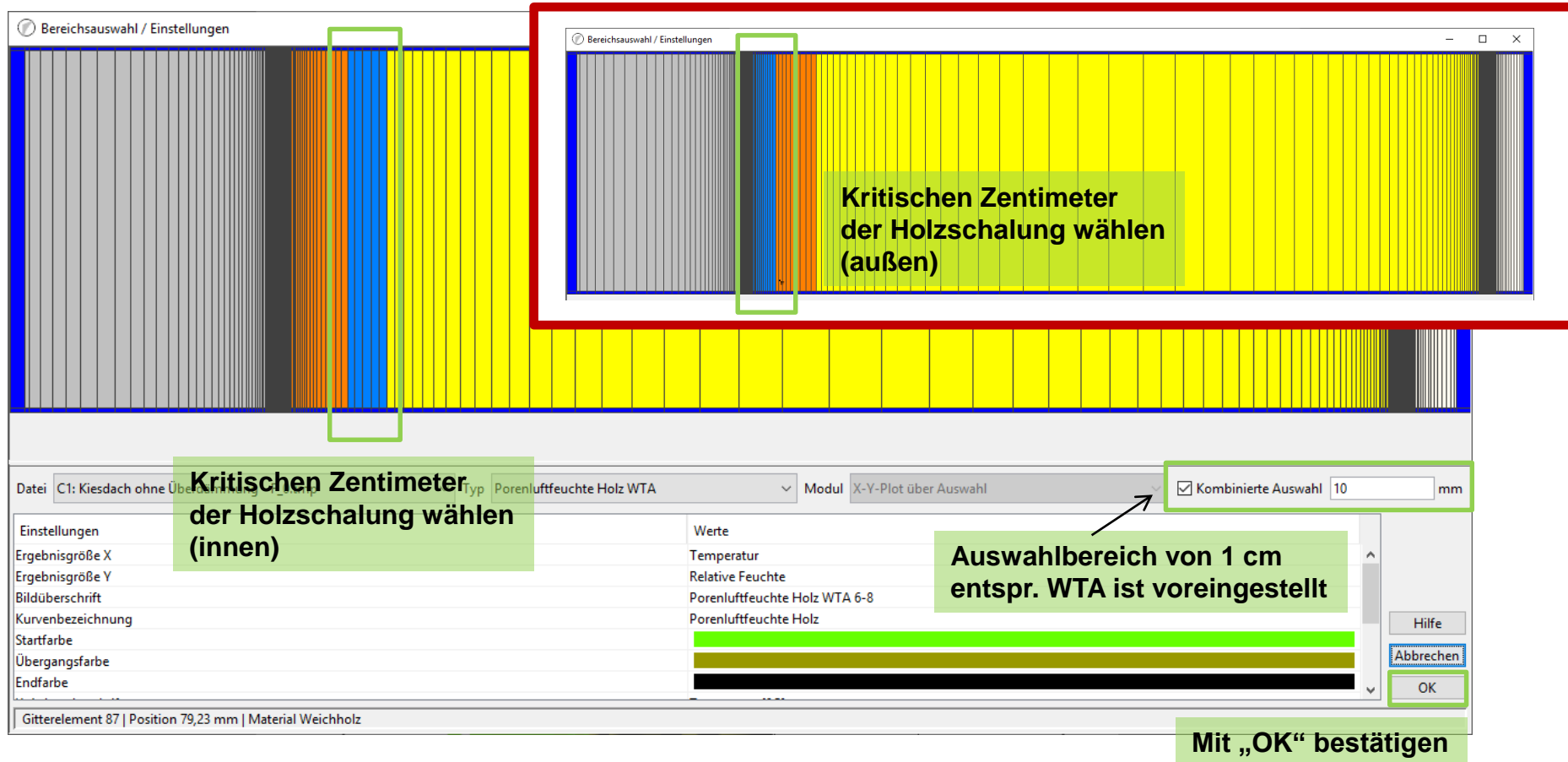


Beispiel A: Auswertung Holzfeuchte mit WUFI® Graph

Auswertung anhand WUFI® Graph:

Holzfeuchte in der Schalung entsprechend WTA 6-8

Auswertung erfolgt im kritischeren Zentimeter (im Zweifel beide Seiten betrachten)



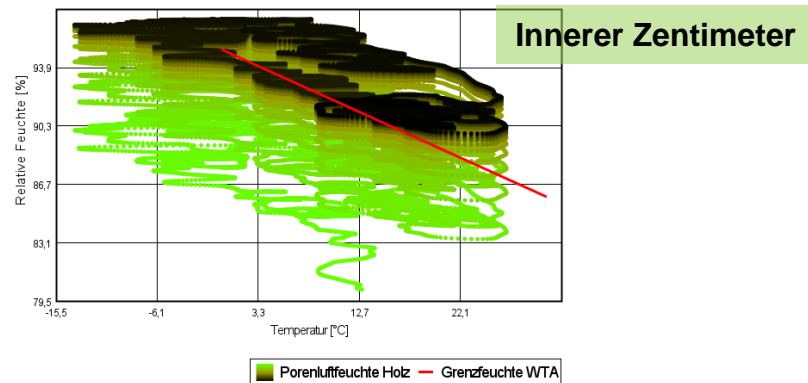
Beispiel A: Auswertung Holzfeuchte mit WUFI® Graph

Auswertung anhand WUFI® Graph:

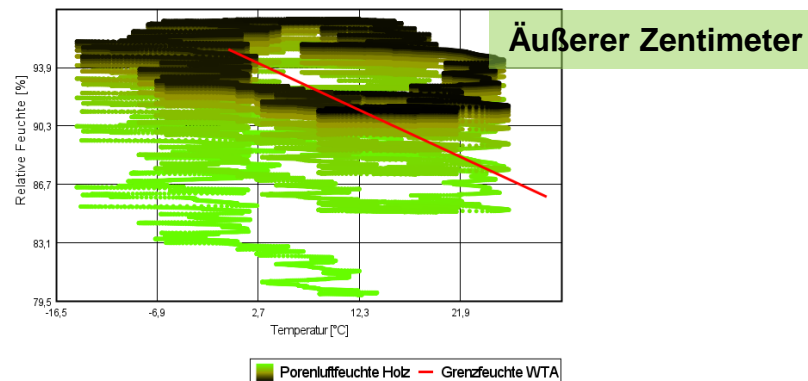
Holzfeuchte in der Schalung entsprechend WTA 6-8

Auswertung erfolgt im kritischeren Zentimeter (im Zweifel beide Seiten betrachten)

Porenluftfeuchte Holz WTA 6-8



Porenluftfeuchte Holz WTA 6-8



Bewertung:

Die relative Porenluftfeuchte im inneren und im äußeren Zentimeter der Schalung überschreitet die Grenzfeuchte nach WTA ebenfalls deutlich.

→ Nicht akzeptabel, da Risiko bzgl. einer Schädigung des Holzes

Aufbau (von außen nach innen):

- Generischer Kies 0,06 m
- Dampfbremse ($s_d = 300\text{m}$) 0,001 m
- EPS (Wärmeleit.: 0,04 W/mK - Dichte 30 kg/m³) 0,1 m
- Holzschalung (Weichholz) 0,025 m
- Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK) 0,24 m
- feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex) 0,001 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

Randbedingungen:

- Flachdach (3° nach Norden geneigt)
- kurzwellige Strahlungsabsorptions- / langwellige Strahlungsemissionszahl:
entsprechend dem generischen Kieddachmodell
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: normale Feuchtelast + 5 % nach DIN 4108-3
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Höhe der Luftsäule: 5 m

Beispiel B: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung
- Variante: 2 **Kiesdach mit Überdämmung**

Bauteil

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

Variante: Kiesdach mit Überdämmung

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

Schichtname: Schicht1 Dicke [m]:

Außen (linke Seite) Innen (rechte Seite)

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: ---

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: --- U-Wert: ---

Einheiten: SI Projekt

Kiesdachaufbau eingeben

Beispiel B: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Materialien

Alle Materialien durchsuchen

WUFI → Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) → Grün- und Kiesdächer

Materialname	Rohdichte [kg/m³]	Porosität [m³/m³]	Wärmekap. [J/kgK]	Wärmeleit. [W/mK]	Diff.Wid. [-]
Generischer Kies	1400	0,3	1000	0,7	1
Generisches Substrat	1500	0,5	1500	0,9	5
Optigrün Leichtdach 1 (Schutzvlies) 3/3	83	0,95	840	0,035	1
Optigrün Leichtdach 1 (Sedum-Bepflanzung) 1/3	1500	0,5	1000	0,2	5
Optigrün Leichtdach 1 (Substrat Typ L inkl. FKD) 2/3	405	0,82	1000	0,4	3
Optigrün Naturdach 1 (Festkörperdränage) 4/5	60	0,95	850	0,3	1,3
Optigrün Naturdach 1 (Filtermatte) 3/5	83	0,95	840	0,035	1
Optigrün Naturdach 1 (Gras-Bepflanzung) 1/5	1500	0,5	1000	0,2	5

Materialinformationen

Kies (Dicke <= 15 cm)

WICHTIG: Eingabe einer Feuchtequelle ("Anteil des Schlagregens") in die gesamte Schicht mit Ausnahme des äußersten Elements (numerisch günstiger) mit 40% des Niederschlags begrenzt auf die freie Wassersättigung.

Die Anpassung der hygrothermischen Materialeigenschaften basiert auf Nachrechnungen von Untersuchungen und Messungen an bekieseten Dächern in Holzkirchen, Gräfelfing und Mailand.

In DB eingefügt: 24.07.2013

Letzte Aktualisierung: ---

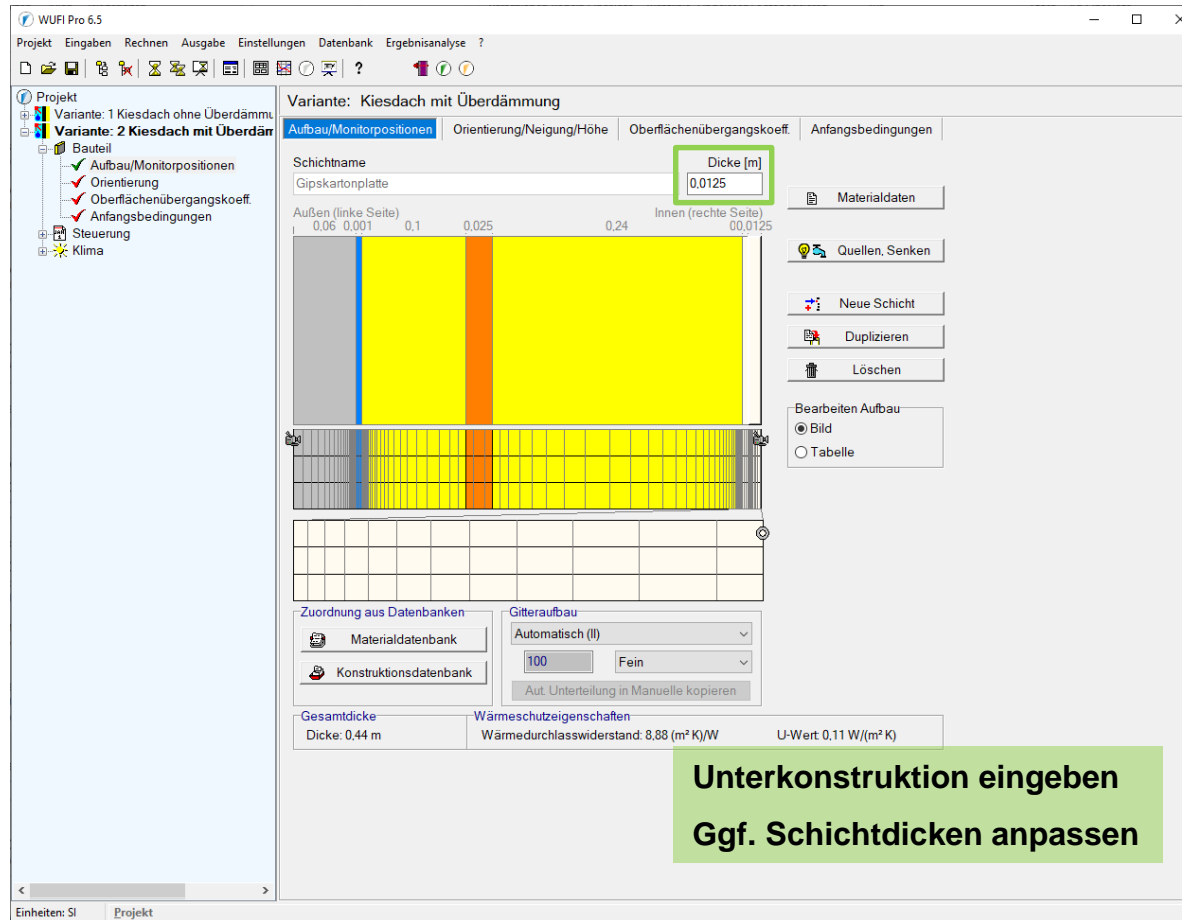
Generischer Kies aus Materialdatenbank

Einlesen Exportieren

Dicke [m]: 0,05 Verwenden Abbrechen Hilfe

Beispiel B: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen



Beispiel B: Gittereinstellung

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung
- Variante: 2 Kiesdach mit Überdämmung
- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
 - Steuerung
 - Klima

Variante: Kiesdach mit Überdämmung

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Schichtname Dicke [m]

Gipskartonplatte 0,0125

Außen (linke Seite) 0,06 0,001 0,1 0,025 0,24 Innen (rechte Seite) 0,0125

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

☒ Bild

☐ Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (II)

200 Benutzerdefiniert

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Gesamtdicke Dicke: 0,44 m

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 8,88 (m² K)/W

U-Wert 0,11 W/(m² K)

Einheiten: SI Projekt

Feineres Gitter einstellen

Empfehlung bei Grün- und Kiesdächern:
Automatisch (II) mit 200 Elementen (Benutzerdefiniert)

Beispiel B: Feuchtequelle im Kies

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in die Schicht „Generischer Kies“ einfügen.

The screenshot displays the WUFI Pro 6.5 software interface. The main window, titled 'Variante: Kiesdach mit Überdämmung', shows the 'Aufbau/Monitorpositionen' tab. A green box highlights the 'Generischer Kies' layer in the cross-section diagram, with a label 'Bauteilschicht markieren'. Another green box highlights the 'Quellen und Senken' button in the toolbar, with a label 'Quellen und Senken'. The 'Hygrothermische Quellen' dialog box is open, showing the 'Generischer Kies' layer selected. A green box highlights the 'Neue Feuchtequelle...' button in the dialog, with a label 'Neue Feuchtequelle'. The dialog box contains a table for 'Hygrothermische Quellen' with columns 'Nr.', 'Typ', and 'Bezeichnung'. The 'OK' button is highlighted with a green checkmark.

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung

Variante: 2 Kiesdach mit Überdämmung

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Schichtname Dicke [m]

Generischer Kies 0,06

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

Bild

Tabelle

Bauteilschicht markieren

Hygrothermische Quellen

Schicht/Materialname Generischer Kies

Hygrothermische Quellen

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

Neue Wärmequelle ...

Neue Feuchtequelle...

Neue Luftwechselquelle ...

Bearbeiten...

Löschen

OK

Abbrechen

Hilfe

Beispiel B: Feuchtequelle im Kies

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in gesamte Schicht „Generischer Kies“ mit Ausnahme des äußeren Gitterelements.

Hinweis:

Ein Ansetzen der Feuchtequelle im äußersten Element kann zu numerischen Problemen und Bilanzunterschieden führen.

Gesamte Kiesschicht mit Ausnahme des äußeren Gitterelements

Feuchtequelle

Bezeichnung: Feuchtequelle im Kies

Verteilungsbereich

☐ Ein Element

☒ Mehrere Elemente

☐ Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]: 0,003

Endtiefe in Schicht [m]: 0,06

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

Anteil [%]: 40

Benutzerdefiniert

Anteil des Schlagregens eingeben

OK Abbrechen Hilfe

Beispiel B: 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 assembly with various layers. 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. The dialog box also shows a table with the following data:

Nr.	Typ	Bezeichnung
1	Infiltrationsquelle	

The dialog box also includes buttons for 'Neue Wärmequelle ...' (New heat source ...), 'Neue Luftwechselquelle ...' (New air exchange source ...), 'Bearbeiten...' (Edit ...), and 'Löschen' (Delete). The 'OK' button is highlighted with a green checkmark.

Beispiel B: Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren
5 mm der Holzschalung.

Feuchtequelle

Bezeichnung: Infiltrationsquelle **Innere 5 mm der Holzschalung**

Verteilungsbereich

- ☐ Ein Element
- ☒ Mehrere Elemente
- ☐ Ganze Schicht

Quellentyp

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

Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]

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

Starttiefe in Schicht [m]: 0.02

Endtiefe in Schicht [m]: 0.025

Durchströmung der Hülle q_{50} [m³/(m² h)]: 3

Luftdichtigkeitsklasse B (DIN 4108 mit Prüfung $\leq 3 \text{ m}^3/\text{m}^2$)

Höhe der Luftsäule [m]: 5

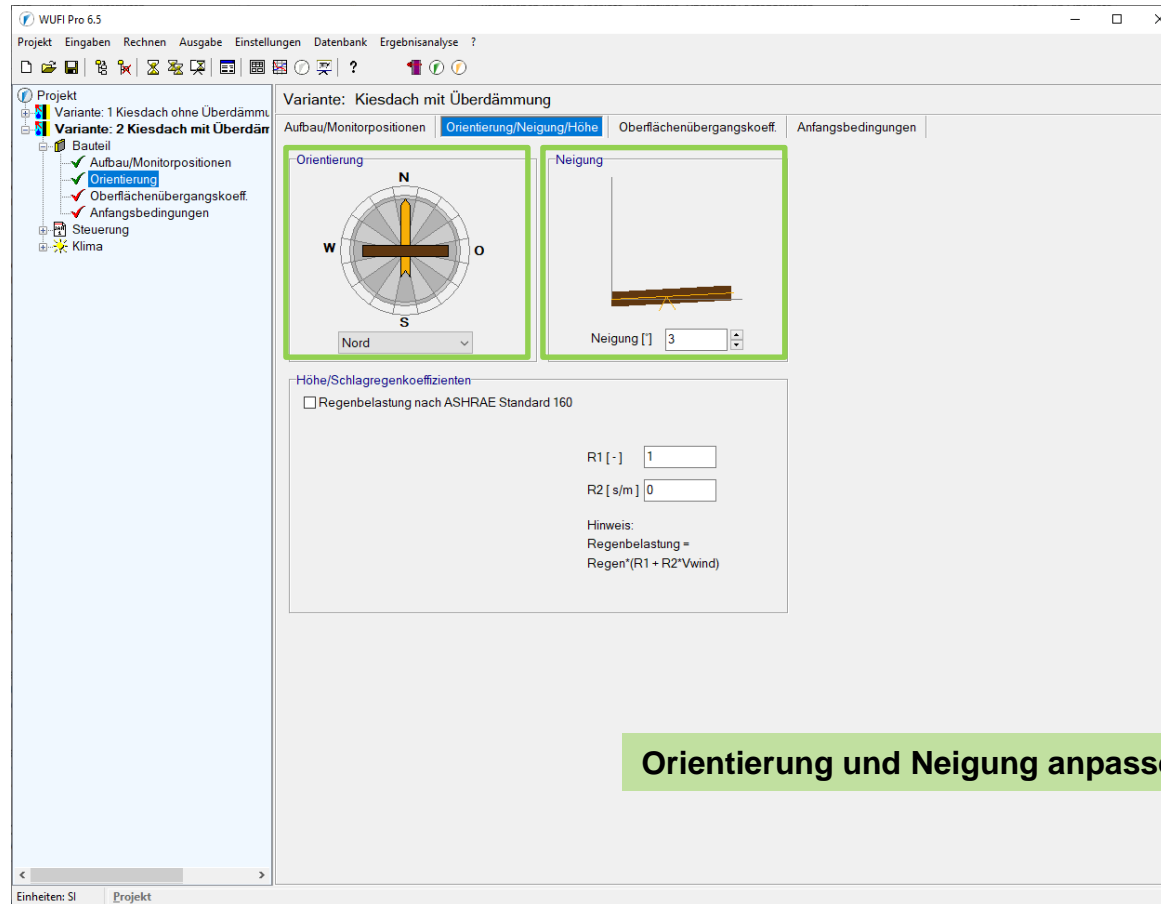
Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa]: 0

Infiltrationsquelle anpassen

OK Abbrechen Hilfe

Beispiel B: Orientierung / Neigung

Eingabe: Bauteil - Orientierung



Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel B: Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

The screenshot shows the WUFI Pro 6.5 software interface. The 'Projekt' (Project) pane on the left lists 'Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämm.' and 'Variante: 2 Kiesdach mit Überdämm.', with 'Oberflächenübergangskoeff.' selected. The main window displays the 'Oberflächenübergangskoeff.' settings for 'Variante: Kiesdach mit Überdämmung'. The 'Außenoberfläche (linke Seite)' (Outer surface, left side) is highlighted in green. The 'Wärmeübergangswiderstand [(m² K)/W]' is set to 0.0526, and the 'Dach' (Roof) dropdown is selected. The 'beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m² K)]' (includes longwave radiation components) is set to 6.5. The 'Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]' (Shortwave radiation absorption coefficient) is set to 0.5, and the 'Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]' (Longwave radiation emission coefficient) is set to 0.93. The 'Abminderungsfaktoren wegen Verschattung' (Reduction factors due to shading) are set to 1.0. The 'Explizite Strahlungsbilanz' (Explicit radiation balance) checkbox is checked. The 'Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]' (Terrestrial shortwave reflectance) is set to 0.2. The 'Anhaftender Anteil des Regens [-]' (Adherent part of rain) is set to 1.0. The 'Innenoberfläche (rechte Seite)' (Inner surface, right side) is highlighted in green. The 'Wärmeübergangswiderstand [(m² K)/W]' is set to 0.125, and the 'Dach' (Roof) dropdown is selected. The 'sd-Wert [m]' (s-value) is set to 'Keine Beschichtung' (No coating). The 'Einheiten: SI' (Units: SI) and 'Projekt' (Project) buttons are at the bottom left.

Parameter	Value	Unit / Note
Wärmeübergangswiderstand	0.0526	(m² K)/W
beinhaltet langwellige Strahlungsanteile	6.5	W/(m² K)
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	0.5	-
Langwellige Strahlungsemissionszahl	0.93	-
Abminderungsfaktoren wegen Verschattung	1.0	-
Explizite Strahlungsbilanz	checked	-
Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad	0.2	-
Anhaftender Anteil des Regens	1.0	-
Wärmeübergangswiderstand (Innen)	0.125	(m² K)/W

Wärmeübergangskoeffizient
für Dach = 19 W/m²K

Strahlungsabsorption und -emission:
Kiesdach, generisches Modell (aus Liste)

Explizite Strahlungsbilanz verwendet

Regenwasserabsorption = 1

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Beispiel B: Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Varianten
 - Varianten: 1 Kiesdach ohne Überdämmung
 - Varianten: 2 **Kiesdach mit Überdämmung**
- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientation
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen**
 - Steuerung
 - Klima

Varianten: Kiesdach mit Überdämmung

Aufbau/Monitorpositionen Orientation/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	Generischer Kies	0.06	5.0
2	Dampfbremse (sd=300m)	0.001	0.0
3	EPS (Wärmeleit: 0.04 W/mK - Dichte: 30 kg/m³)	0.1	1.79
4	Weichholz	0.025	60.0
5	Mineralfaser (Wärmeleit: 0.04 W/mK)	0.24	1.79
6	ISOVER Vario KM Duplex	0.001	3.5
7	Gipskartonplatte	0.0125	6.3

Einheiten: SI Projekt

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel B: Berechnungszeit

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

WUFI Pro 6.5

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung
- Variante: 2 Kiesdach mit Überdämmung
- Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
- Steuerung
 - Zeit/Profile
 - Numerik
- Klima

Variante: Kiesdach mit Überdämmung

Rechenzeitraum / Profile Numerik

Start_End / Profile			
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2021	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2031	00:00:00

Neu

Entfernen

Kopieren

Einfügen

11.03.2021 00:00:00

Rechenzeitschritt [h] 1

Einheiten: SI Projekt

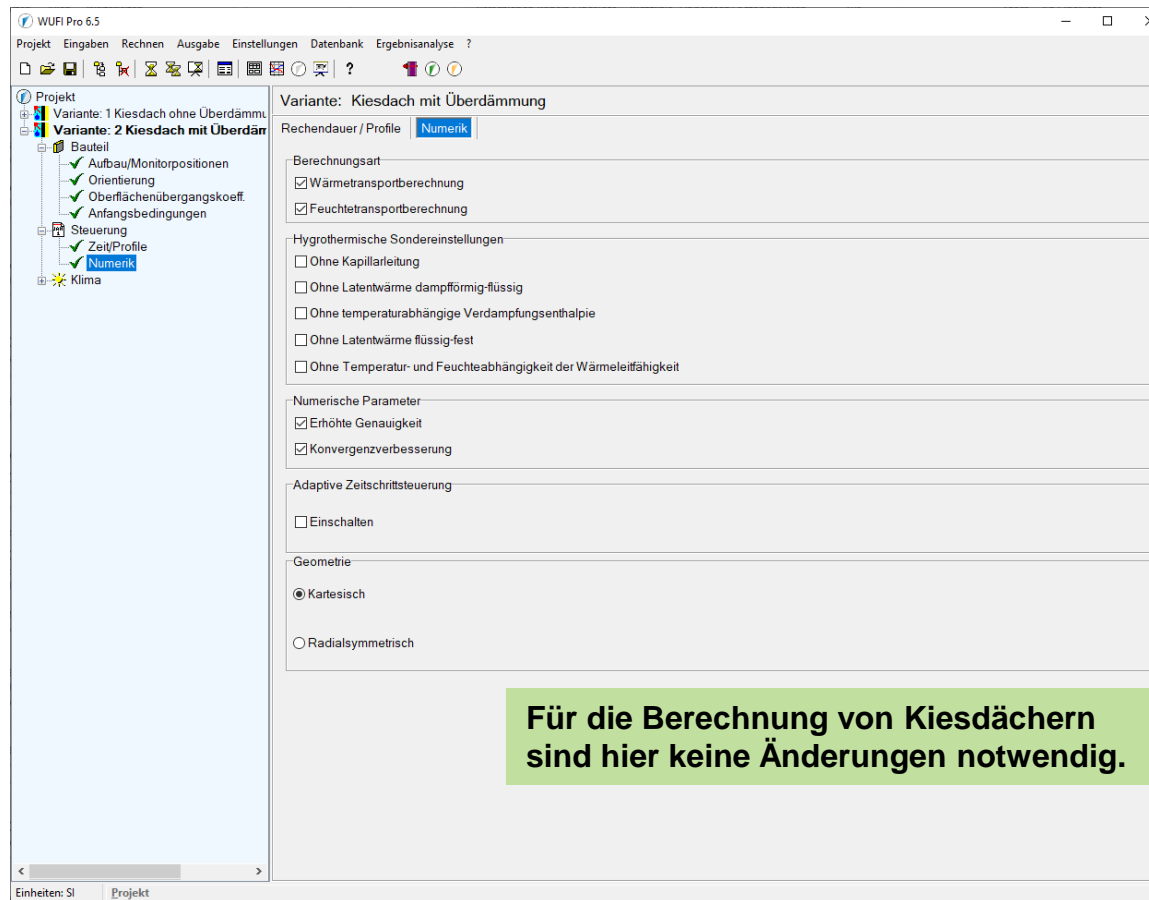
Rechenzeitraum anpassen

Hinweis:

**Kiesdächer erreichen häufig nur langsam den eingeschwungenen Zustand
→ lange Rechenzeiträume notwendig**

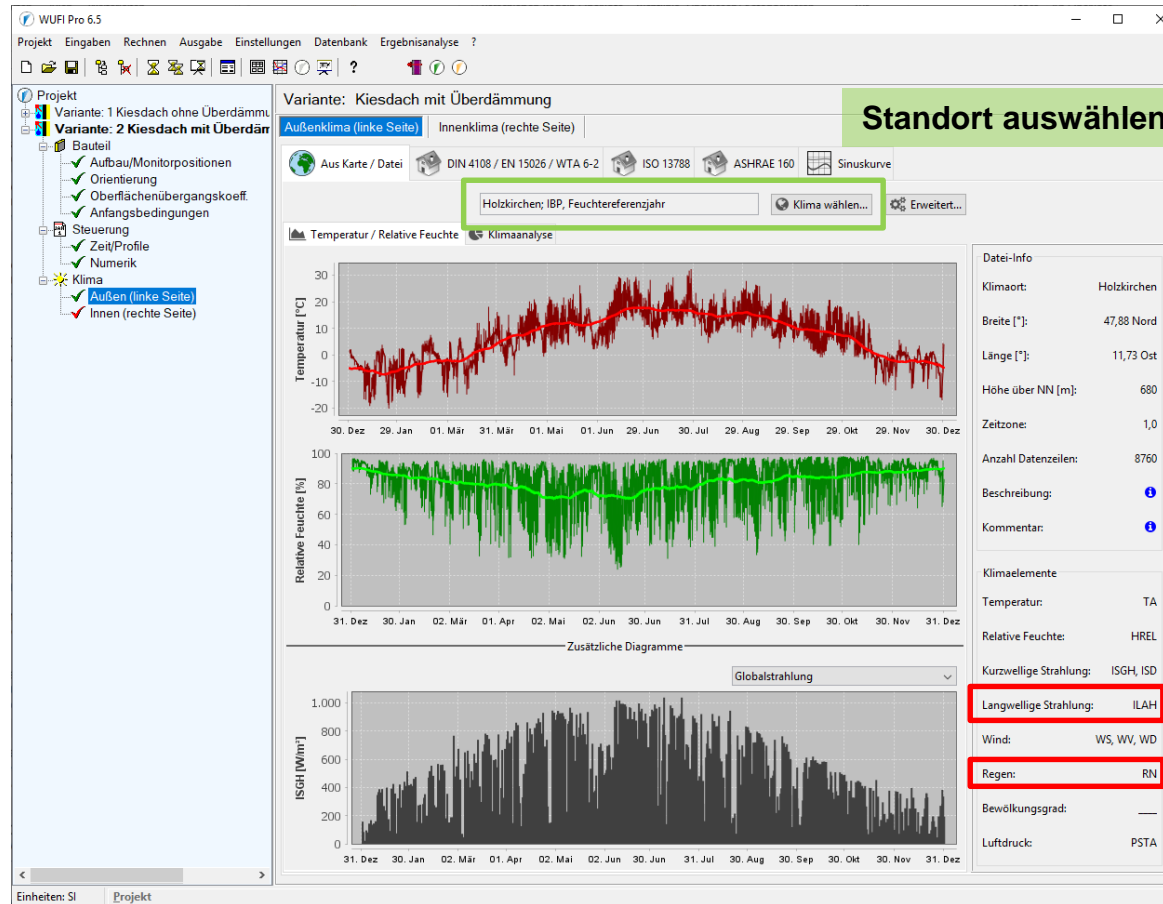
Beispiel B: Numerische Einstellungen

Eingabe: Steuerung – Numerik



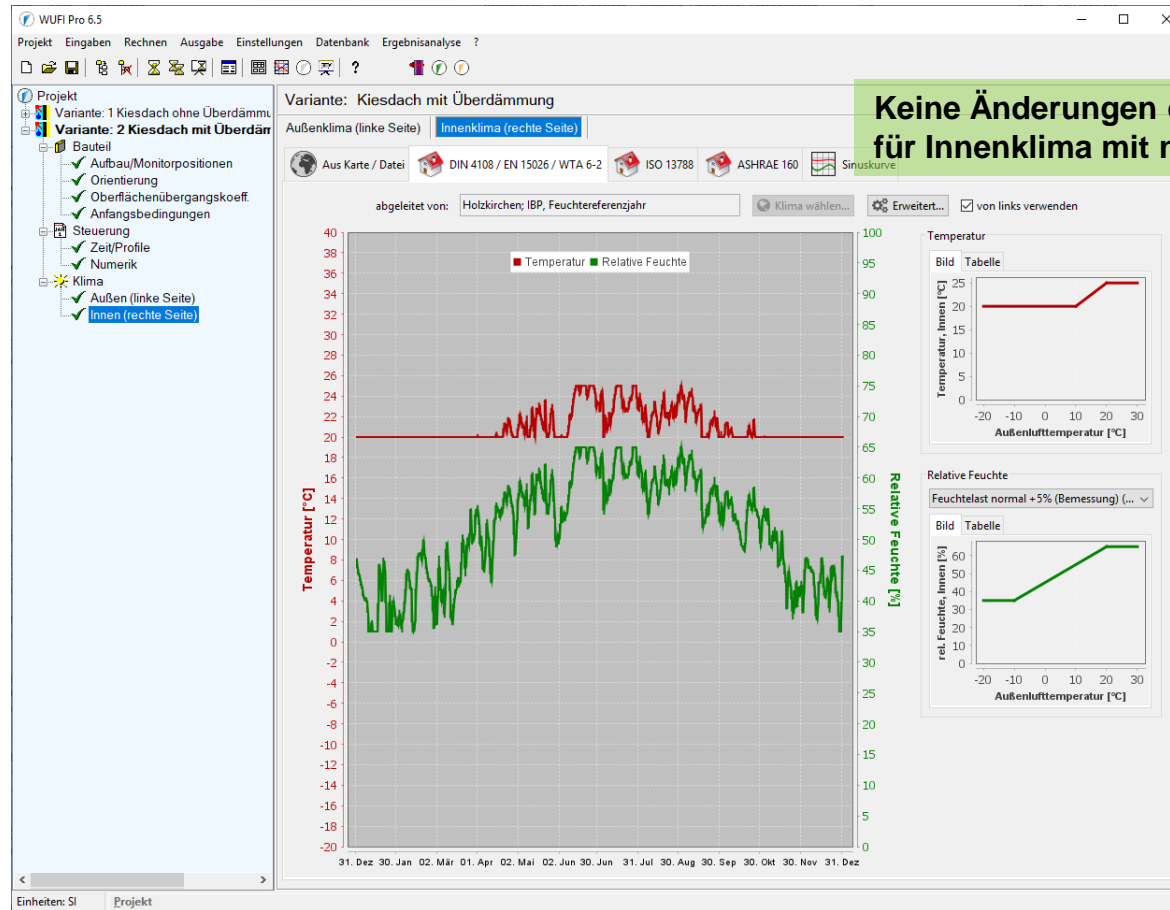
Beispiel B: Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)



Beispiel B: Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



**Keine Änderungen erforderlich
für Innenklima mit normaler Feuchtelast + 5%**

Beispiel B: Auswertung Rechenqualität

Letzter Rechenlauf:

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	16.03.2021 08:07:41
Rechenzeit	5 min,24 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2021 / 01.10.2031
Anzahl der Konvergenzfehler	82

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m²]	0,0 -1090,81
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m²]	2,2E-7 -0,04
Bilanz 1	[kg/m²]	2,28
Bilanz 2	[kg/m²]	2,29

Wassergehalt [kg/m³]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,49	4,78	2,26	5,66

Wassergehalt [kg/m³]

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

☐ Rechnung gesperrt

Schließen

? Hilfe

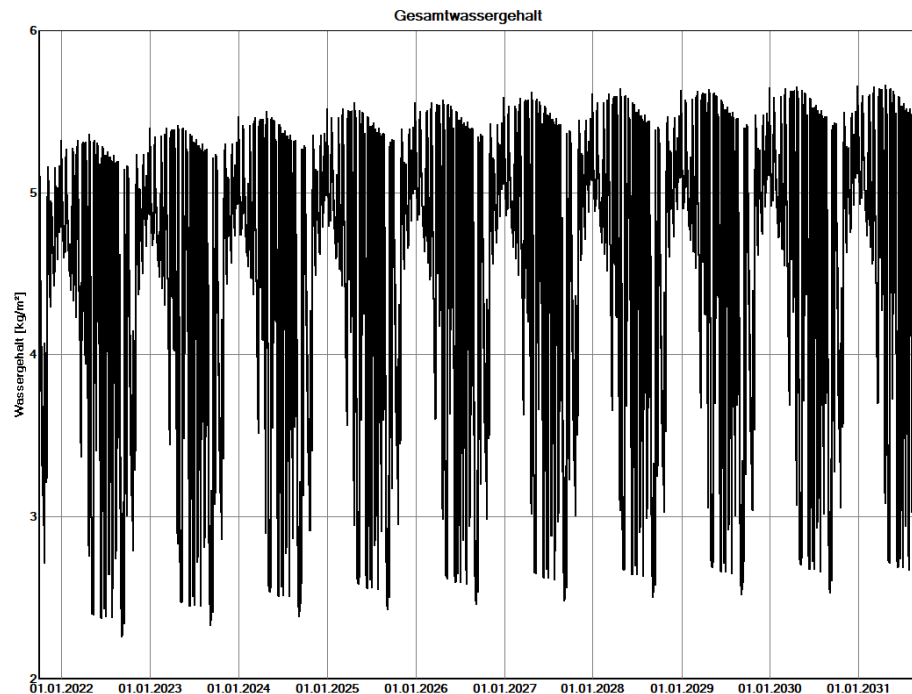
Hohe Anzahl an Konvergenzfehler!

→ Überprüfen, ob die Wassergehaltsverläufe in den Schichten der Unterkonstruktion Auffälligkeiten aufweisen!

Die beiden Bilanzen sind nahezu identisch!

Beispiel B: Auswertung Gesamtwassergehalt

Auswertung anhand der Schnellgrafiken:
Gesamtwassergehalt



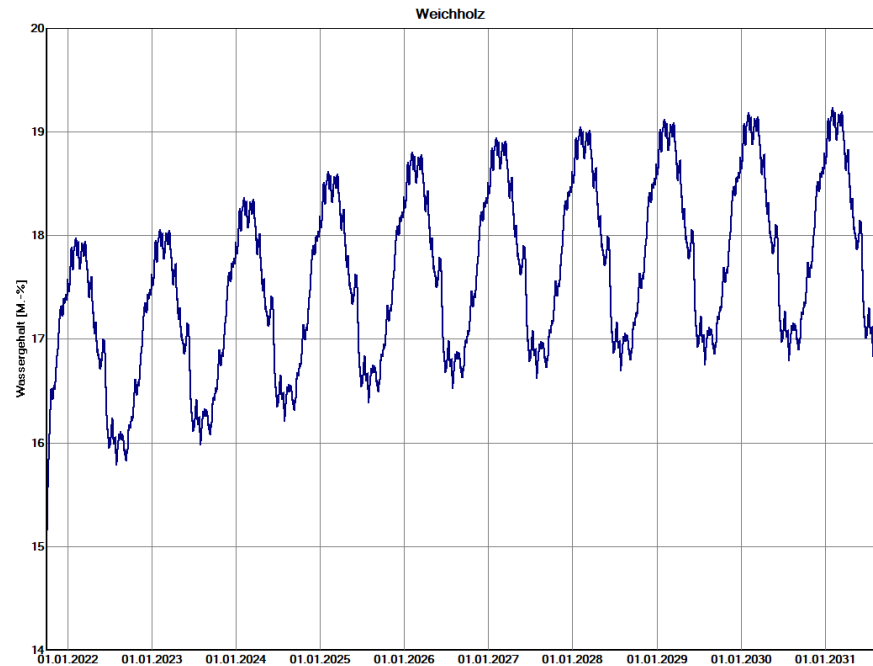
Bewertung:

Der Gesamtwassergehalt bei Kiesdächern ist aufgrund der großen Feuchtemengen im Kies ggf. wenig aussagekräftig

→ Auswertung der einzelnen Schichten der Unterkonstruktion

Beispiel B: Auswertung Holzschalung

Auswertung anhand der Schnellgrafiken:
Wassergehalt der Schalung



Bewertung:

Der Wassergehalt in der Schalung steigt über den Berechnungszeitraum langsam an und erreicht nach 10 Jahren noch keinen eingeschwungenen Zustand.

→ längerer Berechnungszeitraum notwendig

Beispiel B: Berechnungszeit

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

WUFI Pro 6.5 C:\Users\bes\Desktop\Kiesdach.w6p

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Kiesdach ohne Überdämmung
- Variante: 2 Kiesdach mit Überdämmung
- Bauteil
- Steuerung
- Zeit/Profile
- Numerik
- Klima
- Schnellgrafik

Variante: Kiesdach mit Überdämmung

Rechendauer / Profile Numerik

Rechnung	Profil	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2021	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2041	00:00:00

Neu

Entfernen

Kopieren

Einfügen

16.03.2021 00:00:00

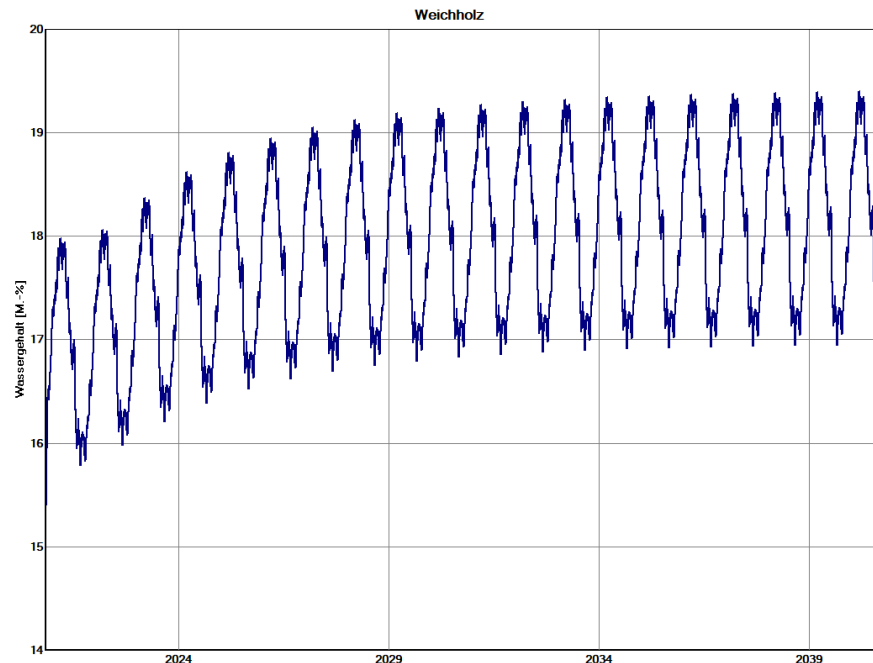
Rechenzeitschritt [h] 1

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 16.03.2021

Rechenzeitraum anpassen

Beispiel B: Auswertung Holzschalung

Auswertung anhand der Schnellgrafiken: Wassergehalt der Schalung



Bewertung:

Der Wassergehalt in der Schalung erreicht nach 14 Jahren den eingeschwungenen Zustand mit Maximalwerten von knapp 19,5 M.-%.

→ bauphysikalisch
unkritisch

→ Auswertung nach WTA
nicht notwendig