

WUFI®

Leitfaden zur Berechnung von bekiesten Dächern

Stand: Juli 2024

Inhalt

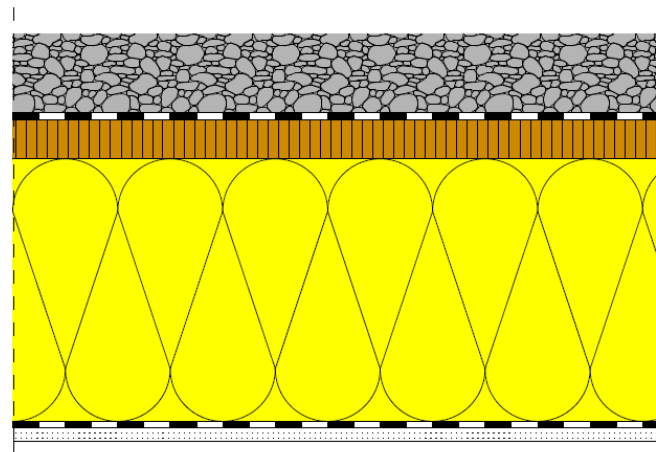
Materialdatensatz „generischer Kies“.....	Folie 3
Hinweise zur Eingabe	
- Bauteilaufbau und Gittereinstellung.....	Folie 4
- Feuchtequelle im Kies.....	Folie 5
- Infiltrationsquelle.....	Folie 7
- Orientierung / Neigung.....	Folie 9
- Oberflächenübergangskoeffizient.....	Folie 10
- Anfangsbedingungen.....	Folie 12
- Steuerung.....	Folie 13
- Klima.....	Folie 14
Hinweise zur Auswertung.....	Folie 16
Literatur.....	Folie 20

Materialdatensatz „generischer Kies“

Materialdatensatz „generischer Kies“:

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

In der Kiesschicht wird **kein Kapillartransport berücksichtigt**, so dass das durch die Kiesschicht fließende **Wasser über eine Feuchtequelle** in das Material **einggebracht** wird. Die Feuchtequelle wird über die gesamte Schichtdicke mit Ausnahme des äußersten Elements angesetzt – ein Ansetzen der Feuchtequelle im äußersten Element kann zu numerischen Problemen und Bilanzunterschieden führen.



Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Generische Kiesschicht

Die generische Kiesschicht ist in erforderlicher Dicke einzugeben.
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 Kiesdächern empfohlen:

Automatisch (II) mit 200 Elementen (Benutzerdefiniert)



The screenshot shows a dialog box titled "Gitteraufbau". It contains a dropdown menu set to "Automatisch (II)", a text input field containing "200", and another dropdown menu set to "Benutzerdefiniert". Below these fields is a button labeled "Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren".

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchtequelle in der Kiesschicht

Zur Berücksichtigung des durch die Kiesschicht fließenden Wassers wird eine Feuchtequelle über die gesamte Schichtdicke mit Ausnahme des äußersten Elements angesetzt.

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

Einstellungen:

- Verteilungsbereich: mehrere Elemente
Beispiel: 6 cm dicke Kiesschicht
Starttiefe: 0,003 m / Endtiefe: 0,06 m
- Quelltyp: Anteil des Schlagregens
- Anteil: 40 %
- Begrenzung des Quellwerts auf die freie Wassersättigung

The screenshot shows a configuration window for a moisture source. It is divided into several sections:

- Verteilungsbereich:** Three radio buttons are present: Ein Element, Mehrere Elemente, and Ganze Schicht.
- Starttiefe in Schicht [m]:** A text input field containing the value 0,003.
- Endtiefe in Schicht [m]:** A text input field containing the value 0,06.
- Quelltyp:** Four radio buttons: instationär aus Datei, Anteil der Regenbelastung, Luftinfiltrationsmodell IBP, and konstante monatliche Feuchtelast.
- Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]:** Four radio buttons: keine Begrenzung, Begrenzung auf max. Wassergehalt, Begrenzung auf freie Wassersättigung, and Benutzerdefiniert.
- Anteil [%]:** A text input field containing 40 and a dropdown menu set to Benutzerdefiniert.

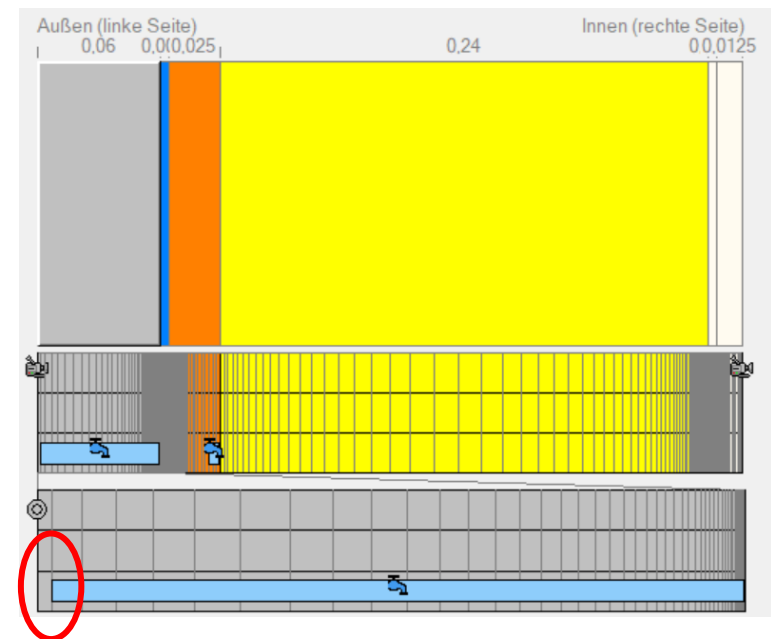
Hinweise zur Eingabe: Feuchtequelle im Kies

Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchtequelle in der Kiesschicht

Hinweis zur Eingabe der Starttiefe:

- Die Verteilung der Gitterelemente variiert je nach Bauteilaufbau.
- Die Starttiefe der Quelle ist so zu wählen, dass sich die Feuchtequelle nicht im äußeren Element der Kiesschicht befindet.
- Dies kann optisch im Bauteilaufbau überprüft werden.



Bauteil - Aufbau/Monitorpositionen

Feuchtequelle - Infiltration (nur bei Holzbaukonstruktionen)

Die in Abhängigkeit von der Luftdichtheit konvektiv in die Konstruktion eindringende Feuchtemenge ist nach DIN 68800 [2] 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 [2].

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

Bauteil - Orientierung

Orientierung

Die maßgebliche Orientierung ist i.d.R. Nord, da hier die geringsten Strahlungsgewinne auftreten. 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 von Kiesdächern wird mit $19 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.

Innenoberfläche

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

Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizienten

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl für mittelgrauen Kies beträgt 0,5 (basierend auf den Nachrechnungen von Freilandversuchen an bekiesten Dächern).

Langwellige Strahlungsemissionszahl

Die langwellige Strahlungsemission beträgt für Kiesdächer 0,93 (basierend auf den Nachrechnungen von Freilandversuchen an bekiesten Dächern).

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

Numerik:

Bei der Numerik können die Voreinstellungen übernommen werden.

Klima

Außenklima:

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

Hier bieten sich die hygrothermischen Referenzjahre (HRY) an, welche im Rahmen eines Forschungsprojekts [4] 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 [5].

Alternativ können je nach Nutzung des Gebäudes auch das Innenklima nach EN 15026 [6] mit normaler bzw. hoher Feuchtelast oder z.B. konstante oder gemessene Bedingungen angesetzt werden.

Rechenqualität

- Die Bilanzunterschiede sollten so gering wie möglich bleiben.
- Die Anzahl der Konvergenzfehler sollte im Idealfall ebenfalls möglichst klein sein.
Bei Kiesdächern kann es allerdings aufgrund der großen Feuchtemengen im Kiesdachaufbau (Schlagregenquelle) zu einer höheren Anzahl an Konvergenzfehler kommen.
- 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	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/m ²]	0,0 -1112,88
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	3,5E-7 0,48
Bilanz 1	[kg/m ²]	2,79
Bilanz 2	[kg/m ²]	2,8

Bekieste Leichtbaukonstruktionen

Das Vorgehen bei der Auswertung sowie die Auswertekriterien von bekiesten Leichtbaukonstruktionen 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.

Zwei von der Eingabe bis zur Auswertung ausführlich beschriebene Beispielfälle finden Sie hier:
[Beispielfälle in WUFI® Pro: Kiesdächer](#)

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.

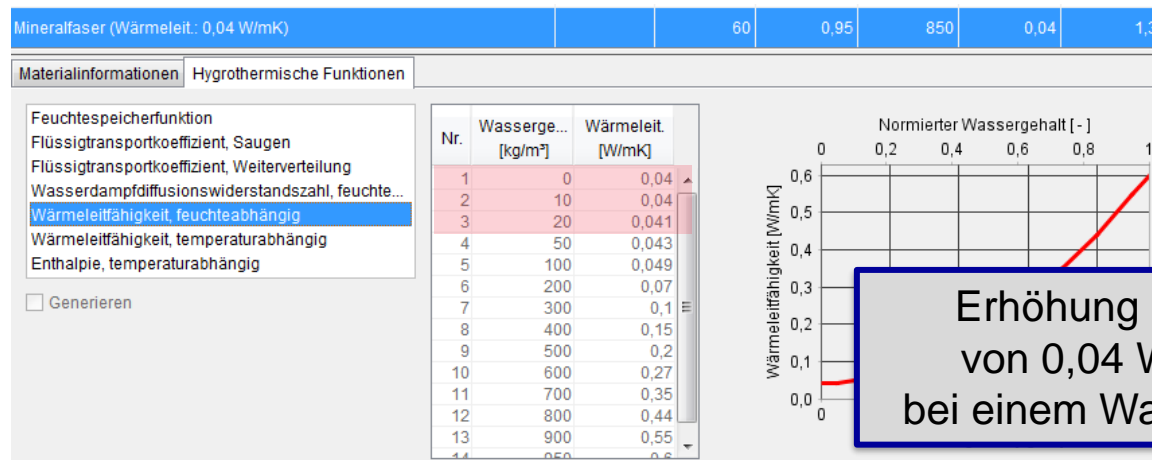
- Feuchte führt zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit – dieser Anstieg bleibt aber meist so gering (siehe nächste Folie), dass er auch für typische Standzeiten von 25 Jahren vernachlässigbar erscheint.
- In Hartschaumdämmungen verbleibt die Feuchte in der Porenstruktur des Materials – d.h. i.d.R.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

Zusätzliche Auswertung bei einer Überdämmung

Im Beispiel ist der Wassergehalt einer Mineralwollgedämmung 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 $0,041 \text{ W/mK}$. 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 $0,04 \text{ W/mK}$ auf $0,041 \text{ W/mK}$ bei einem Wassergehalt von 20 kg/m^3 .

- [1] DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth Verlag, Februar 2022.
- [2] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B. und Borsch-Laaks, R.: Dampfkonvektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteeintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen. Proceedings 30. AIVC Conference, Berlin 2009.
- [3] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Beuth Verlag, März 2024.
- [4] Forschungsbericht: Energieoptimiertes Bauen: Klima- und Oberflächenübergangsbedingungen für die hygrothermische Bauteilsimulation. IBP-Bericht HTB-021/2016. Durchgeführt im Auftrag vom Projektträger Jülich (PTJ UMW). Juli 2016.
- [5] WTA-Merkblatt 6-2: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Dezember 2014.
- [6] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Beuth Verlag, Dezember 2023.