

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von Optigrün-Begrünungen

Stand: Dezember 2025

Inhalt

Entwicklung des Gründachberechnungsmodells.....	Folie 3
Anwendung des produktspezifischen Ansatzes.....	Folie 5
- Eingabe: Bauteilaufbau und Gittereinstellung.....	Folie 7
- Eingabe: Feuchtequelle im Substrat und Infiltrationsquelle.....	Folie 9
- Eingabe: Anfangsbedingungen.....	Folie 13
- Eingabe: Randbedingungen (Außen).....	Folie 14
- Eingabe: Randbedingungen (Innen).....	Folie 17
- Eingabe: Steuerung.....	Folie 18
Optigrün-Systeme	
- Leichtdach Lösung 1.....	Folie 20
- Spardach Lösung 1.....	Folie 22
- Spardach Lösung 2.....	Folie 24
- Schrägdach 5-45°.....	Folie 26
- Naturdach Lösung 1.....	Folie 28
Hinweise zur Auswertung.....	Folie 30
Wichtige Hinweise / Regeln für die Baupraxis.....	Folie 34
Literatur.....	Folie 35
Beispiel: Extensiv begrünte Leichtbaukonstruktion.....	Folie 36

Entwicklung der Gründachmodelle

Im Rahmen des Forschungsprojekts

„Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparametern von Dachbegrünungen zur zuverlässigen Simulation der hygrothermischen Verhältnisse in und unter Gründächern bei beliebigen Nutzungen und unterschiedlichen Standorten“ [1]

(gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung; Aktenzeichen: SF-10.08.18.7-11.18 / II 3-F20-10-1-100)

Wurde ein Modell entwickelt, um generische und produktsspezifische Dachbegrünungen – insbesondere auf Holzkonstruktionen – mit Hilfe von hygrothermischen Simulationen zuverlässig berechnen und planen zu können.

Entwicklung der Gründachmodelle

Generischer Ansatz:

Das generische Gründachmodell wurde auf Basis von Freilanduntersuchungen in Holzkirchen, Leipzig [2], Wien [3] und Kassel [4] erstellt. Die Klimadaten, die für die Versuchszeiträume zur Verfügung standen, enthalten keine atmosphärischen Gegenstrahlungsdaten, so dass deren Einfluss vereinfacht über die anderen Klimaelemente und entsprechend angepasste Oberflächenübergangskoeffizienten berücksichtigt werden muss. Dieses Modell ist somit vor allem für Standorte in Mitteleuropa bzw. mit vergleichbarem Klima geeignet und kann Anwendung finden, wenn keine gemessenen Gegenstrahlungsdaten oder keine genauen Kenntnisse zum verwendeten Substrat vorliegen.

Produktspezifischer Ansatz:

Aufbauend auf dem generischen Modell wurden produktspezifische Ansätze für fünf Begrünungssysteme der Firma Optigrün, teilweise mit Festkörperdränage mit Hilfe zusätzlicher Labor- und Freilandversuchen am Standort Holzkirchen entwickelt. Hierbei wurde der Einfluss der gemessenen atmosphärischen Gegenstrahlung explizit berücksichtigt, so dass die Ansätze prinzipiell auch für die Anwendung in anderen Klimaregionen geeignet sind. Eine Validierung fand bisher an den Standorten Holzkirchen und Mailand [5] statt.

Anwendung des produktspezifischen Ansatzes

Da bei den **produktspezifischen Ansätzen** auch die **langwellige Gegenstrahlung** und damit alle Klimaelemente **explizit berücksichtigt** sind, sollte es prinzipiell auch für die Anwendung in anderen Klimaregionen geeignet sein.

Voraussetzung hierfür ist das Vorliegen von Gegenstrahlungsdaten. Eine Validierung des Modells war allerdings bisher mit Holzkirchen und Mailand nur in Europa möglich.

In Zusammenarbeit mit der Firma Optigrün wurden im Rahmen des Forschungsprojekts für fünf Optigrün-Systeme alle für eine hygrothermische Simulation mit WUFI® notwendigen Eingabedaten erarbeitet.

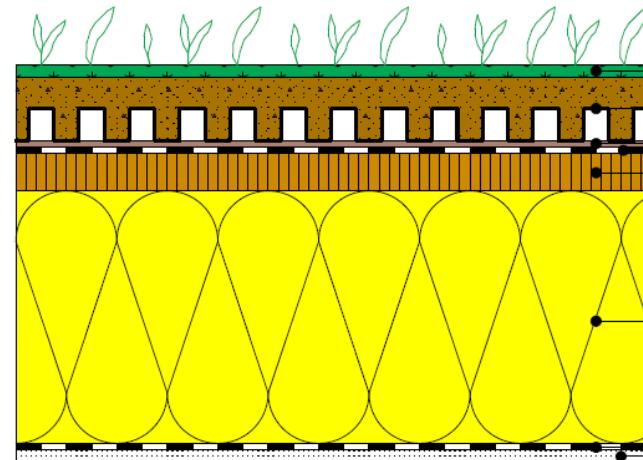
Anwendung des produktspezifischen Ansatzes

Im Folgenden werden zuerst die Eingabedaten dargestellt, die für alle produktspezifischen Ansätze identisch sind.

Anschließend wird jedes der Systeme einzeln kurz beschrieben und die Vorgehensweise bei der Berechnung und Auswertung mit WUFI® erläutert.

Optigrün-Systeme entsprechend den Bezeichnungen des Herstellers:

- Leichtdach Lösung 1: [Folie 20](#)
- Spardach Lösung 1: [Folie 22](#)
- Spardach Lösung 2: [Folie 24](#)
- Schrägdach 5-45°: [Folie 26](#)
- Naturdach Lösung 1: [Folie 28](#)



Eingabe: Bauteilaufbau und Gittereinstellung

Bauteil – Aufbau

Optigrün-Systeme

Die Optigrün-Systeme sind in der WUFI®-Materialdatenbank verfügbar unter *Fraunhofer Institut für Bauphysik* → *Grün- und Kiesdächer*.

Die Systeme werden mit dem vom Hersteller vorgegebenen Schichtaufbau sowie den jeweiligen Schichtdicken in den Bauteilaufbau übernommen. Die spezifischen Gründachmodelle werden zudem in der Beschreibung der jeweiligen Optigrün-Systeme erläutert.

Anschließend müssen noch die Feuchtequellen und die Randbedingungen entsprechend diesem Leitfaden eingestellt werden.

Eingabe: Bauteilaufbau und Gittereinstellung

Bauteil – Aufbau

Darunter liegender Dachaufbau

Die darunter liegenden Schichten sind entsprechend dem Aufbau in der Gefach-Achse einzugeben.

Gitteraufbau

Empfohlene Gittereinstellung:

Automatisch (II) mit 200 Elementen (entspricht Voreinstellung)

Eingabe: Feuchtequelle im Substrat

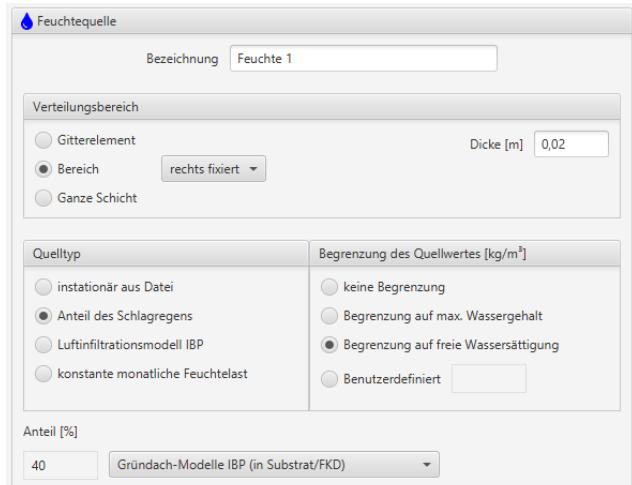
Bauteil – Aufbau

Feuchtequelle in der Substratschicht

Um den durch die Substratschicht durchfließenden Niederschlag in der Berechnung zu berücksichtigen, ist eine Feuchtequelle in den unteren 2 cm der Substratschicht anzusetzen. Diese soll bei einem Regenereignis 40 % des Niederschlags, begrenzt auf die freie Wassersättigung, in die Substratschicht einbringen.

Einstellungen:

- Verteilungsbereich:
Bereich – rechts fixiert; Dicke: 0,02 m
- Quelltyp: Anteil des Schlagregens
- Begrenzung des Quellwerts:
Begrenzung auf freie Wassersättigung
- Anteil: 40 % (Gründach-Modelle IBP)



Eingabe: Feuchtequelle in der Dränageschicht

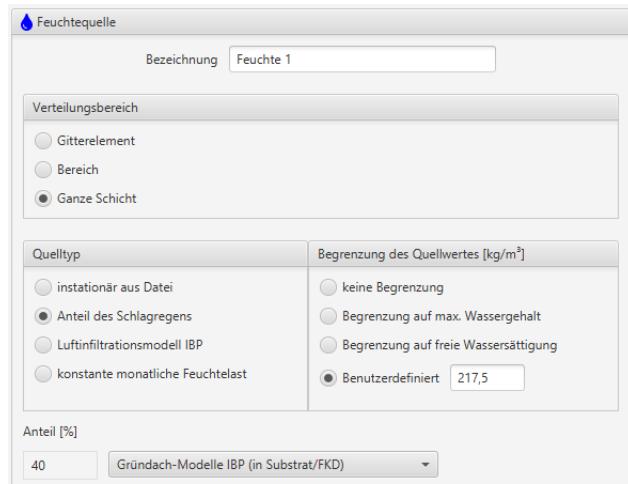
Bauteil – Aufbau

Feuchtequelle in der Dränageschicht (nur beim System „Naturdach“)

Zusätzlich wird bei Vorhandensein eines Dränelements eine Feuchtequelle in der gesamten Drän- und Speicherschicht mit ebenfalls 40 % des Niederschlags angeordnet. Diese Feuchtequelle wird begrenzt auf das vom Hersteller angegebene maximale Füllvolumen. Dadurch wird die Dränfunktion in der Berechnung abgebildet, da überschüssiges Wasser nicht berücksichtigt wird.

Einstellungen:

- Verteilungsbereich: ganze Schicht
- Quelltyp: Anteil des Schlagregens
- Begrenzung des Quellwerts auf das max. Füllvolumen der Festkörperdränage $(8,7 \text{ kg/m}^2) / (0,04 \text{ m}) = 217,5 \text{ kg/m}^3$
- Anteil: 40 % (Gründach-Modelle IBP)



Bauteil – Aufbau

Feuchtequelle - Infiltration (nur bei Holzbaukonstruktionen)

Die in Abhängigkeit von der Luftdichtheit konvektiv in die Konstruktion eindringende Feuchtemenge ist nach DIN 68800 [6] bei Holzbaukonstruktionen immer mitzubeurteilen und wird in der Simulation über das Infiltrationsmodel des IBP berücksichtigt.

Die Feuchtequelle ist im Bauteilaufbau an der Position anzusetzen, an der in der Praxis das Tauwasser ausfallen wird - i.d.R. ist 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 Dämmung

Eingabe: Infiltrationsquelle

Bauteil – Aufbau

Feuchtequelle - Infiltration (nur bei Holzbaukonstruktionen)

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 [7].

Weitere Informationen zur Verwendung der Infiltrationsquelle in WUFI® finden sie hier: [Leitfaden zur Verwendung der Infiltrationsquelle](#)

Eingabe: Anfangsbedingungen

Bauteil – Anfangsbedingungen

Anfangstemperatur und -feuchte:

Als Voreinstellung sollte eine konstante Anfangstemperatur von 20 °C und eine relative Anfangsfeuchte von 80 % angesetzt werden.

Sind erhöhte Einbaufeuchten bekannt, können diese für jede einzelne Schicht separat angegeben werden.

Randbedingungen (Außen) – Klima

Außenklima:

Es sollte ein für den Gebäudestandort geeignetes Klima verwendet werden. Allerdings sind für die Anwendung des spezifischen Gründachmodells Standorte notwendig, die langwellige Strahlung und Regendaten enthalten.

Hier bieten sich die hygrothermischen Referenzjahre (HRY) an, welche im Rahmen eines Forschungsprojekts [9] für 11 Standorte in Deutschland erstellt wurden. Diese Standorte sind für die jeweilige Klimaregion typisch. Nähere Informationen hierzu in der *WUFI®-Hilfe (F1) → Thema: Hygrothermische Referenzjahre*

Der Standort Holzkirchen mit um 20 % reduzierter Strahlung gilt als kritisch repräsentativ für deutsche Standorte bis in Höhenlagen von 700 m. Dies kann durch die Reduktion der Absorptionszahl von a auf $a*0,8$ in der Simulation berücksichtigt werden. Dieses Klima wurde auch für die Freistellung nachweisfreier Konstruktionen der DIN 4108-3 [8] verwendet.

Eingabe: Orientierung / Neigung

Randbedingungen (Außen) – Orientierung

Orientierung

Die maßgebliche Orientierung ist i.d.R. Nord, da hier die geringsten Strahlungsgewinne auftreten. Bei sehr flach geneigten Dächern ist die Orientierung allerdings nur von geringer Bedeutung.

Dachneigung

Die Neigung des Daches ist entsprechend der geplanten Dachneigung anzugeben.

Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizienten

Randbedingungen (Außen) – Oberfläche

Wärmeübergang

Der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenoberfläche beträgt entsprechend dem spezifischen Gründachmodell [1] 19 W/m²K.

Strahlung

Auswahl (Drop-Down-Menü): Dach → Gründach, Optigrün-Modell
Haken bei „Strahlungsbedingter Unterkühlung“ setzen!

Entsprechend dem spezifischen Gründachmodell nach [1] beträgt die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl 0,6. Die langwellige Strahlungsemission beträgt 0,9. Die strahlungsbedingte Unterkühlung ist bei Dächern aufgrund des großen Blickfeldes zum Himmel grundsätzlich einzuschalten, um die Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung zu berücksichtigen.

Regen

Bei der Simulation von Gründächern muss der Regen berücksichtigt werden.

Randbedingungen (Innen) – Klima / Oberfläche

Innenklima:

Standardmäßig empfehlen wir für die Bemessung das Innenklima mit normaler Feuchtelast + 5% (nach DIN 4108-3 [8] und EN 15026 [11]).

Alternativ können je nach Nutzung des Gebäudes auch das Innenklima mit niedriger Feuchtelast (nach EN 15026 [11]) oder mit normaler bzw. hoher Feuchtelast (nach DIN 4108-3 [8] und EN 15026 [11]) angesetzt werden. Auch können z.B. konstante oder gemessene Bedingungen angesetzt werden.

Wärmeübergang

Der Wärmeübergangskoeffizient an der Innenoberfläche wird entsprechend der DIN 4108-3 [8] mit 8 W/m²K angesetzt.

Steuerung

Berechnungszeitraum:

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. Bei Gründächern ist meist eine Rechenzeit von ca. 10-15 Jahren notwendig.

Eingabe: Steuerung

Steuerung

Adaptive Zeitschrittsteuerung:

Aufgrund der schwierigen Feuchtebilanz in der Begrünungsschicht sollte die Berechnung von Gründächern mit „Adaptiver Zeitschrittsteuerung“ durchgeführt werden.

Empfohlene Einstellung (entspricht Voreinstellung):

Schritte: 3

Max. Stufen: 5

Numerische Einstellungen:

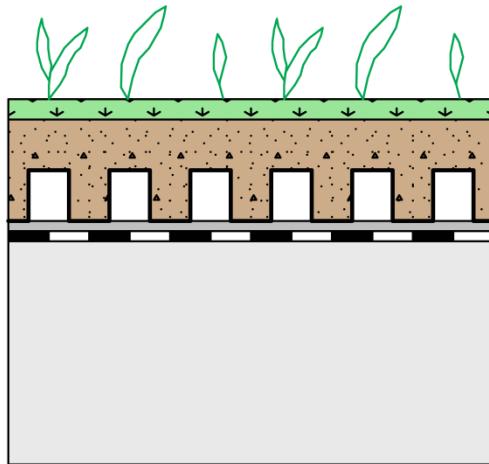
Es wird empfohlen, bei der Simulation von Gründächern 2 Rechenkerne zu verwenden.

→ Berechnungsart

→ max. Anzahl zu verwendender Threads: 2



Optigrün-System Leichtdach Lösung 1



Sedum-Bepflanzung
Substrat Typ L inkl.
Festkörperdränage FKD 25
Schutz- und Speichervlies

Beschreibung laut Hersteller:

- zweischichtige, extensive Dachbegrünung (von 0-5° Dachneigung)
- besonders geringe Schichtdicke (ca. 6 cm)
- besonders geringes Flächengewicht (ca. 55 kg/m²)
- trockenheitsverträgliche Sedumpflanzen (ca. 6-8 Sorten)
- geringster Pflegeaufwand (1-mal jährlich)

Optigrün-System Leichtdach Lösung 1

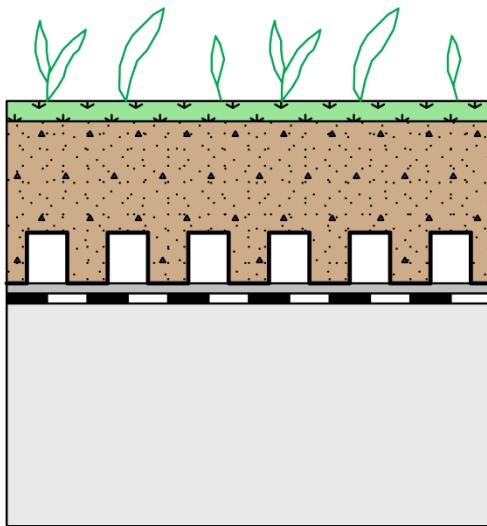
Aufbau in WUFI®:

Materialdatensatz (System): „Optigrün Leichtdach Lösung 1“

Bestehend aus folgenden Schichten:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
- 5,5 cm Substrat Typ L inkl. FKD
- 0,1 cm Schutzvlies

Optigrün-System Spardach Lösung 1



Sedum-Bepflanzung
Substrat Typ M inkl.
Festkörperdränage FKD 25
Schutz- und Speichervlies

Beschreibung laut Hersteller:

- zweischichtige, extensive Dachbegrünung (von 0-5° Dachneigung)
- geringe Schichtdicke (ca. 8,5 cm)
- geringes Flächengewicht (ca. 95 kg/m²)
- trockenheitsverträgliche Sedumpflanzen (ca. 6-8 Sorten)
- geringer Pflegeaufwand (1-2-mal jährlich)

Optigrün-System Spardach Lösung 1

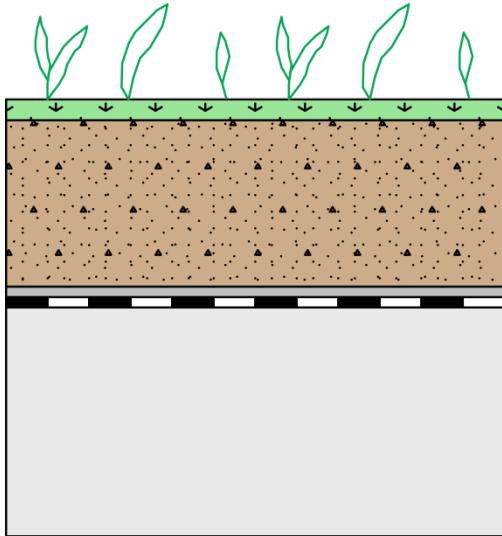
Aufbau in WUFI®:

Materialdatensatz (System): „Optigrün Spardach Lösung 1“

Bestehend aus folgenden Schichten:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
- 8,5 cm Substrat Typ M inkl. FKD
- 0,1 cm Schutzvlies

Optigrün-System Spardach Lösung 2



Sedum-Bepflanzung

Substrat Typ M

Schutz- und Speichervlies

Beschreibung laut Hersteller:

- einschichtige, extensive Dachbegrünung (von 1-5° Dachneigung)
- geringe Schichtdicke (ca. 8 cm)
- geringes Flächengewicht (ca. 100 kg/m²)
- trockenheitsverträgliche Sedumpflanzen (ca. 6-8 Sorten)
- geringer Pflegeaufwand (1-2-mal jährlich)

Optigrün-System Spardach Lösung 2

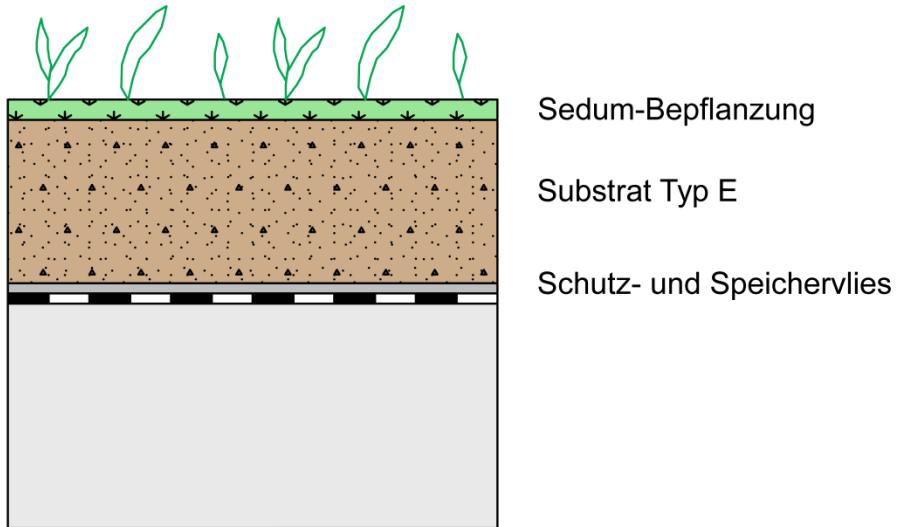
Aufbau in WUFI®:

Materialdatensatz (System): „Optigrün Spardach Lösung 2“

Bestehend aus folgenden Schichten:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
- 8 cm Substrat Typ M
- 0,1 cm Schutzvlies

Optigrün-System Schrägdach 5-45°



Beschreibung laut Hersteller:

- zweischichtige, extensive Dachbegrünung (von 5-45° Dachneigung)
- geringe Schichtdicke (ca. 9 cm)
- geringes Flächengewicht (ca. 110 kg/m²)
- trockenheitsverträgliche Sedumpflanzen (ca. 6-8 Sorten)
- geringster Pflegeaufwand (1-mal jährlich)

Optigrün-System Schrägdach 5-45°

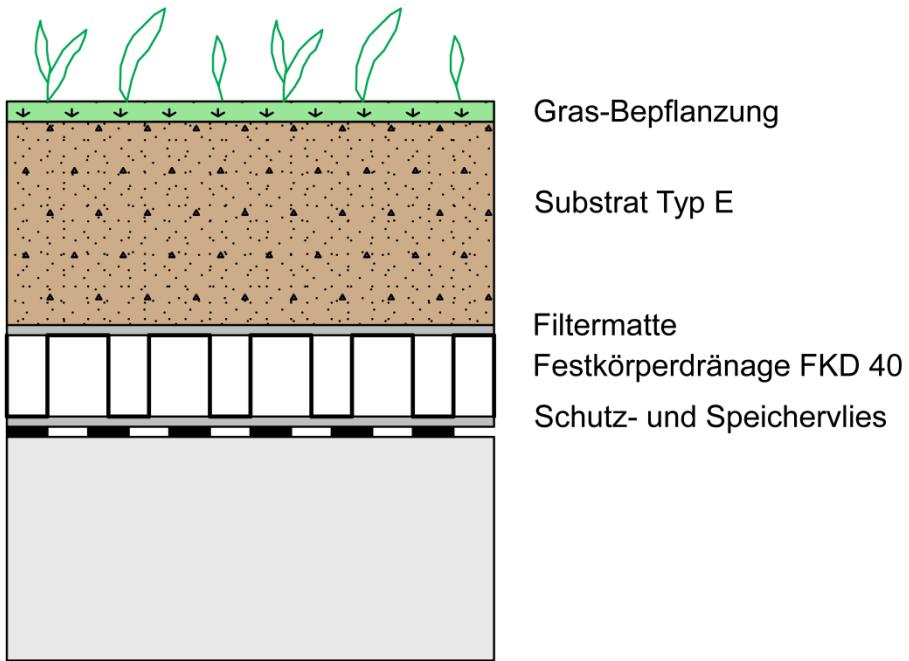
Aufbau in WUFI®:

Materialdatensatz (System): „Optigrün Schrägdach 5° - 45°“

Bestehend aus folgenden Schichten:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
- 8 cm Substrat Typ E
- 0,1 cm Schutzvlies

Optigrün-System Naturdach Lösung 1



Beschreibung laut Hersteller:

- dreischichtige, extensive Dachbegrünung (von 0-5° Dachneigung)
- mittlere Schichtdicke (ca. 10 cm)
- mittleres Flächengewicht (ca. 120 kg/m²)
- trockenheitsverträgliche Sedumpflanzen, Gräser, Kräuter (ca. 25 Sorten)
- mittlerer Pflegeaufwand (2-3-mal jährlich)

Optigrün-System Naturdach Lösung 1

Aufbau in WUFI®:

Materialdatensatz (System): „Optigrün Naturdach Lösung 1“

Bestehend aus folgenden Schichten:

- 1 cm Gras-Bepflanzung
- 10 cm Substrat Typ E
- 0,1 cm Filtermatte
- 4 cm Festkörperdränage
- 0,1 cm Schutzvlies

Hinweise zur Auswertung von Gründächern

Rechenqualität

- Bei Gründächern sind lange Rechenzeiten nicht ungewöhnlich.
- Die Bilanzunterschiede sollten so gering wie möglich bleiben.
- Die Anzahl der Konvergenzfehler spielt keine maßgebliche Rolle, eine hohe Anzahl weist aber auf eine schwierige Konvergenz hin. Wichtig ist, dass die Bilanzen dabei nicht zu stark abweichen. Bei Gründächern kann es allerdings aufgrund der großen Feuchtemengen im Gründachaufbau (Schlagregenquelle) zu einer höheren Anzahl an Konvergenzfehlern kommen. Meist treten diese im Bereich der Begrünungsschichten auf und wirken sich oft nicht oder nur marginal auf die Unterkonstruktion aus.
- Zeigen die Wassergehaltsverläufe in den Schichten der Unterkonstruktion keine Auffälligkeiten (z.B. abrupte Sprünge, Peaks...), ist das Ergebnis i.d.R. akzeptabel.

Rechenverlauf			
Datum/Zeit der Rechnung			18.09.2025, 09:46
Beginn / Ende der Rechnung			01.10.2025 / 01.10.2033
Rechenzeit			0:38:44.088
Akt. Datum/Zeit			01.10.2033, 00:00

Numerische Qualitätsprüfung			
Anzahl der Konvergenzfehler			1996
Integral der Diffusionsströme (links/rechts)	[kg/m ²]	-721,523	0,314
Integral der Kapillarströme (links/rechts)	[kg/m ²]	-1354,234	0,000
Bilanz (Masse vs. Integral der Ströme)	[kg/m ²]	24,069	15,117

Hinweise zur Auswertung von Gründächern

Begrünte Leichtbaukonstruktionen

Das Vorgehen bei der Auswertung sowie die Auswertekriterien sind identisch wie bei normalen Flachdächern und können dem [Leitfaden zur Berechnung von Flachdächern](#) entnommen werden.

Die Bewertung der Feuchteverhältnisse in einer eventuell vorhandenen Überdämmung der äußeren Schalung wird auf den folgenden Folien erläutert.

Zusätzliche Auswertung bei einer Überdämmung

In der Überdämmung der außenseitigen Schalung ist häufig eine langsame Akkumulation von Feuchte zu beobachten, weshalb in diesem Bereich vorzugsweise feuchteunempfindliche Materialien einzusetzen sind.

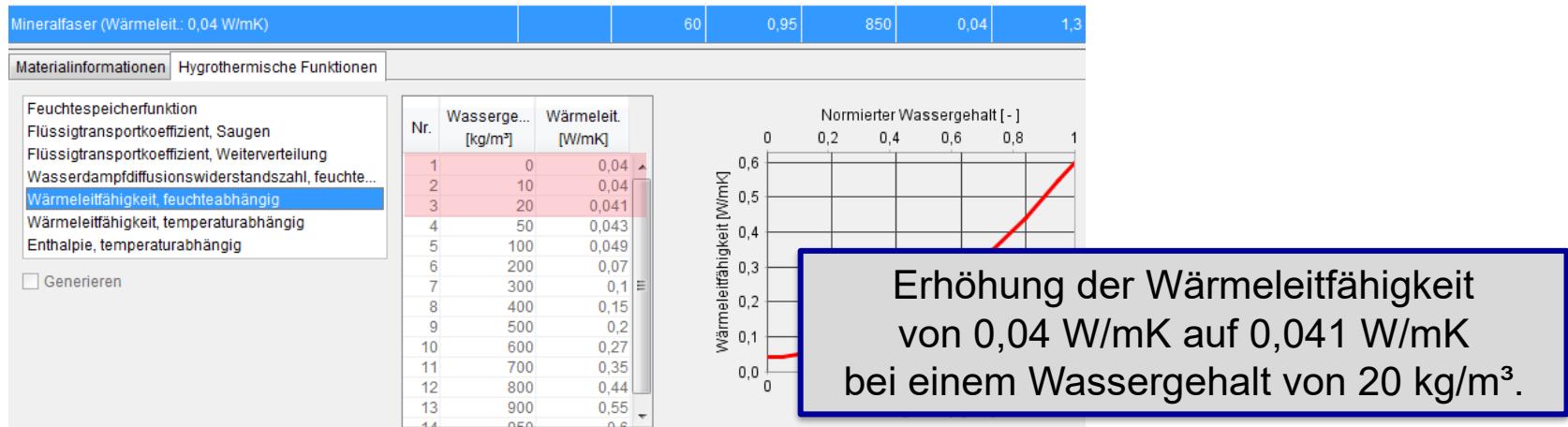
- Feuchte führt zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit – dieser Anstieg bleibt aber meist so gering (siehe nächste Folie), dass er auch für typische Standzeiten von 25 Jahren vernachlässigbar erscheint.
- In Hartschaumdämmungen verbleibt die Feuchte in der Porenstruktur des Materials – d.h. i.d.R. ohne weitere Folgen für Material oder Konstruktion.
- In Faserdämmungen kann flüssiges Tauwasser eventuell in andere Bauteilschichten eindringen und diese schädigen – dieser Effekt ist gesondert zu berücksichtigen!

Hinweise zur Auswertung von Gründächern

Zusätzliche Auswertung bei einer Überdämmung

Im Beispiel ist der Wassergehalt einer Mineralwolleddämmung dargestellt, der über die Standzeit des Daches auf etwa 20 kg/m^3 steigt (umgerechnet auf eine Dicke von 6 cm entspricht dies etwa $1,2 \text{ kg/m}^2$).

Die Auswirkung auf die Wärmeleitfähigkeit lässt sich dem Materialdatensatz entnehmen. In diesem Fall erhöht sie sich um etwa 2,5 % von 0,04 auf 0,041 W/mK. Ist die Überdämmung für den U-Wert des Bauteils relevant, könnte der Effekt durch eine etwa 1,5 mm dickere Dämmung kompensiert werden.



Wichtige Hinweise / Regeln für die Baupraxis

- **Überdämmung** der äußeren Beplankung ist bei Dämmstärken über etwa 15 - 20 cm **sinnvoll** und empfehlenswert.
- **Feuchtevariable Dampfbremsen** in Kombination mit diffusionsoffener innenseitiger Beplankung verbessern Trocknung und Feuchtebilanz und sollten daher **bevorzugt** eingesetzt werden.
- **Vorsicht bei Verschattungen** und Standorten mit wenig Strahlung, da das geringe Trocknungspotential noch weiter reduziert ist.
- **Einbau** der Materialien **möglichst trocken** – Austrocknung nach Einbau nur sehr langsam möglich.
- **Gute Luftdichtheit** anstreben und prüfen.
- **Keine Trocknung** durch die Begrünungsschicht **nach oben möglich** – Feuchteintrag von oben aber schon. Daher verhalten sich **diffusionshemmende Dachbahnen** günstiger (s_d -Werte ≥ 300 m empfohlen)!
- Aufsparrendämmungen immer unkritisch!!

Literatur

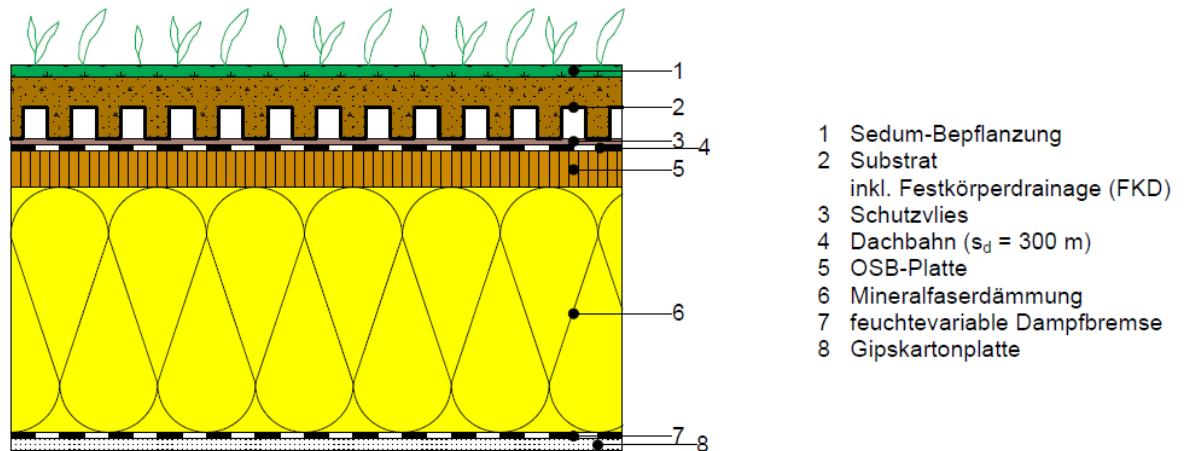
- [1] Schafaczek B., Zirkelbach D.: Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparametern von Dachbegrünungen zur zuverlässigen Simulation der hygrothermischen Verhältnisse in und unter Gründächern bei beliebigen Nutzungen und unterschiedlichen Standorten. Forschungsinitiative Zukunft Bau, Band F 2863, Fraunhofer IRB Verlag 2013.
- [2] Winter, S.; Fülle, C.; Werther, N.: Forschungsprojekt MFPA Leipzig und TU München (Z 6 – 10.08.18.7-07.18). „Flachdächer in Holzbauweise“. 2007-2010.
- [3] Teibinger, M.; Nusser, B.: Ergebnisse experimenteller Untersuchungen an flachgeneigten Hölzernen Dachkonstruktionen. Herausgegeben von Holzforschung Austria, Wien. (Forschungsbericht, HFA-Nr.: P412), 2010.
- [4] Minke, G.; Otto, F.; Gross, R.: Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern. Abschlussbericht, AZ 24242-25. ZUB Kassel. Juli 2009.
- [5] Fiori, M.; Paolini, R.: Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito. The green roof monitoring is funded by the Italian Ministry of Research, project PRIN SENSE „Smart Building Envelope for Sustainable Urban Environment“.
- [6] DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth Verlag, Februar 2022.
- [7] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B. und Borsch-Laaks, R.: Dampfkonvektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen. Proceedings 30. AIVC Conference, Berlin 2009.
- [8] DIN 4108-3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag, März 2024.
- [9] 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.
- [10] WTA-Merkblatt 6-2: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Dezember 2014.
- [11] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth Verlag, Dezember 2023.

Beispiel: Extensiv begrünte Leichtbaukonstruktion

Anhand von einem Beispielfall mit dem Optigrün Leichtsubstrat wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Beurteilung von begrünten Leichtbaukonstruktionen beschrieben.

Es werden die anzusetzenden Materialdaten, die Feuchtequellen und Randbedingungen sowie das Vorgehen bei der Bewertung der Konstruktionen erläutert.

Beispiel:
Extensiv begrünte
Leichtbaukonstruktion
mit „Optigrün Leichtdach
Lösung 1“



Beispiel: Konstruktionsaufbau

Aufbau (von außen nach innen):

- Optigrün Leichtdach 1 (Sedum-Bepflanzung) 0,01 m
- Optigrün Leichtdach 1 (Substrat Typ L inkl. FKD) 0,055 m
- Optigrün Leichtdach 1 (Schutzvlies) 0,001 m
- Dampfbremse ($s_d = 300\text{m}$) 0,001 m
- AiF OSB 3 0,022 m
- Mineralfaser (Wärmeleitfähigkeit 0,04 W/mK) 0,18 m
- feuchtevariable Dampfbremse (PA-Folie) 0,001 m
- Gipskartonplatte 0,0125 m

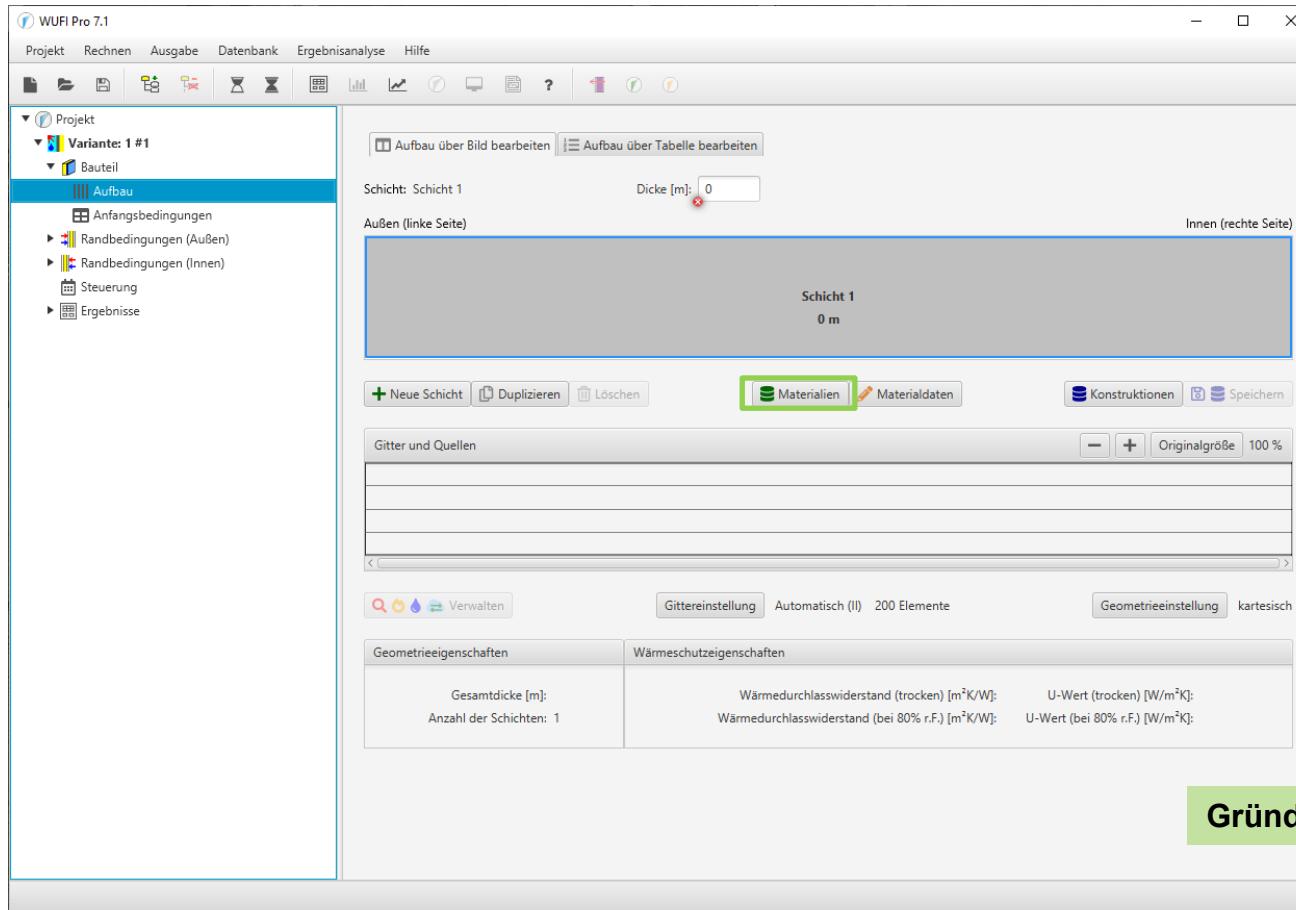
Beispiel: Randbedingungen

Randbedingungen:

- Flachdach (3° nach Norden geneigt)
- Strahlung entsprechend „Gründach, Optigrün-Modell“
kurzwellige Absorption: 0,6
langwellige Emission: 0,9
strahlungsbedingte Unterkühlung berücksichtigen!
- 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 des zusammenhängenden beheizten Luftraums: 5 m

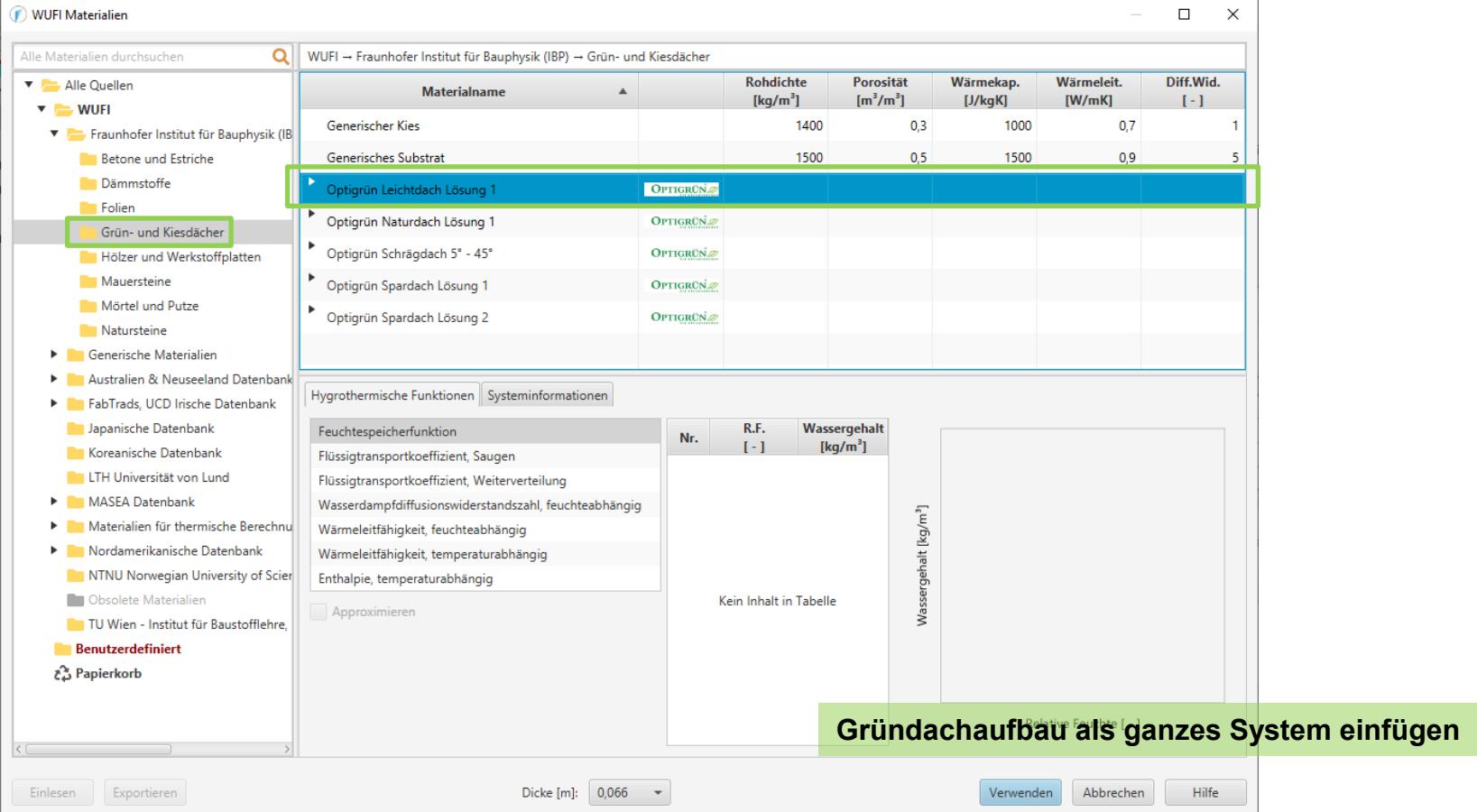
Beispiel: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau



Beispiel: Bauteilaufbau

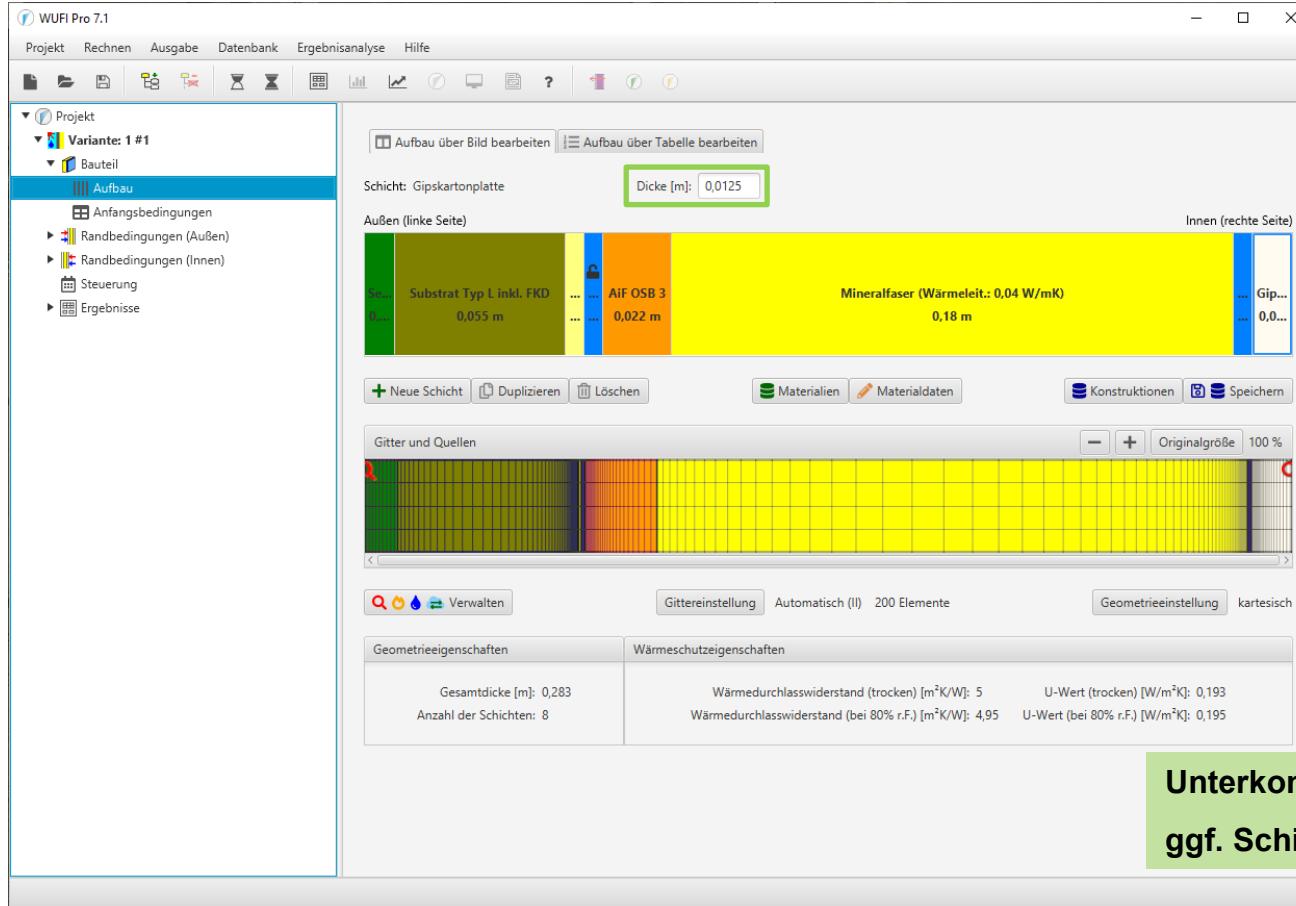
Eingabe: Bauteil - Aufbau



The screenshot shows the WUFI Materialien software interface. On the left is a sidebar with a tree view of material sources, including 'Alle Quellen', 'WUFI' (selected), 'Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)' (selected), and various subfolders like 'Beton und Estriche', 'Dämmstoffe', 'Folien', 'Grün- und Kiesdächer' (highlighted with a green box), 'Hölzer und Werkstoffplatten', 'Mauersteine', 'Mörtel und Putze', 'Natursteine', 'Generische Materialien', 'Australien & Neuseeland Datenbank', 'FabTrads, UCD Irische Datenbank', 'Japanische Datenbank', 'Koreanische Datenbank', 'LTH Universität von Lund', 'MASEA Datenbank', 'Materialien für thermische Berechnung', 'Nordamerikanische Datenbank', 'NTNU Norwegian University of Science and Technology', 'Obsolete Materialien', 'TU Wien - Institut für Baustofflehre', 'Benutzerdefiniert', and 'Papierkorb'. Below this is a search bar and buttons for 'Einlesen' and 'Exportieren'. The main area is titled 'WUFI → Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) → Grün- und Kiesdächer'. It contains a table with columns: Materialname, Rohdichte [kg/m³], Porosität [m³/m³], Wärmekap. [J/kgK], Wärmeleit. [W/mK], and Diff.Wid. [-]. The table lists 'Generischer Kies' (1400, 0,3, 1000, 0,7, 1), 'Generisches Substrat' (1500, 0,5, 1500, 0,9, 5), and several 'Optigrün' products: 'Leichtdach Lösung 1' (highlighted with a blue box), 'Naturdach Lösung 1', 'Schrägdach 5° - 45°', 'Spardach Lösung 1', and 'Spardach Lösung 2'. Below the table are tabs for 'Hygrothermische Funktionen' (selected) and 'Systeminformationen'. The 'Hygrothermische Funktionen' tab lists: Feuchtespeicherfunktion, Flüssigtransportkoeffizient, Saugen, Flüssigtransportkoeffizient, Weiterverteilung, Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig, Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig, Wärmeleitfähigkeit, temperaturabhängig, and Enthalpie, temperaturabhängig. It also has an 'Approximieren' checkbox. The 'Systeminformationen' tab shows a table with columns: Nr., R.F. [-], and Wassergehalt [kg/m³]. The table is empty and says 'Kein Inhalt in Tabelle'. To the right is a large text input field for 'Wassergehalt [kg/m³]' with a placeholder 'Relative Feuchte [-]'. A green button at the bottom right says 'Gründachaufbau als ganzes System einfügen'. At the bottom are buttons for 'Verwenden', 'Abbrechen', and 'Hilfe'. A 'Dicke [m]: 0,066' dropdown is also at the bottom.

Beispiel: Bauteilaufbau

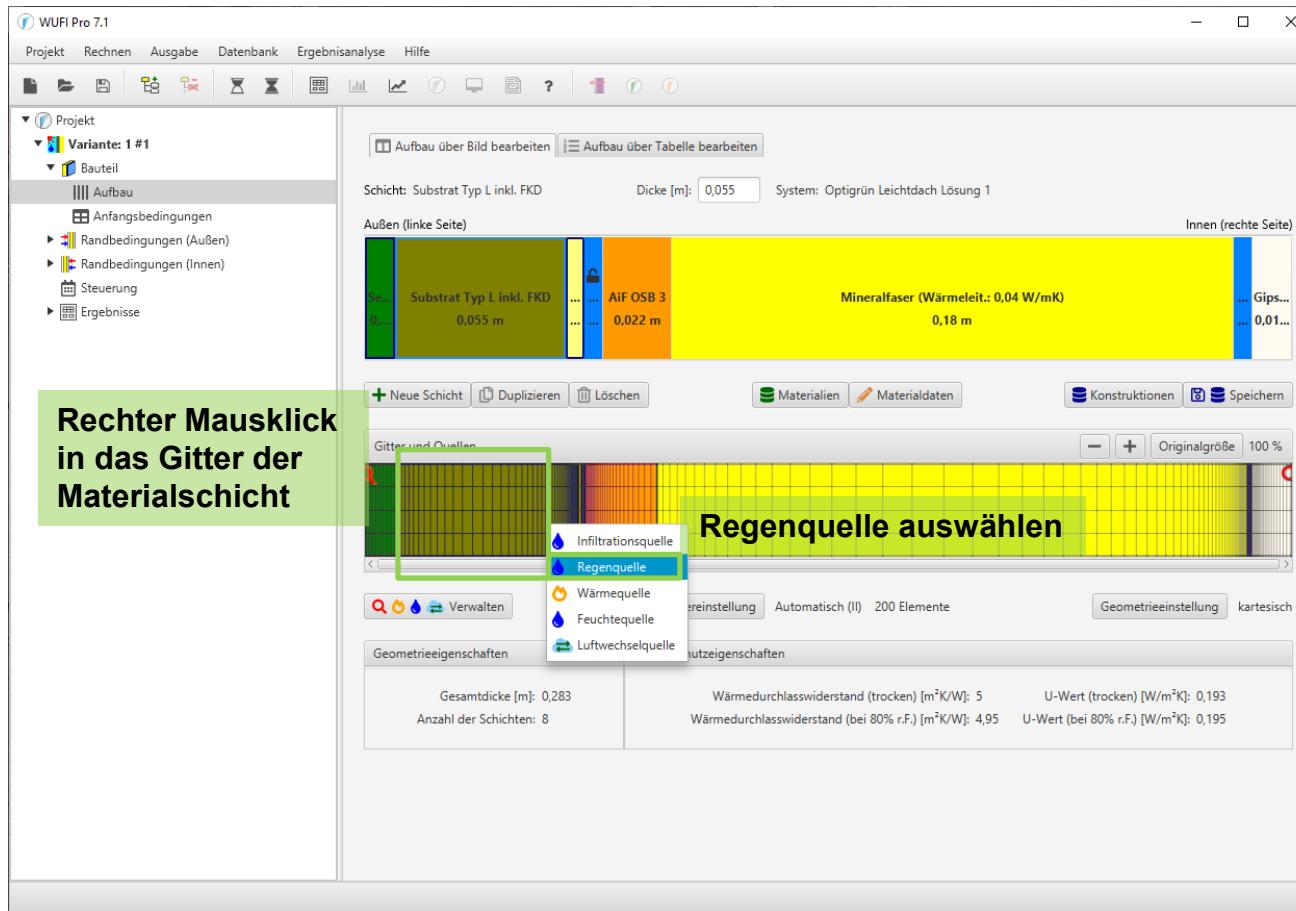
Eingabe: Bauteil - Aufbau



Beispiel: Feuchtequelle im Substrat

Eingabe: Bauteil - Aufbau

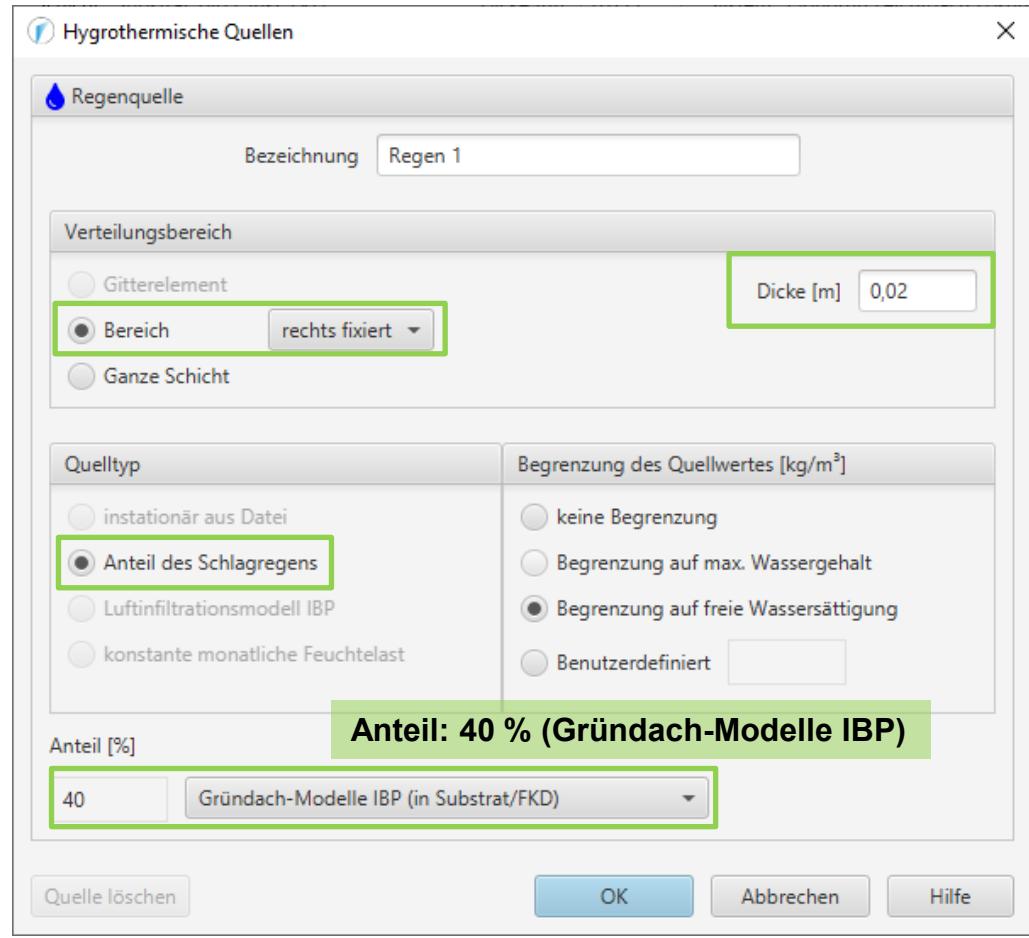
Feuchtequelle in die Schicht „Substrat Typ L inkl. FKD“ einfügen



Beispiel: Feuchtequelle im Substrat

Eingabe: Bauteil - Aufbau

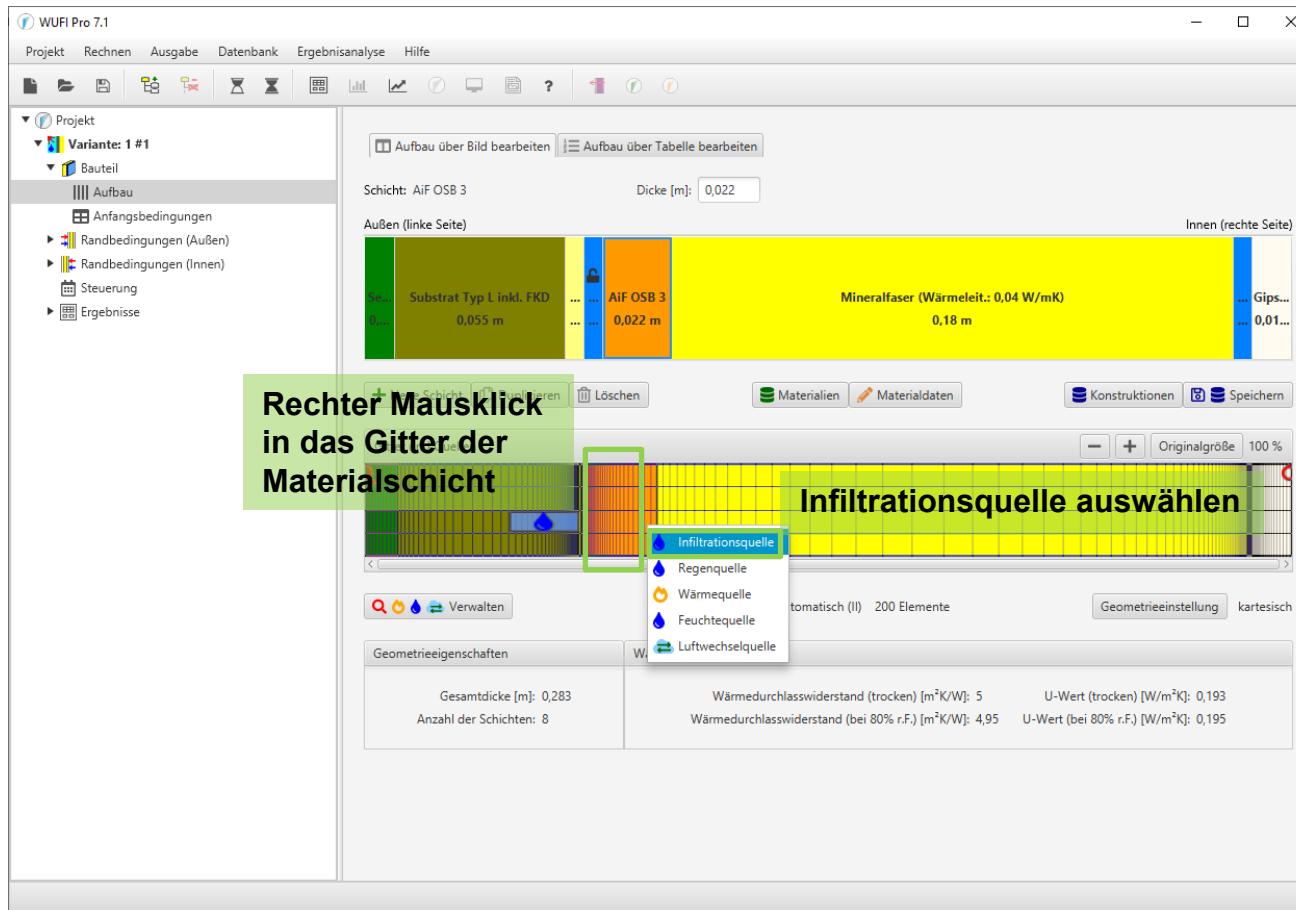
Regenquelle in die unteren 2 cm der Substratschicht



Beispiel: Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau

Infiltrationsquelle nach DIN 68800 in der OSB berücksichtigen



Beispiel: Infiltrationsquelle

Eingabe: Bauteil - Aufbau

Infiltrationsquelle in
den inneren 5 mm
der OSB

Infiltrationsquelle anpassen

The dialog box is titled 'Hygrothermische Quellen' and 'Infiltrationsquelle'. It contains the following settings:

- Bezeichnung:** Infiltration 1
- Verteilungsbereich:** 'Bereich' is selected, with 'rechts fixiert' dropdown set to 'rechts fixiert'. A green box highlights the 'Dicke [m]' input field, which is set to 0,005.
- Quelltyp:** 'Luftinfiltrationsmodell IBP' is selected. A green box highlights the 'Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]' section, which includes 'keine Begrenzung', 'Begrenzung auf max. Wassergehalt', 'Begrenzung auf freie Wassersättigung' (selected), and 'Benutzerdefiniert'.
- Durchströmung der Hülle q50 [m³/m²h]:** The value is set to 3. A green box highlights the 'Luftdichtigkeitsklasse B (DIN 4108 mit Prüfung <= 3 m³/m²h)' dropdown.
- Abbildung:** 'Höhe der Luftsäule [m]' is set to 5, and 'Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa]' is set to 0.
- Buttons:** 'Quelle löschen', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Beispiel: Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

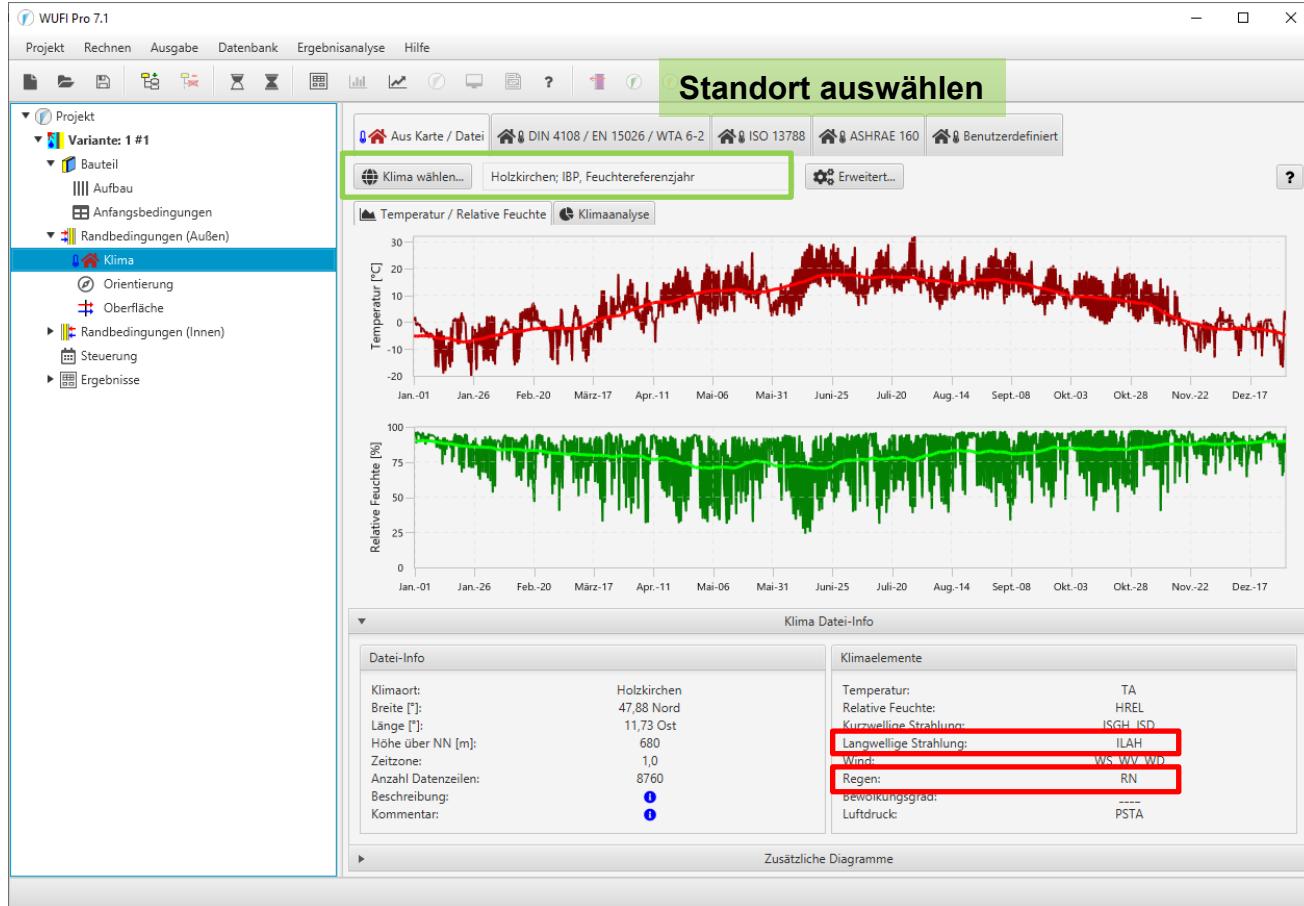
The screenshot shows the WUFI Pro 7.1 software interface. The left sidebar shows the project structure: Projekt, Variante: 1 #1, Bauteil, Aufbau, Anfangsbedingungen, Randbedingungen (Außen), Randbedingungen (Innen), Steuerung, and Ergebnisse. The main area is titled 'Anfangsbedingungen' and contains three panels: 'Anfangstemperatur' (Initial Temperature), 'Anfangsfeuchte' (Initial Humidity), and 'Anfangsbedingungen in einzelnen Schichten' (Initial Conditions in individual layers). The 'Anfangstemperatur' panel shows 'Über das Bauteil konstant' (constant over the entire component) with an initial temperature of 20°C. The 'Anfangsfeuchte' panel shows 'Gleiche relative Feuchte in allen Schichten (z.B. Leichtbaukonstruktionen und Bestandsgebäude)' (same relative humidity in all layers) with an initial relative humidity of 0.8. The 'Anfangsbedingungen in einzelnen Schichten' panel lists the following layers with their properties:

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Temperatur [°C]	Rel. Feuchte [-]	Wassergehalt [kg/m³]	Typische Baufeu... [kg/m³]
1	Sedum-Bepflanzung	0,01	20	0.8	12	1
2	Substrat Typ L inkl. FKD	0,055	20	0.8	4,2	4,2
3	Schutzhilfes	0,001	20	0.8	0,7	0,7
4	Dampfbremse ($sd=300m$)	0,001	20	0.8	0,001881	0,001881
5	AiF OSB 3	0,022	20	0.8	90	90
6	Mineralfaser (Wärmeleit: 0,04 W/mK)	0,18	20	0.8	1,787	1,787
7	PA-Folie	0,001	20	0.8	0,4412	0,4412
8	Gipskartonplatte	0,0125	20	0.8	6,3	6,3

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel: Außenklima

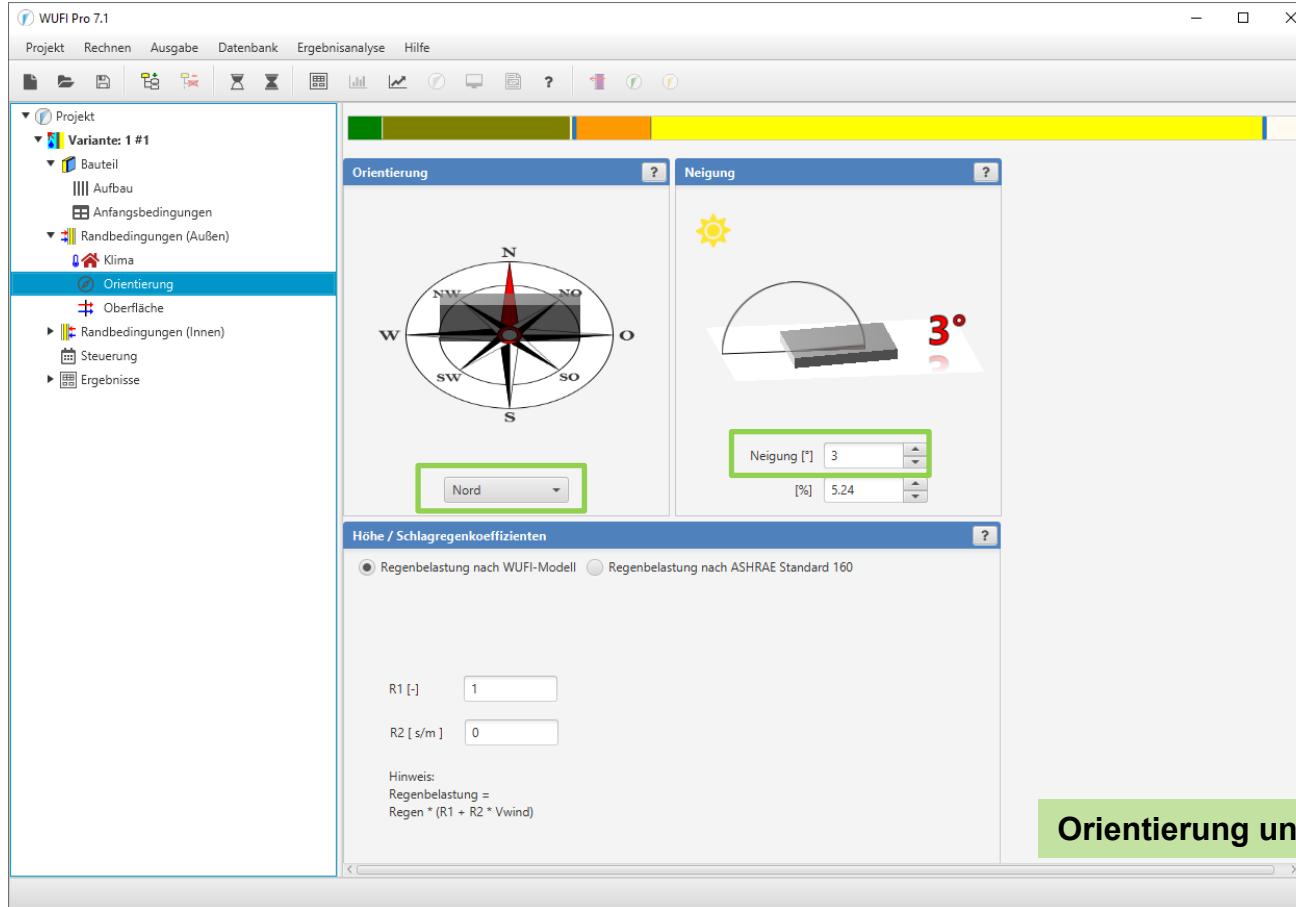
Eingabe: Randbedingung (Außen) – Klima



Hinweis:
Für die Anwendung des spezifischen Gründachmodells sind Klimadaten mit langwelliger Strahlung und Niederschlag erforderlich!

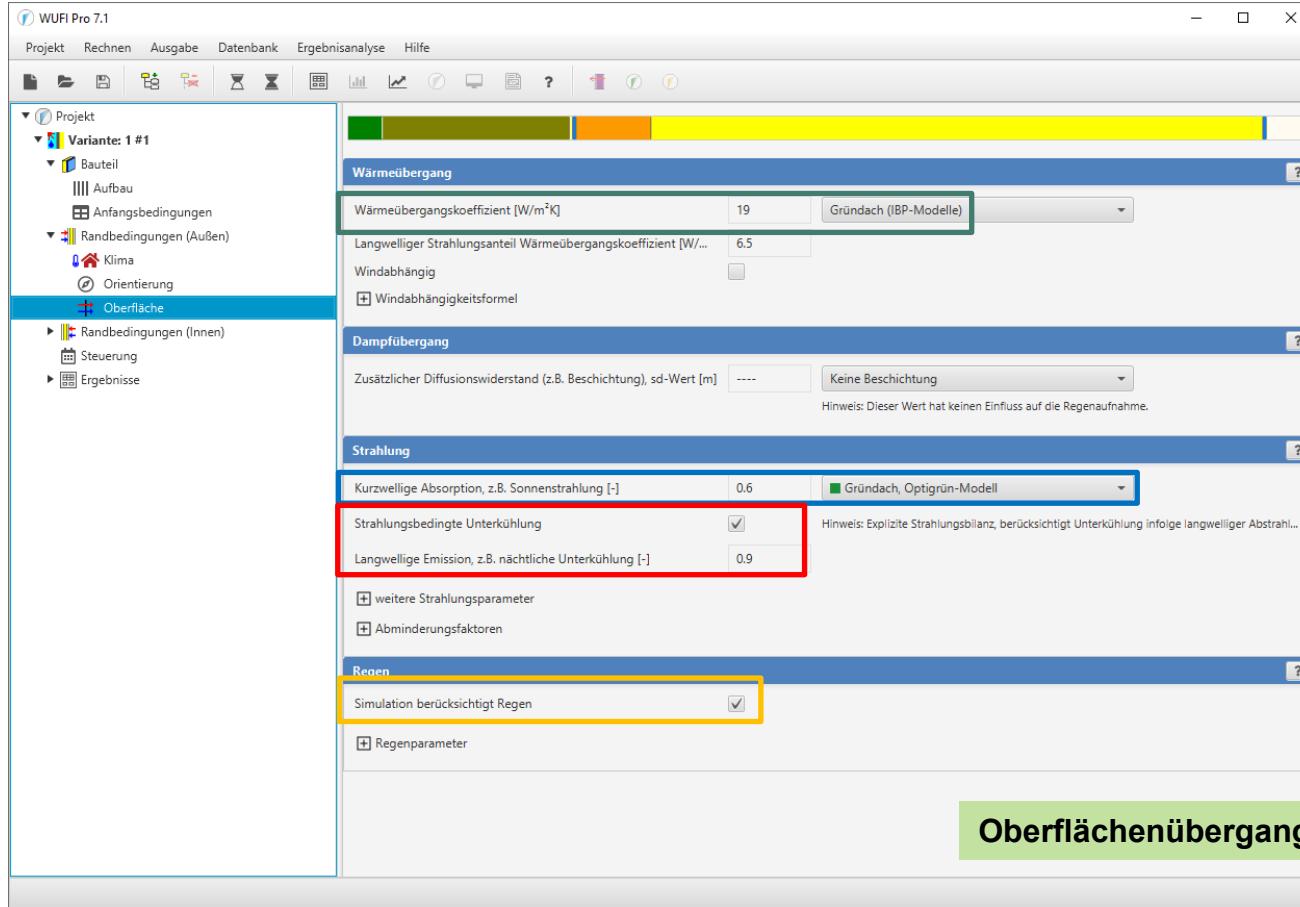
Beispiel: Orientierung / Neigung

Eingabe: Randbedingungen (Außen) – Orientierung



Beispiel: Oberflächenübergangskoeffizienten (außen)

Eingabe: Randbedingungen (Außen) – Oberfläche



**Wärmeübergangskoeffizient
(aus Liste: Gründach)**

**Absorption
(aus Liste: Gründach,
Optigrün-Modell)**

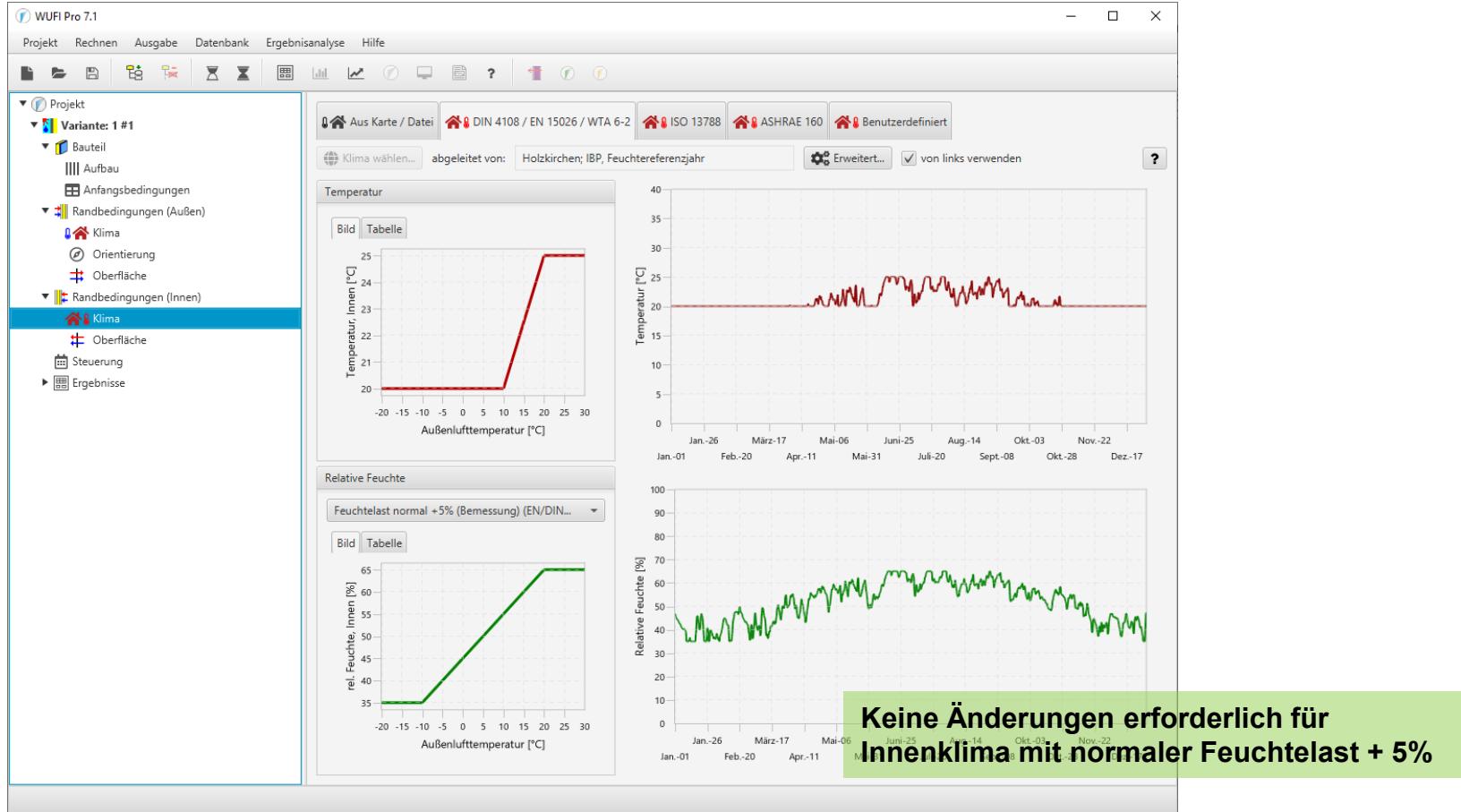
**Strahlungsbed.
Unterkühlung und
langwellige Emission**

Regen wird berücksichtigt

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

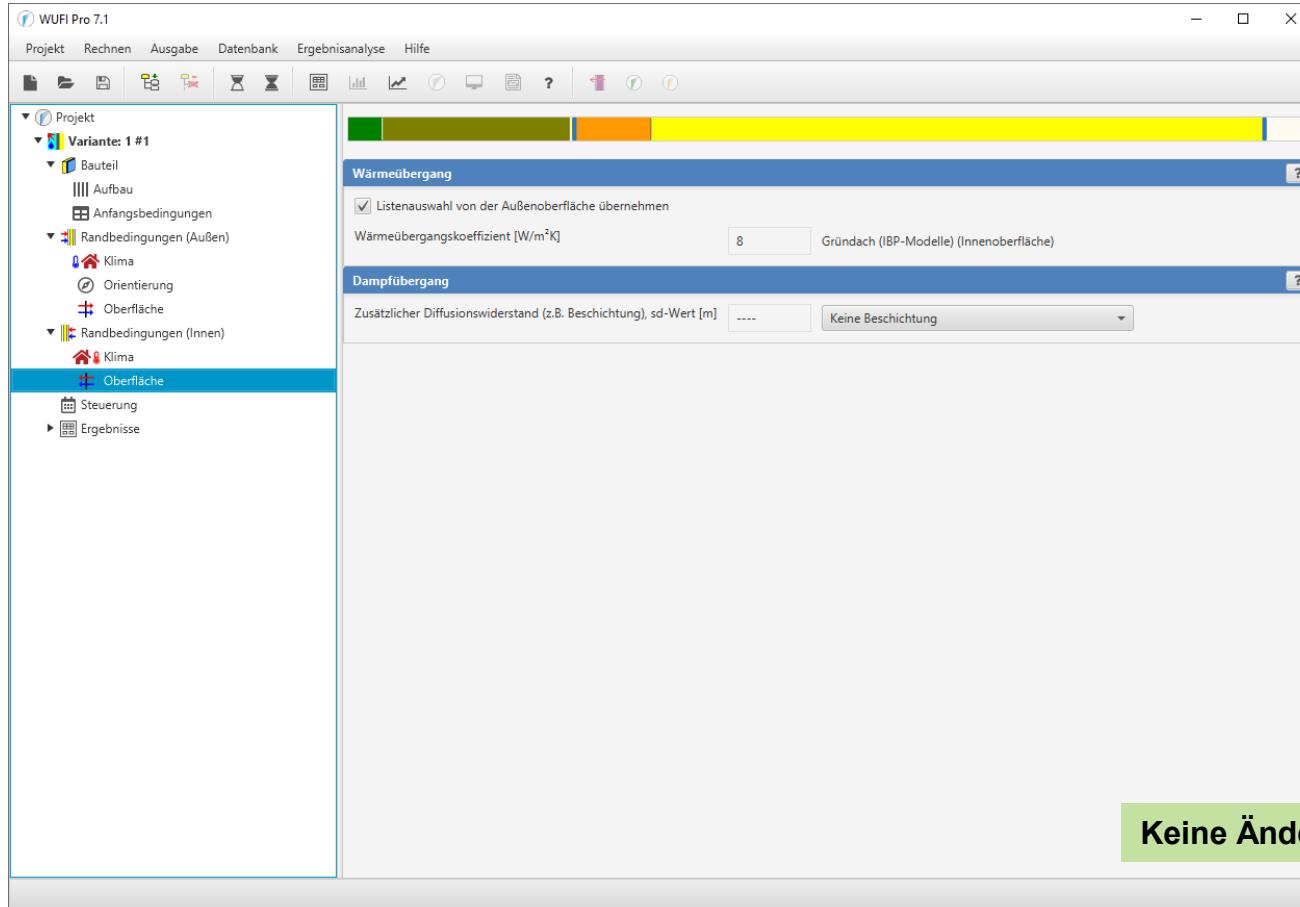
Beispiel: Innenklima

Eingabe: Randbedingungen (Innen) – Klima



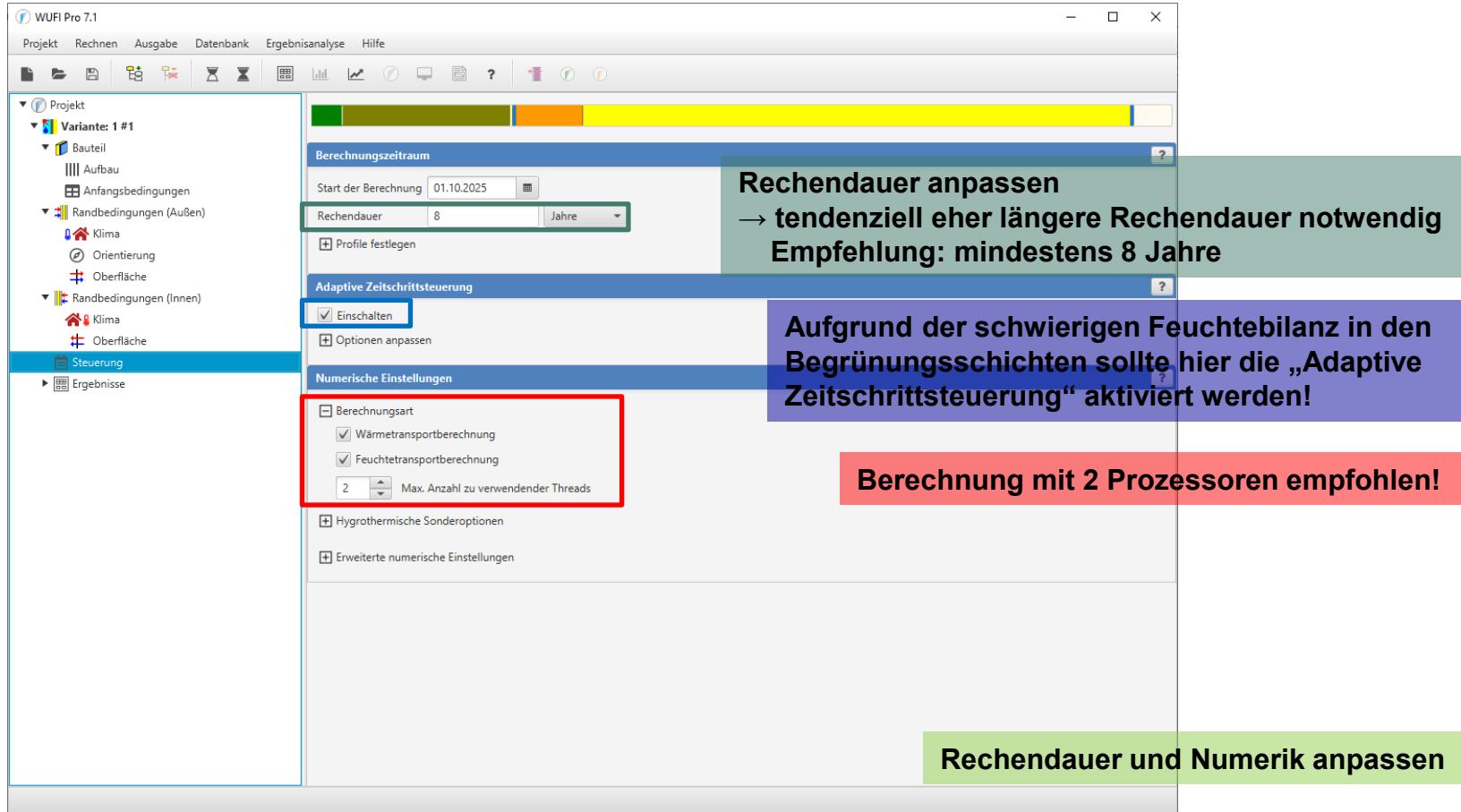
Beispiel: Oberflächenübergangskoeffizienten (innen)

Eingabe: Randbedingungen (Innen) – Oberfläche



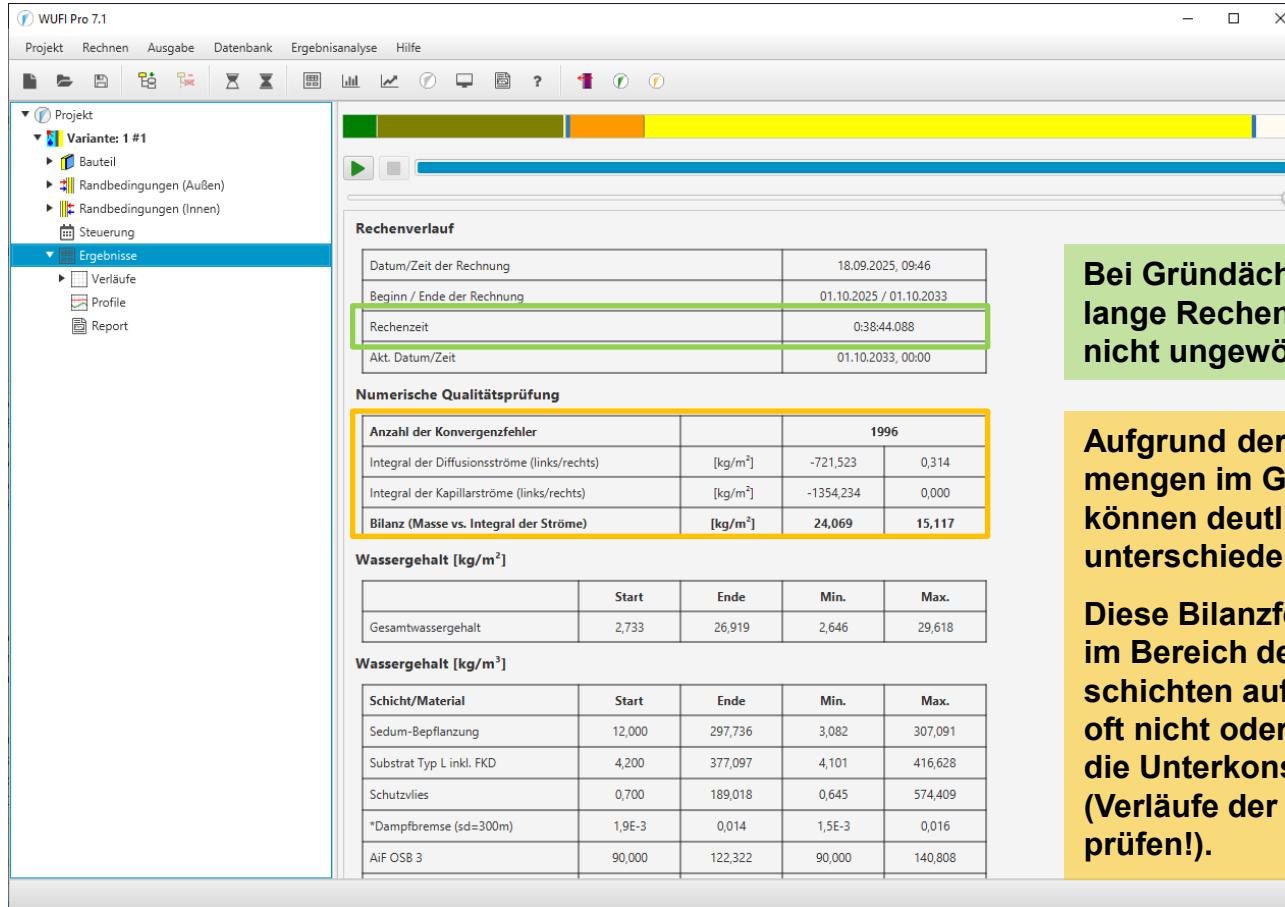
Beispiel: Rechendauer und Numerik

Eingabe: Steuerung



Beispiel: Auswertung – Numerische Qualitätsprüfung

Ergebnisse:



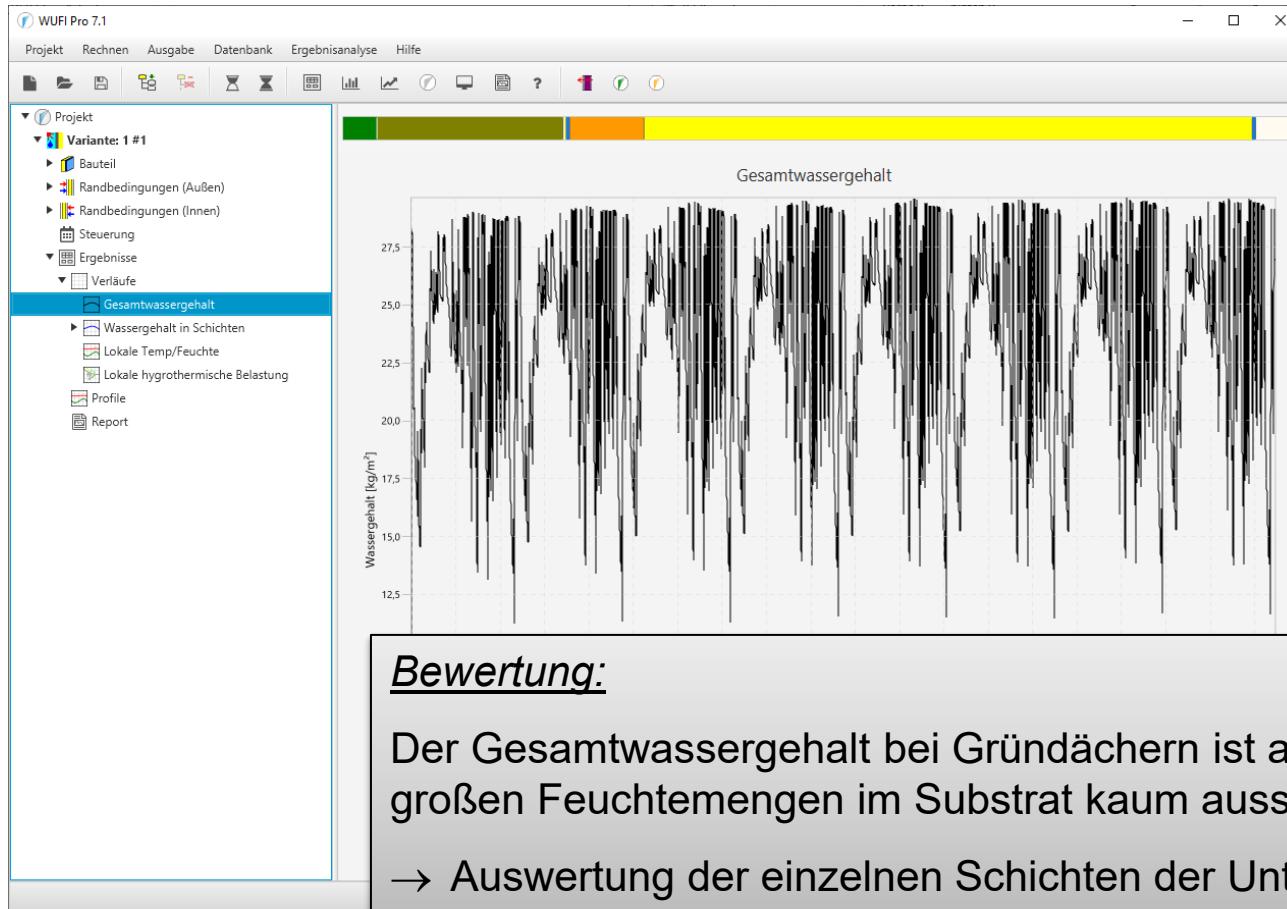
Bei Gründächern sind lange Rechenzeiten nicht ungewöhnlich!

Aufgrund der hohen Quellmengen im Gründachaufbau können deutliche Bilanzunterschiede auftreten.

Diese Bilanzfehler treten meist im Bereich der Begrünungsschichten auf und wirken sich oft nicht oder nur marginal auf die Unterkonstruktion aus (Verläufe der Unterkonstruktion prüfen!).

Beispiel: Auswertung Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Beispiel: Auswertung OSB

Auswertung:

Wassergehalt in der OSB

