

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von Optigrün-Begrünungen

Stand: Juli 2023

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: Orientierung / Neigung.....	Folie 12
- Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizienten.....	Folie 13
- Eingabe: Anfangsbedingungen.....	Folie 15
- Eingabe: Steuerung.....	Folie 16
- Eingabe: Klima.....	Folie 17
Optigrün-Systeme	
- Leichtdach Lösung 1.....	Folie 19
- Spardach Lösung 1.....	Folie 22
- Spardach Lösung 2.....	Folie 25
- Schrägdach 5-45°.....	Folie 28
- Naturdach Lösung 1.....	Folie 31
Hinweise zur Auswertung	Folie 35
Wichtige Hinweise / Regeln für die Baupraxis	Folie 39
Literatur	Folie 40

Im Rahmen des Forschungsprojekts

„Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparmetern 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 produktspezifische Dachbegrünungen – insbesondere auf Holzkonstruktionen – mit Hilfe von hygrothermischen Simulationen zuverlässig berechnen und planen zu können.

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 Klimatelemente **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.

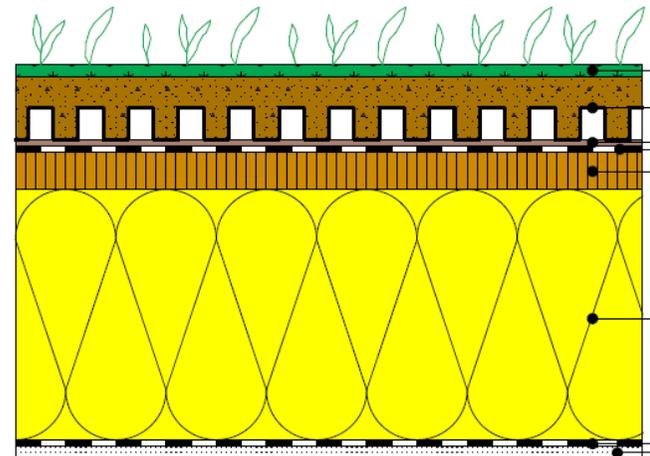
Anwendung des produktspezifischen Ansatzes

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 mit WUFI® erläutert.

Optigrün-Systeme entsprechend den Bezeichnungen des Herstellers:

- Leichtdach Lösung 1: [Folie 19](#)
- Spardach Lösung 1: [Folie 22](#)
- Spardach Lösung 2: [Folie 25](#)
- Schrägdach 5-45°: [Folie 28](#)
- Naturdach Lösung 1: [Folie 31](#)



Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Optigrün-Systeme

Der Schichtaufbau der spezifischen Gründachmodelle wird in der Beschreibung der jeweiligen Optigrün-Systeme erläutert.

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

Zum anderen befinden sich die Aufbauten auch in der Konstruktionsdatenbank. Zum Einfügen klicken Sie den Button „Konstruktionsdatenbank“ unter dem Bauteilaufbau. Wählen Sie dann unter *Fraunhofer Institut für Bauphysik → Dächer* den jeweiligen Aufbau.

Nach dem Einfügen ergänzen Sie die Unterkonstruktion im Aufbau. Anschließend müssen noch die Randbedingungen und die Feuchtequellen entsprechend diesem Leitfaden eingestellt werden.

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Darunter liegender Dachaufbau

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

Gitteraufbau

Folgende Gittereinstellung wird bei Gründächern empfohlen:
Automatisch (II) mit 200 Elementen (Benutzerdefiniert)



Gitteraufbau

Automatisch (II)

200 Benutzerdefiniert

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchtequelle in der Substrat- bzw. Dränageschicht

Die in den einzelnen Schichten anzusetzenden Feuchtequellen werden in der Beschreibung der jeweiligen Optigrün-Systeme erläutert.
([Folie 19](#) ff.)

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

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 mit zu beurteilen 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 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

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

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](#)

Bauteil - 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.

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizienten

Wärmeübergangskoeffizient

Außenoberfläche

Der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenoberfläche beträgt entsprechend dem spezifischen Gründachmodell [1] $19 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Innenoberfläche

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

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizienten

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

Entsprechend dem spezifischen Gründachmodell nach [1] beträgt die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl 0,6.

Langwellige Strahlungsemissionszahl

Die langwellige Strahlungsemission beträgt 0,9.

Die explizite Strahlungsbilanz ist bei Dächern aufgrund des großen Blickfeldes zum Himmel grundsätzlich einzuschalten, um die Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung zu berücksichtigen.

Bauteil – Anfangsbedingungen

Anfangstemperatur und -feuchte:

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

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

Steuerung

Zeit / Profile:

Ein Berechnungsstart am 1. Oktober wird empfohlen, da das Bauteil in den anschließenden Wintermonaten zuerst meist noch weiter auffeuchtet, bevor im Frühjahr evtl. 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.

Numerik:

Aufgrund der schwierigen Feuchtebilanz in den Begrünungsschichten sollte die Berechnung von Gründächern mit „Adaptiver Zeitschrittsteuerung“ durchgeführt werden. Folgende Einstellung wird empfohlen:

- Schritte: 3
- Max. Stufen: 10

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 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.

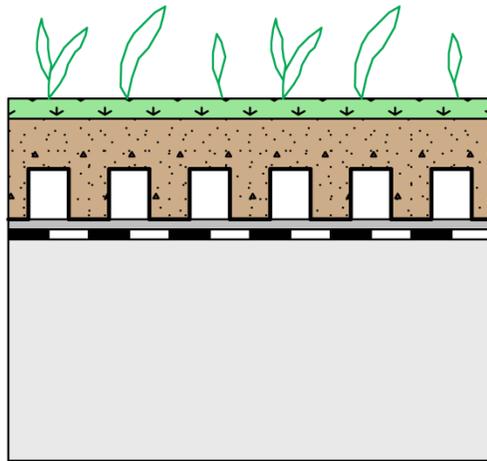
Klima

Innenklima:

Standardmäßig empfehlen wir für die Bemessung das Innenklima mit normaler Feuchtelast + 5% nach WTA-Merkblatt 6-2 [10].

Alternativ können je nach Nutzung des Gebäudes auch das Innenklima nach EN 15026 [11] mit normaler bzw. hoher Feuchtelast oder z.B. konstante oder gemessene Bedingungen angesetzt werden.

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)

Aufbau in WUFI®:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
(Materialdatensatz: „Optigrün Leichtdach 1 (Sedum-Bepflanzung) 1/3“)
- 5,5 cm Substrat Typ L inkl. FKD
(Materialdatensatz: „Optigrün Leichtdach 1 (Substrat Typ L inkl. FKD) 2/3“)
- 0,1 cm Schutzvlies
(Materialdatensatz: „Optigrün Leichtdach 1 (Schutzvlies) 3/3“)

Feuchtequelle in der Substratschicht

Um den durch die Substratschicht durchfließenden Niederschlag in der Berechnung zu berücksichtigen, ist eine Feuchtequelle in die 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: mehrere Elemente
Starttiefe: 0,035 m / Endtiefe: 0,055 m
- Quelltyp: Anteil der Regenbelastung
- Anteil: 40 % (Benutzerdefiniert)
- Begrenzung des Quellwerts auf die freie Wassersättigung

Feuchtequelle

Bezeichnung

Verteilungsbereich

Ein Element Mehrere Elemente Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]

Endtiefe in Schicht [m]

Quelltyp

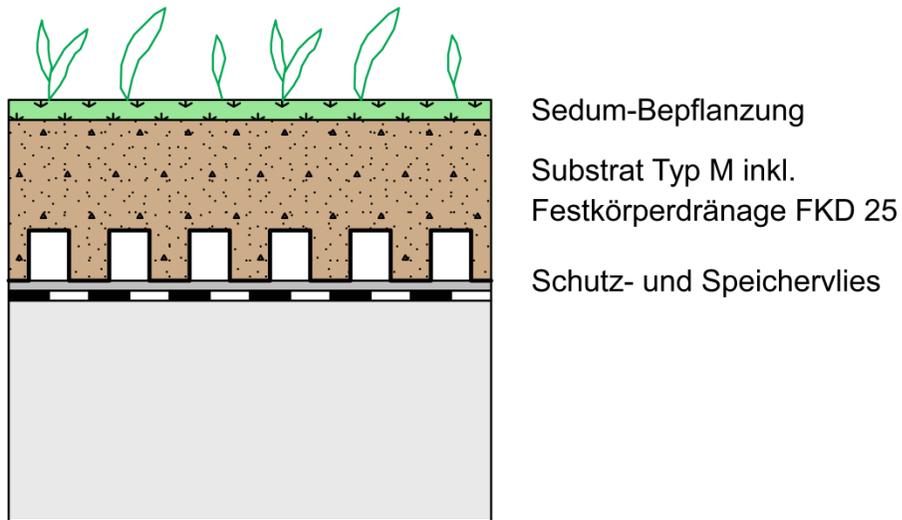
instationär aus Datei Anteil der Regenbelastung Luftinfiltrationsmodell IBP konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]

keine Begrenzung Begrenzung auf max. Wassergehalt Begrenzung auf freie Wassersättigung Benutzerdefiniert

Anteil [%]

Optigrün-System Spardach Lösung 1



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)

Aufbau in WUFI®:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
(Materialdatensatz: „Optigrün Spardach 1 (Sedum-Bepflanzung) 1/3“)
- 8,5 cm Substrat Typ M inkl. FKD
(Materialdatensatz: „Optigrün Spardach 1 (Substrat Typ M inkl. FKD) 2/3“)
- 0,1 cm Schutzvlies
(Materialdatensatz: „Optigrün Spardach 1 (Schutzvlies) 3/3“)

Feuchtequelle in der Substratschicht

Um den durch die Substratschicht durchfließenden Niederschlag in der Berechnung zu berücksichtigen, ist eine Feuchtequelle in die 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: mehrere Elemente
Starttiefe: 0,065 m / Endtiefe: 0,085 m
- Quelltyp: Anteil der Regenbelastung
- Anteil: 40 % (Benutzerdefiniert)
- Begrenzung des Quellwerts auf die freie Wassersättigung

Feuchtequelle

Bezeichnung: Feuchtequelle im Substrat

Verteilungsbereich:

- Ein Element
- Mehrere Elemente
- Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]: 0,065

Endtiefe in Schicht [m]: 0,085

Quelltyp:

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

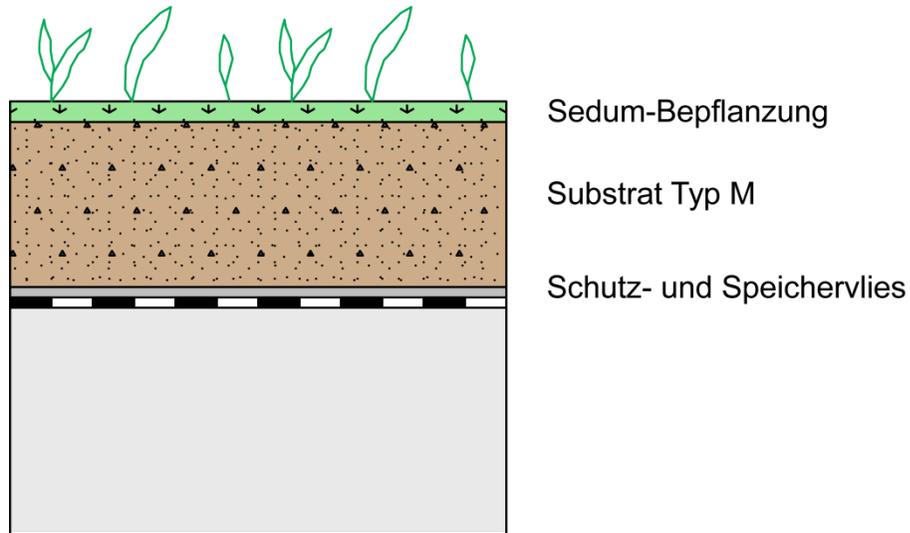
Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]:

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

Anteil [%]: 40

Benutzerdefiniert

Optigrün-System Spardach Lösung 2



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)

Aufbau in WUFI®:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
(Materialdatensatz: „Optigrün Spardach 2 (Sedum-Bepflanzung) 1/3“)
- 8 cm Substrat Typ M
(Materialdatensatz: „Optigrün Spardach 2 (Substrat Typ M) 2/3“)
- 0,1 cm Schutzvlies
(Materialdatensatz: „Optigrün Spardach 2 (Schutzvlies) 3/3“)

Feuchtequelle in der Substratschicht

Um den durch die Substratschicht durchfließenden Niederschlag in der Berechnung zu berücksichtigen, ist eine Feuchtequelle in die 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: mehrere Elemente
Starttiefe: 0,06 m / Endtiefe: 0,08 m
- Quelltyp: Anteil der Regenbelastung
- Anteil: 40 % (Benutzerdefiniert)
- Begrenzung des Quellwerts auf die freie Wassersättigung

Feuchtequelle

Bezeichnung

Verteilungsbereich

Ein Element Mehrere Elemente Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]

Endtiefe in Schicht [m]

Quelltyp

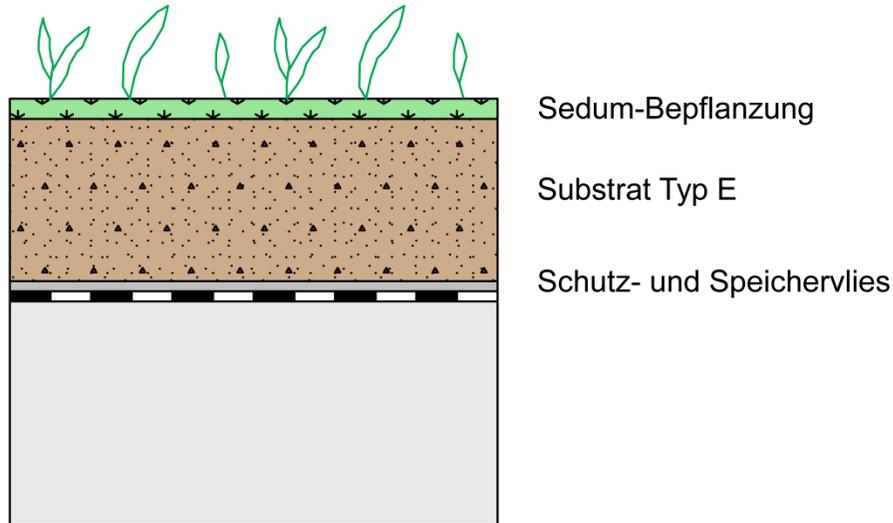
instationär aus Datei Anteil der Regenbelastung Luftinfiltrationsmodell IBP konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwerts [kg/m³]

keine Begrenzung Begrenzung auf max. Wassergehalt Begrenzung auf freie Wassersättigung Benutzerdefiniert

Anteil [%]

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)

Aufbau in WUFI®:

- 1 cm Sedum-Bepflanzung
(Materialdatensatz: „Optigrün Schrägdach 5-45° (Sedum-Bepflanzung) 1/3“)
- 8 cm Substrat Typ E
(Materialdatensatz: „Optigrün Schrägdach 5-45° (Substrat Typ E) 2/3“)
- 0,1 cm Schutzvlies
(Materialdatensatz: „Optigrün Schrägdach 5-45° (Schutzvlies) 3/3“)

Feuchtequelle in der Substratschicht

Um den durch die Substratschicht durchfließenden Niederschlag in der Berechnung zu berücksichtigen, ist eine Feuchtequelle in die 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: mehrere Elemente
Starttiefe: 0,06 m / Endtiefe: 0,08 m
- Quelltyp: Anteil der Regenbelastung
- Anteil: 40 % (Benutzerdefiniert)
- Begrenzung des Quellwerts auf die freie Wassersättigung

Feuchtequelle

Bezeichnung

Verteilungsbereich

Ein Element Mehrere Elemente Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]

Endtiefe in Schicht [m]

Quelltyp

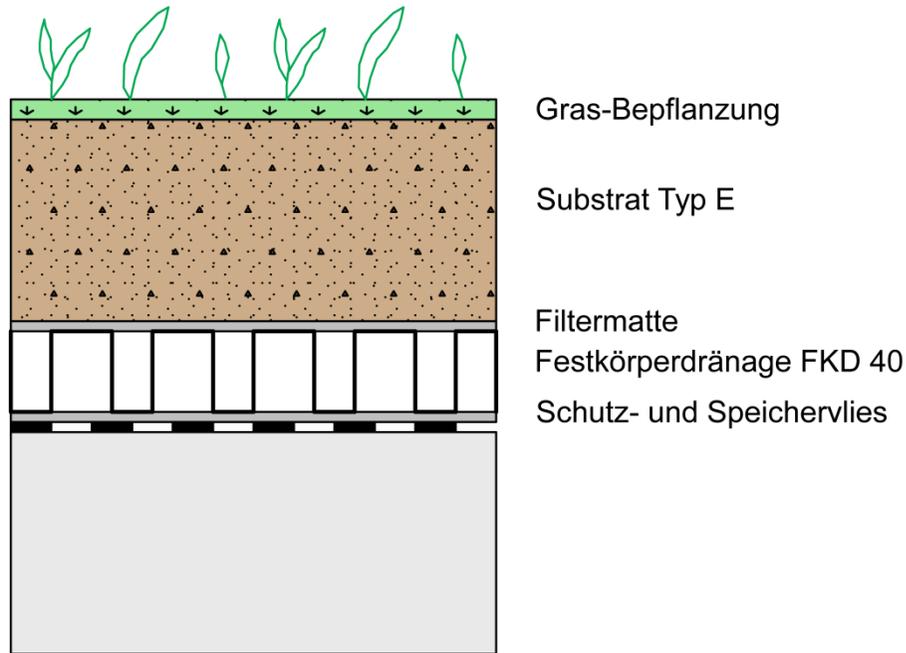
instationär aus Datei Anteil der Regenbelastung Luftinfiltrationsmodell IBP konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwerts [kg/m³]

keine Begrenzung Begrenzung auf max. Wassergehalt Begrenzung auf freie Wassersättigung Benutzerdefiniert

Anteil [%]

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)

Aufbau in WUFI®:

- 1 cm Gras-Bepflanzung
(Materialdatensatz: „Optigrün Naturdach 1 (Gras-Bepflanzung) 1/5“)
- 10 cm Substrat Typ E
(Materialdatensatz: „Optigrün Naturdach 1 (Substrat Typ E) 2/5“)
- 0,1 cm Filtermatte
(Materialdatensatz: „Optigrün Naturdach 1 (Filtermatte) 3/5“)
- 4 cm Festkörperdränage
(Materialdatensatz: „Optigrün Naturdach 1 (Festkörperdränage) 4/5“)
- 0,1 cm Schutzvlies
(Materialdatensatz: „Optigrün Naturdach 1 (Schutzvlies) 5/5“)

Feuchtequelle in der Substratschicht

Um den durch die Substratschicht durchfließenden Niederschlag in der Berechnung zu berücksichtigen, ist eine Feuchtequelle in die 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: mehrere Elemente
Starttiefe: 0,08 m / Endtiefe: 0,1 m
- Quelltyp: Anteil der Regenbelastung
- Anteil: 40 % (Benutzerdefiniert)
- Begrenzung des Quellwerts auf die freie Wassersättigung

Feuchtequelle

Bezeichnung

Verteilungsbereich

Ein Element

Mehrere Elemente

Ganze Schicht

Starttiefe in Schicht [m]

Endtiefe in Schicht [m]

Quelltyp

instationär aus Datei

Anteil der Regenbelastung

Luftinfiltrationsmodell IBP

konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwerts [kg/m³]

keine Begrenzung

Begrenzung auf max. Wassergehalt

Begrenzung auf freie Wassersättigung

Benutzerdefiniert

Anteil [%]

Feuchtequelle in der Dränageschicht

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 der Regenbelastung
- Anteil: 40 % (Benutzerdefiniert)
- Begrenzung des Quellwerts auf das maximale Füllvolumen der Festkörperdränage
 $(8,7 \text{ kg/m}^2) / (0,04 \text{ m}) = 217,5 \text{ kg/m}^3$

Feuchtequelle

Bezeichnung: Feuchtequelle in FKD

Verteilungsbereich:

- Ein Element
- Mehrere Elemente
- Ganze Schicht

Quelltyp:

- 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

Anteil [%]: 40

Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]: Benutzerdefiniert 217,5

Rechenqualität

- Bei Gründächern sind lange Rechenzeiten nicht ungewöhnlich.
- Die Anzahl der Konvergenzfehler sollte durch das Aktivieren der „Adaptiven Zeitschrittsteuerung“ sehr gering bzw. gleich null sein.
- Allgemein gilt, dass die Bilanzunterschiede so gering wie möglich bleiben sollten. Bei Gründächern kann es allerdings aufgrund der großen Feuchtemengen im Gründachaufbau (Schlagregenquelle) zu größeren Bilanzunterschieden 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	02.05.2019 11:59:57	
Rechenzeit	1 h,29 min,11 sek	
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2019 / 01.10.2027	
Anzahl der Konvergenzfehler	0	

Numerische Qualitätsprüfung		
Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	-1344,82 -729,91
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	3,4E-7 0,33
Bilanz 1	[kg/m ²]	24,24
Bilanz 2	[kg/m ²]	9,87

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.

Einen von der Eingabe bis zur Auswertung ausführlich beschriebenen Beispielfall mit einem Optigrün-System finden Sie hier: [Beispielfall in WUFI® Pro: Optigrün-Leichtdach](#)

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.

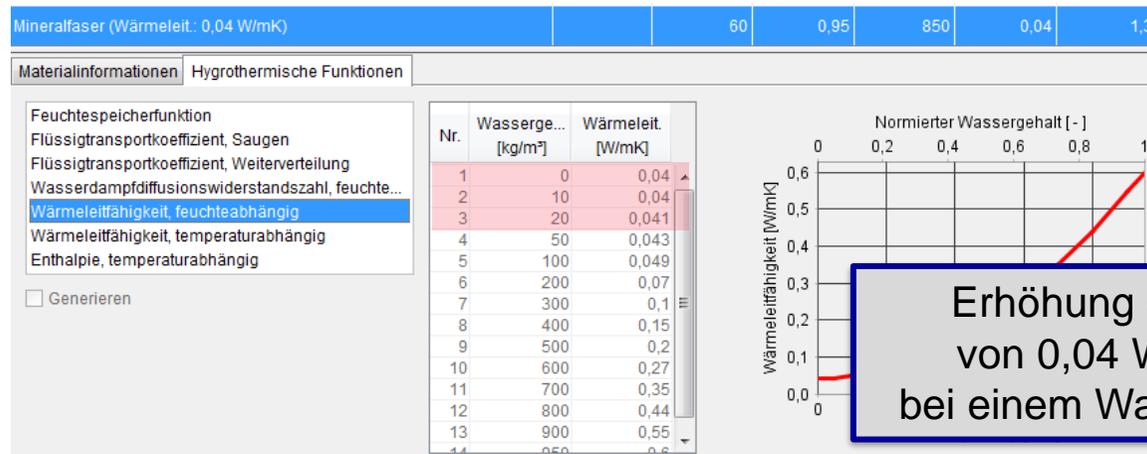
- Feuchte führt zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit – dieser Anstieg bleibt aber meist so gering (siehe nächste Folie), dass er auch für typische Standzeiten von 25 Jahren vernachlässigbar erscheint.
- In Hartschaumdämmungen verbleibt die Feuchte in der Porenstruktur des Materials – d.h. i.d.R. 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 Mineralwollendämmung 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.



Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK auf 0,041 W/mK bei einem Wassergehalt von 20 kg/m^3 .

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!!

- [1] Schafaczek B., Zirkelbach D.: Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparmetern 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 Feuchteeintrag 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, Oktober 2018.
 - [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, Juli 2007.
-