

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von extensiv begrüntem Dächern (generisch)

Stand: Juli 2023

Entwicklung des Gründachberechnungsmodells	Folie 3
Anwendung des generischen Ansatzes	Folie 5
- Eingabe: Bauteilaufbau und Gittereinstellung.....	Folie 6
- Eingabe: Feuchtequelle im Substrat und Infiltrationsquelle.....	Folie 7
- Eingabe: Orientierung / Neigung.....	Folie 10
- Eingabe: Oberflächenübergangskoeffizienten.....	Folie 11
- Eingabe: Anfangsbedingungen.....	Folie 13
- Eingabe: Steuerung.....	Folie 14
- Eingabe: Klima.....	Folie 15
Hinweise zur Auswertung	Folie 17
Wichtige Hinweise / Regeln für die Baupraxis	Folie 21
Literatur	Folie 22

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 Festkörperdrainage 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.

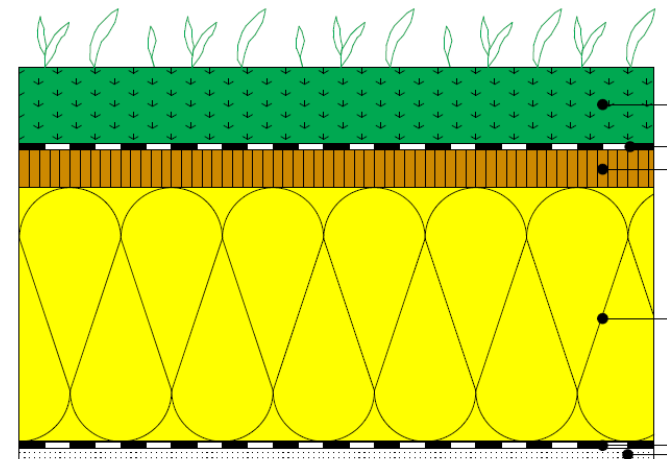
Anwendung des generischen Ansatzes

Der **generische Ansatz** kann angewendet werden, wenn **keine genauen Daten** zum **verwendeten Substrat** oder im Klimadatensatz **keine gemessenen Gegenstrahlungsdaten** vorliegen.

In diesem Modell wird **die langwellige Abstrahlung vereinfacht über die reduzierte kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl mit berücksichtigt.**

Dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn vergleichbare Strahlungsverhältnisse wie an den untersuchten Standorten auftreten.

Andere Strahlungsverhältnisse (vor allem bei deutlich unterschiedlichen Bewölkungsgraden) sollten durch eine genaue Berechnung der langwelligeren Strahlungsverluste erfasst werden.



Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Generisches Substrat

Das generische Substrat ist in erforderlicher Dicke (bis maximal etwa 15 cm Substratschichtdicke) anzusetzen.

Das Material ist direkt in der WUFI®-Materialdatenbank verfügbar unter *Fraunhofer Institut für Bauphysik → Grün- und Kiesdächer*.

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 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: mehrere Elemente
Beispiel: 8 cm dicke Substratschicht
Starttiefe: 0,06 m / Endtiefe: 0,08 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]: 0,06

Endtiefe in Schicht [m]: 0,08

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

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 generischen 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 generischen Gründachmodell nach [1] wird die langwellige Abstrahlung vereinfacht über die reduzierte kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl mit berücksichtigt.

Diese wird dazu mit dem vergleichsweise niedrigen Wert von 0,3 angenommen.

Langwellige Strahlungsemissionszahl

Die langwellige Strahlungsemission wird für generische Gründächer nicht angesetzt. Auch die explizite Strahlungsbilanz wird nicht verwendet.

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 der Begrünungsschicht 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 generischen Gründachmodells Standorte notwendig, die 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.

Hinweise zur Auswertung von Gründächern

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 weitgehend 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 dem allgemeinen Gründachansatz finden Sie hier: [Beispielfälle in WUFI® Pro: generisches Gründach](#)

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.

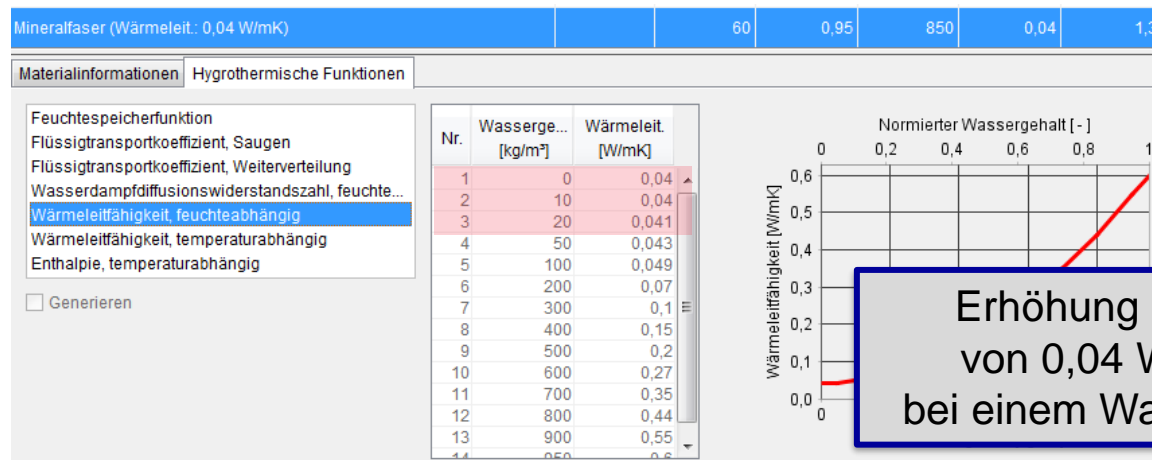
- Feuchte führt zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit – dieser Anstieg bleibt aber meist so gering (siehe nächste Folie), dass er auch für typische Standzeiten von 25 Jahren vernachlässigbar erscheint.
- In Hartschaumdämmungen verbleibt die Feuchte in der Porenstruktur des Materials – d.h. i.d.R. 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 Mineralwollgedämmung dargestellt, der über die Standzeit des Daches auf etwa 20 kg/m³ steigt (umgerechnet auf eine Dicke von 6 cm entspricht dies etwa 1,2 kg/m²).

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!!

- [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.
-