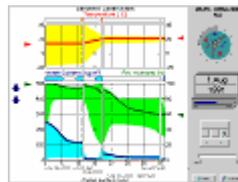


Willkommen bei WUFI

Das am IBP entwickelte und an Freiland- und Labordaten validierte menügesteuerte PC-Programm **WUFI** (**W**ärme und **F**euchte instationär) erlaubt die realitätsnahe Berechnung des instationären hygrothermischen Verhaltens von mehrschichtigen Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen.



WUFI basiert auf den neuesten Erkenntnissen in bezug auf Dampfdiffusion und Flüssigtransport in Baustoffen.

WUFI arbeitet sowohl mit Standardstoffkennwerten als auch mit einfach zu bestimmenden Speicher- und Flüssigtransportfunktionen.

WUFI kann als Randbedingungen gemessene Außenklimawerte einschließlich Schlagregen und Sonneneinstrahlung verwenden, wodurch sich das Verhalten eines Bauteils unter Einfluß natürlicher Bewitterung realistisch untersuchen läßt.

WUFI eignet sich beispielsweise zur Bestimmung

- der Austrockenzeit von Baufeuchte
- der Tauwassergefahr in Bauteilen
- des Einflusses von Schlagregen auf Außenbauteile
- der Auswirkungen von Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen
- des hygrothermischen Verhaltens von Dach- und Wandkonstruktionen bei Nutzungsänderung oder in unterschiedlichen Klimazonen

WUFI ist ein Werkzeug für die Entwicklung und Optimierung von Baustoffen und Bauteilen. Es diene u.a. auch als Entwicklungswerkzeug für die intelligente Dampfbremse.

WUFI bietet einen instruktiven Überblick über die komplexen Feuchtetransportphänomene in Bauteilen, macht die Grundprinzipien und Wechselwirkungen beim Wärme- und Feuchtetransport transparent und liefert Planern und Architekten Entscheidungshilfen, indem es grundlegende Einsichten in die Vorgänge im Bauteil vermittelt.

Es eignet sich aufgrund seiner Visualisierungsmöglichkeiten auch als Schulungs- und Werbemedium.

HelpGeneral

\$ Willkommen bei WUFI

+ 0005

K WUFI;IBP

WUFI wendet sich an Bauproduktehersteller, Sachverständige, Fachplaner, Ingenieurbüros und Fachleute im Bereich der Feuchtetechnik.

WUFI läuft auf PCs unter Windows NT4, 2000 und XP. Die ausführliche online-Hilfe und Dokumentation umfaßt ca. 200 DIN A4-Seiten. WUFI ist in deutscher, englischer, französischer, polnischer, finnischer und norwegischer Sprache erhältlich.

Der sachgerechte Einsatz erfordert einschlägige Erfahrung auf dem Gebiet des Wärme- und Feuchteschutzes und Grundkenntnisse in der Anwendung numerischer Berechnungsverfahren.

• • •

Weiter mit dem [Inhaltsverzeichnis](#)

Inhaltsverzeichnis

Die folgenden Hilfethemen bieten Ihnen einen allgemeinen Überblick über WUFI:

[Was ist WUFI?](#)

[Was liefert mir WUFI?](#)

[Wie verwende ich WUFI?](#)

Diese Hilfethemen enthalten ausführlichere Erläuterungen zu einzelnen Punkten:

[Details / Materialkenndaten](#)

[Details / Oberflächenübergangskoeffizienten](#)

[Details / Klimadaten](#)

Hier folgt ein Überblick über die Dialogstruktur von WUFI:

[Dialogstruktur](#)

Hier finden Sie nähere Erläuterungen zu den in WUFI verwendeten numerischen Verfahren, zu WUFIs Grenzen, zur Wahl des Gitters und der Zeitschrittweite, zur Genauigkeit der Ergebnisse, etc.:

[Details / WUFI](#)

Diese Liste von Fragen & Antworten soll Ihnen helfen, sich in das Programm und seine Anwendung einzuarbeiten:

[F&A](#)

Diese Tabelle enthält die Umrechnungsfaktoren, die WUFI zum Übergang zwischen SI-Einheiten und IP-Einheiten verwendet:

[Umrechnungstabelle](#)

Die Versionentabelle listet die Unterschiede zwischen den verschiedenen WUFI-Versionen auf:

[Versionsinfo](#)

Hinweise zum automatisierten Abarbeiten von WUFI-Rechnungen finden Sie im Hilfethema

HelpContents

\$ Inhaltsverzeichnis

+ 0010

K Hilfe;Online-Hilfe;Hilfetext;Inhalt;Index

[Batch-Betrieb.](#)

Und dieses Glossar definiert einige der im Programm verwendeten Begriffe:

[Glossar](#)

Hinweis: Mit den Schaltflächen ">>" und "<<" des Hilfefensters können Sie alle Hilfethemen zu WUFI systematisch durchblättern.

Weiter zu [Was ist WUFI?](#)

Online-Hilfe für WUFI-pro4.01 (d)
84 help topics
[Dezember 2006](#), Th. Schmidt

© FhG – IBP 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006

#§

Update history

Dez. 2006:

Neue Versionsnummer 4.1.

Neue Topics *.WAC-Format, *.WBC-Format, Langwelliger Strahlungsaustausch

Beschreibung der Ergebniskurven in "Ergebnisgrafiken" und "Kurven einfügen".

Neue Topics Hygrothermische Quellen, Hygrothermische Quellen editieren.

"Dialog: Messdaten" erweitert

"Dialog: Klimadatei auswählen (Karte)", "Details / Quellen für Klimadaten" überarbeitet und erweitert

6 neue Screenshots "Dialog: Klima"

F&A: Frage 25 entfernt

"Dialog: Aufbau" aktualisiert wg. Quellen u. Senken; neuer Screenshot

Hinweis: mögliche Mehrdeutigkeiten, wenn Klimadatei nicht mit vollem Pfad angegeben

Hinweis: mögliche Synchronisationsprobleme bei KLI-Dateien auf der rechten Seite

Windabhängige Wärmeübergangskoeffizienten: aktualisiert (KLI) und ergänzt (DAT, WBC, WAC)

"Langwelliger Strahlungsaustausch" umfangreich ausgebaut

Topic "langwellige Strahlungsemissionszahl" stark gekürzt (entfernter Teil steht jetzt in "Langwelliger Strahlungsaustausch")

Okt. 2005:

Neue Versionsnummer 4.01.

Schlagregenrose ist für *freistehende* Empfangsfläche berechnet.

Klimadaten für Helsinki, Jyväskylä und Sodankylä werden mit der *finnischen* Pro-Version geliefert.

Versionsinfo aktualisiert.

Neues Topic: Batch-Betrieb

Jetzt 9 kanadische Städte.

Apr. 2005:

Neue Versionsnummer 4.0.

Kleine Umformulierung bei Erklärung des sd-Wertes (Details / Wasserdampfdiffusion).

Umrechnungstabelle: 'permeance' in 'permeability' korrigiert

Neue Klimaformate

Neue Dialoge: Klimaauswahl, Schnellgrafiken, Messdaten.

Film neu; Ausgabe|Film und Filmexport: keine online-Hilfe mehr.

Versionsinfo

Jan. 2003:

Umrechnungstabelle SI <-> IP eingefügt.

Erläuterung permeance/permeability erweitert.

'Hinweis' für TRY-Dateien hinzugefügt.

Neue Versionsnummer 3.3.1.

UpdateHistory

\$ Update history

Okt. 2002:

Änderung am Erscheinungsbild des Dialogs "Optionen Ergebnisdaten"
berücksichtigt, Links angepasst.

Korrektur der Beschreibung der Option "Standard" in den Options-Dialogen.

Korrektur FAQ #24, Gl. für WOZ.

FAQ #13: Tabelle mit Anfangswassergehalten eingefügt.

Neue Versionsnummer 3.3

Okt. 2001:

Die restlichen Screenshots auf Deutsch umgestellt.

Änderungen am Erscheinungsbild des Dialogs Kurveneinstellungen.

Erläuterung der windabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten.

Beschreibung "Dialog: Klima Außen" erweitert.

Neue Versionsnummer 3.2

Aug 2001:

Deutsche Version des Hilfetextes zu WUFI 3.0 neu erstellt, unter Verwendung der deutschen Hilfetexte zu WUFI 2.2, einiger Webseitentexte, der von Daniel Zirkelbach angefertigten Übersetzung der englischen Hilfetexte zu den Dialogen und einiger Verbesserungsvorschläge im Rahmen des ORNL-Hilfetextes. Einige Screenshots sind noch in Englisch.

Was ist WUFI?

Die Abkürzung WUFI steht für "**W**ärme- **u**nd **F**euchtetransport instationär".

WUFI dient zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in eindimensionalen mehrschichtigen Bauteilen.

WUFI verfügt über eine Windows®-Benutzeroberfläche, mit der Sie schnell und bequem ein Projekt erstellen, Parameter für numerische Experimente ändern und die Ergebnisse in grafischer Form sowie als 'Film' betrachten können.

Die physikalischen und numerischen Grundlagen für WUFI sind ausführlich beschrieben in:

Künzel, H.M.:
Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten.
Dissertation Universität Stuttgart 1994

(erhältlich vom IBP: <http://www.hoki.ibp.fhg.de/indexd.html>)

oder

Künzel, H.M.:
Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components.
One- and two-dimensional calculation using simple parameters.
IRB-Verlag 1995

(erhältlich vom IRB-Verlag Stuttgart: <http://www.irb.fhg.de>).

Bei der Berechnung des Wärmetransports berücksichtigt WUFI folgende Transportmechanismen:

- Wärmeleitung
- Enthalpieströme durch Dampfdiffusion mit Phasenwechsel
- kurzwellige Sonnenstrahlung
- langwellige nächtliche Abstrahlung (nur bei TRY-, DAT-, WAC- und WBC-Wetterdaten).

Konvektiver Wärmetransport durch Luftströmungen wurde nicht mit aufgenommen, da er meist schwer zu erfassen und selten eindimensional ist.

Hilfe_Allgemein_C_UT1
\$ Was ist WUFI?
+ 0020
K

WUFI;Künzel;Wärmeleitung;Enthalpieströme;Dampfdiffusion;Phasenwechsel;kurzwellig;Sonnenstrahlung;langwellig;Abstrahlung;konvektiv;Luftströmung;Lösungsdiffusion;Kapillarleitung;Oberflächendiffusion;Sickerströmung;Gesamtdruckunterschied;elektrokinetisch;osmotisch;meteorologisch

Bei der Berechnung des Dampftransports berücksichtigt WUFI folgende Transportmechanismen:

- Dampfdiffusion
- Lösungsdiffusion.

Wiederum wurde konvektiver Dampftransport durch Luftströmungen vernachlässigt.

Bei der Berechnung des Flüssigtransports berücksichtigt WUFI folgende Transportmechanismen:

- Kapillarleitung
- Oberflächendiffusion.

Durch die Schwerkraft bedingte Sickerströmungen, hydraulische Strömungen aufgrund von Gesamtdruckunterschieden, sowie elektrokinetische und osmotische Effekte werden nicht erfasst.

Da Temperatur und relative Feuchte als treibende Potentiale gewählt wurden, ergeben sich einfache, anschauliche Speicher- und Transportkennwerte, die sich für abschätzende Berechnungen auch aus Standardkenndaten ableiten lassen.

Als Randbedingungen dienen meteorologische Daten (Temperatur, relative Luftfeuchte, Regen/Schlagregen, Strahlung) und Raumklimadaten (Temperatur, relative Luftfeuchte), da diese in der Bauphysik die geeigneten Parameter zur Beschreibung der Verhältnisse an der Oberfläche eines bewitterten Bauteils sind. Auch die Randbedingungen eines Laborversuchs (z.B. eines Saugversuchs) lassen sich in dieser Form ausdrücken. In das Bauteil können Wärme-, Feuchte- und Luftwechselquellen eingefügt werden.

Weiter mit [Was liefert mir WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Was liefert mir WUFI?

Sobald Sie WUFI mit den nötigen Daten versorgt haben, berechnet es die zeitliche Entwicklung des Temperatur- bzw. Feuchtefeldes im Bauteil.

Sie erhalten die Ergebnisse in dreierlei Form:

- als **Verläufe**, die die zeitliche Änderung bestimmter Größen an vorgegebenen Punkten oder als Mittelwerte über die einzelnen Bauteilschichten beschreiben. Die folgenden Größen werden als Verläufe ausgegeben:
 - die **Wärmestromdichten** durch die Innen- und die Außenoberfläche,
 - die **Temperaturen** und **relativen Feuchten** an frei wählbaren Monitorpositionen (z.B. an den beiden Oberflächen, oder in der Mitte einer Dämmschicht etc.).
 - der **mittlere Wassergehalt** in jeder Bauteilschicht und der **Gesamtwassergehalt** im ganzen Bauteil.
- als **Profile**, die die Verteilung bestimmter Größen über den Bauteilquerschnitt zu bestimmten, frei wählbaren Zeitpunkten beschreiben. Die folgenden Größen werden als Profile ausgegeben:
 - die **Temperatur** über den Bauteilquerschnitt,
 - die **relative Feuchte** über den Bauteilquerschnitt,
 - der **Wassergehalt** über den Bauteilquerschnitt.

WUFI gibt automatisch die Anfangs- und Endzustände des Bauteils als Profile aus. Sie können zusätzliche [Zeitpunkte](#) angeben, für die Sie Profile wünschen.

- als **Film**, der alle berechneten Profile enthält.

Sie können die Rechenergebnisse [zusammen mit den Eingabedaten](#) in der [Projektdatei](#) abspeichern, so daß Sie die [Ergebnisgrafiken](#) bzw. den Film auch später nochmals betrachten können, ohne die Rechnung wiederholen zu müssen. WUFI bietet Ihnen [Grafikfunktionen](#), mit denen Sie die berechneten Verläufe und Profile betrachten und die Grafiken bearbeiten und drucken können. Mit WUFIs Filmbetrachter können Sie den Film nach der Rechnung in aller Ruhe ablaufen lassen und betrachten.

Weiter mit [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum Themenanfang: [Was ist WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Hilfe_Allgemein_C_UT2

\$ Was liefert mir WUFI?

+ 0030

K Verläufe;Wärmestromdichte;Temperatur;relative Feuchte;Wassergehalt;Gesamtwassergehalt;Profile;Film

Wie verwende ich WUFI?

Im Folgenden wird Schritt für Schritt beschrieben, wie Sie eine WUFI-Rechnung vorbereiten und durchführen. Sie sollen dabei einen allgemeinen Eindruck erhalten, was Sie mit WUFI tun können und was Sie dazu brauchen.

[Welche Daten werden gebraucht?](#)

[Wie werden der Bauteilaufbau und das numerische Gitter definiert?](#)

[Wie sind die numerischen Parameter zu wählen?](#)

[Zusammenfassung: vor der Rechnung](#)

[Wie wird die Rechnung durchgeführt?](#)

[Wie sehe ich mir die Ergebnisse an?](#)

Weiter mit [Welche Daten werden gebraucht?](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Welche Daten werden gebraucht?

Natürlich braucht WUFI einige Daten, um seine Berechnungen durchführen zu können. Die zugrundeliegenden Transportgleichungen sind aber so formuliert, daß nur Größen auftreten, die entweder wohlbekannt oder leicht beschaffbar sind, oder die leicht gemessen oder geschätzt werden können.

Die benötigten Daten sind:

- **Materialkenndaten**

Diese Größen beschreiben das hygrothermische Verhalten der zu berechnenden Materialien:

Grundkennwerte:

- **Rohdichte** [kg/m³],
- **Porosität** [m³/m³],
- **spezifische Wärmekapazität trocken** [J/kgK],
- **Wärmeleitfähigkeit trocken** [W/mK],
- **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl trocken** [-]

Feuchtetechnische Erweiterungen:

- **Feuchtespeicherfunktion** [kg/m³]
als Tabelle oder approximiert durch Ausgleichsfeuchtegehalt bei 80% (w_{80}) und freie Sättigung (w_f),
- **Flüssigtransportkoeffizient Saugen** [m²/s]
als Tabelle oder generiert aus dem Wasseraufnahmekoeffizienten (w -Wert),
- **Flüssigtransportkoeffizient Weiterverteilen** [m²/s]
als Tabelle oder generiert aus dem Wasseraufnahmekoeffizienten (w -Wert),

Hilfe_Allgemein_C_UT4

\$ Notwendige Daten

+ 0050

K

Materialkenndaten; Rohdichte; Porosität; Wärmekapazität; Wärmeleitfähigkeit; Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl; Diffusionswiderstandszahl; Feuchtespeicherfunktion; Flüssigtransportkoeffizient; Saugen; Weiterverteilen; Wasseraufnahmekoeffizient; w-Wert; Feuchtezuschlag; Klimadaten; Regen; Sonnenstrahlung; Temperatur; relative Feuchte; Luftdruck; Oberflächenübergangskoeffizienten; Wärmeübergangskoeffizient; diffusionsäquivalente Luftschichtdicke; sd-Wert; Strahlungsabsorptionszahl; Strahlungsemissionszahl; Regenwasserabsorptionszahl; Wasserdampfübergangskoeffizient; Anfangsbedingungen

- ggf. **Wärmeleitfähigkeit feuchteabhängig** [W/mK]
als Tabelle oder generiert aus dem Feuchtezuschlag,
- ggf. **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl feuchteabhängig**
als Tabelle.

Nähere Erläuterungen zur Verwendung dieser Materialkenndaten finden Sie in [Details / Materialkenndaten](#).

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (μ -Wert) und verwandte Größen werden näher erläutert in [Details / Wasserdampfdiffusion](#).

Aus mathematischen Gründen müssen die **Grundkennwerte** als Minimalsatz eingegeben werden; andernfalls sind die Transportgleichungen nicht vollständig definiert.

Die **feuchtetechnischen Erweiterungen** stellen Verfeinerungen des Simulationsmodells dar, die mathematisch nicht notwendig sind, die aber durchaus notwendig für eine volle und angemessene Beschreibung der hygrothermischen Situation sein können.

- Klimadaten

Diese Größen beschreiben die Randbedingungen, die auf die Innen- bzw. Außenoberfläche des Bauteils wirken:

- **Regenlast auf die Oberfläche** [Ltr/m²h],
in Abhängigkeit von Neigung und Orientierung des Bauteils,
- **kurzwellige (Sonnen-) Strahlungsflussdichte** [W/m²],
in Abhängigkeit von Neigung und Orientierung des Bauteils,
- **Temperatur der Außenluft** [°C],
- **relative Feuchte der Außenluft** [0..1],
- **Temperatur der Raumlufte** [°C],
- **relative Feuchte der Raumlufte** [0..1],
- mittlerer **Luftdruck** [hPa] während der Berechnungsperiode,
- **atmosphärische Gegenstrahlung** [W/m²], falls nächtliche Unterkühlung berücksichtigt werden soll.

Für jeden Zeitschritt liest WUFI diese Daten aus einer vorzugebenden Klimadatei. Da die Regenlast und die Strahlungsflußdichte gerichtete Größen sind, müssen sie in Abhängigkeit von Orientierung und Neigung des Bauteils entsprechend umgerechnet werden. Diese Umrechnung kann vor der Rechnung mit einem entsprechenden Tool oder während der Rechnung durch WUFI selbst geschehen.

Im ersteren Fall werden die umgerechneten Klimadaten in eine Datei vom Typ *.KLI geschrieben, im zweiten Fall erwartet WUFI Klimadaten im *.WET oder *.TRY- oder *.DAT- oder *.WAC- oder *.IWC- oder *.WBC-Format.

Falls Sie eigene Wetterdaten mit WUFI verwenden wollen, können Sie solche Dateien selbst erstellen; das dafür jeweils geeignete Format richtet sich nach der Art Ihrer Daten und der Art der beabsichtigten Untersuchungen.

Nähere Erläuterungen zu den Klimadaten und den Dateiformaten finden Sie in [Details / Klimadaten](#).

- Oberflächenübergangskoeffizienten

Diese Größen beschreiben den Zusammenhang zwischen den Klimadaten und den Bedingungen an den Bauteiloberflächen:

- **Wärmeübergangswiderstand** [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

für die innere bzw. äußere Oberfläche. Der Wärmeübergangswiderstand ist das Reziproke des Wärmeübergangskoeffizienten, der manchen Benutzern vertrauter sein wird,

- **diffusionsäquivalente Luftschichtdicke** einer eventuellen Oberflächenbeschichtung (s_d -Wert) [m]
für die innere bzw. äußere Oberfläche;
berücksichtigt ggf. den Diffusionswiderstand dünner Oberflächenschichten wie Farbe, Tapeten etc., aber auch eigener Bauteilkomponenten wie Dampfbremsen etc.,

- **kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl** [-],

- **langwellige Strahlungsemissionszahl** [-]

(muss oft vernachlässigt werden, da meist keine Daten über die Gegenstrahlung von Atmosphäre und Umgebung vorliegen),

- **Regenwasserabsorptionszahl** [-]

berücksichtigt den Umstand, dass bei nicht waagerechten Flächen ein Teil des auftreffenden Regenwassers wegspritzt und nicht mehr für die Wasseraufnahme zur Verfügung steht.

Wasserdampfübergangskoeffizienten werden automatisch aus den Wärmeübergangswiderständen berechnet und müssen nicht (können aber) eigens eingegeben werden.

Nähere Erläuterungen zu diesen Koeffizienten finden Sie in [Details / Oberflächenübergangskoeffizienten](#).

Die Definition der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke und verwandter Größen wird in [Details / Wasserdampfdiffusion](#) näher erläutert.

WUFI bietet Ihnen Listen mit vordefinierten geläufigen Werten für diese Koeffizienten, Sie können aber auch eigene benutzerdefinierte Werte verwenden.

- Anfangsbedingungen

- Das Temperaturfeld muss mit über das Bauteil **konstanten Temperaturwerten** oder einem Temperaturwert für jedes Gitterelement

vorbelegt werden. Im letzteren Fall wird eine separate ASCII-Datei mit dem **Anfangstemperaturprofil** benötigt, das aus Messungen oder einer vorhergehenden Rechnung stammen kann.

- Das Feuchtefeld muss mit einer über das Bauteil **konstanten relativen Feuchte** oder **mittleren Feuchtegehalten für jede Bauteilschicht** oder einem Feuchtegehalt für jedes Gitterelement vorbelegt werden. Im letzteren Fall wird eine separate ASCII-Datei mit dem **Anfangsfeuchteprofil** benötigt.

Nähere Erläuterungen zu den Anfangsbedingungen finden Sie im Hilfetext zum Fenster "[Eingabe | Anfangsbedingungen](#)".

Weiter mit [Wie werden der Bauteilaufbau und das numerische Gitter definiert?](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Wie werden der Bauteilaufbau und das numerische Gitter definiert?

Der Bauteilaufbau beschreibt die eindimensionale Aufeinanderfolge von Materialschichten, die zusammen das Bauteil darstellen. In diesem Schritt definieren Sie zunächst die Abfolge der Schichten, ihre Dicken und ihre Materialkenndaten; dann unterteilen Sie das Bauteil in kleine numerische Gitterelemente.

Die Definition der **Schichtenabfolge** und der **Schichtdicken** geschieht interaktiv in einer [graphischen Darstellung](#) des Bauteilaufbaus, oder alternativ durch Eingabe der entsprechenden Daten in eine [Tabelle](#).

Dann werden die **Materialkenndaten** für jede Schicht **festgelegt**. Sie müssen die Materialkenndaten nicht von Hand eintippen, wenn das betreffende Material in WUFIs [Materialdatenbank](#) enthalten ist. In diesem Fall markieren Sie einfach das Material in der Datenbank und übernehmen alle Daten.

Sie erhalten WUFI mit einer Datenbank, die eine Auswahl verschiedener Materialien zur sofortigen Benutzung enthält. (Bitte beachten Sie aber, dass aufgrund teilweise erheblicher Materialschwankungen und oft unvollständiger oder widersprüchlicher Literaturangaben die hier vorgegebenen Kennwerte nicht als endgültig zu betrachten sind. Sie sollen Ihnen nur als erster Anhaltspunkt dienen.) Sie können die Datenbank durch zusätzliche Materialien [ergänzen](#).

Da eine analytische Lösung der Transportgleichungen nicht möglich ist, muss ein numerisches Verfahren verwendet werden. Dazu ist eine Zerlegung des Bauteils in diskrete **Gitterelemente** notwendig. WUFI kann ein automatisches Gitter erzeugen, das für die meisten Zwecke ausreichen sollte (Sie können zwischen drei Feinheitsstufen des Gitters wählen).

In Ausnahmefällen (z.B. starke Kondensation in einem engen Bereich des Bauteils) kann es notwendig werden, das Gitter von Hand an die Problemstellung anzupassen. Sie können ein Gitter bequem mit WUFIs [Gittereditor](#) erstellen und bearbeiten. Alle Gitterdaten werden in eine [Tabelle](#) eingetragen, in der jede Zeile eine Bauteilschicht darstellt. Sie können die einzelnen Schichten unterteilen und jeweils expandierende oder kontrahierende Gitter definieren, um die lokale Feinheit des Gitters den Bedürfnissen des Simulationsmodells entsprechend maßzuschneidern:

Bei der Diskretisierung werden die Werte der berechneten Variablen in jedem Gitterelement als räumlich konstant angenommen. Daher sollte die Größe der einzelnen Elemente den lokalen Bedingungen gemäß so gewählt werden, dass diese Annahme hinreichend gut erfüllt ist. Die Elemente sollten also dort, wo große

Hilfe_Allgemein_C_UT5

\$ Bauteilaufbau, numerisches Gitter

+ 0060

K

numerisches

Verfahren;Gitter;Gitterelement;Gitteraufbau;Diskretisierung;Gradient;Schicht;Bauteil
schicht;Expansionsfaktor;Expansion;Kontraktion;Datenbank

Temperatur- oder Feuchtegradienten zu erwarten sind, kleiner gewählt werden, während sie in ruhigeren Regionen größer sein dürfen, um Rechenaufwand zu sparen.

Im Allgemeinen wird man steile Gradienten in der Nähe der Oberfläche einer Schicht erwarten, d.h. an den Innen- bzw. Außenoberflächen des Bauteils wegen äußerer Klimaeinwirkungen oder an inneren Materialgrenzflächen wegen Kondensationsvorgängen. In der Mitte einer Schicht werden dagegen geringere Variationen vorkommen.

In einem solchen Fall bietet es sich an, eine Schicht in zwei oder mehr Teilschichten mit den gleichen Materialkennwerten aber unterschiedlichen [Expansionsfaktoren](#) (>1, <1) des Gitters zu zerlegen. Auf diese Weise lässt sich eine gleichmäßige, nicht unbedingt symmetrische Expansion und darauffolgende Kontraktion der Gitterelemente erreichen, die den Erfordernissen in jeder einzelnen Schicht angepasst werden kann.

Weitere Erläuterungen zur Wahl des Gitters finden Sie in [Details / WUFI](#); eine Beschreibung der Vorgehensweise zur Erstellung eines manuellen Gitters im Hilfetext zum Dialog "[Aufbau / Monitorpositionen](#)".

Weiter zu [Wie sind die numerischen Parameter zu wählen?](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Wie sind die numerischen Parameter zu wählen?

Es gibt einige Parameter, die die numerischen Aspekte der Rechnung kontrollieren:

- Sie müssen einen geeigneten **Zeitschritt** vorgeben. Im Regelfall sollte dieser Zeitschritt eine Stunde betragen (weitere Erläuterungen zur Wahl des Zeitschritts finden Sie in [Details / WUFI](#)).
- Für spezielle Zwecke können Sie Berechnungen ohne Berücksichtigung des **Wärme- oder Feuchtetransports** durchführen.

Auf diese Weise können Sie zum Beispiel den Wärmedurchgangswiderstand einer Wand mit kompliziertem Feuchteprofil bestimmen: geben Sie das gewünschte Feuchteprofil als **Anfangsprofil** vor und verhindern Sie durch Abschalten der Feuchtetransportberechnung, dass während der folgenden Rechnung das Profil auseinanderläuft. Führen Sie dann eine Rechnung mit konstantem Klima durch, wobei Sie einen geeigneten Temperaturgradienten über das Bauteil legen; warten Sie, bis sich stationäre Verhältnisse eingestellt haben und werten Sie den sich einstellenden Wärmestrom aus.

- Sie können auch nur den **Kapillartransport** abschalten, um den Anteil der übrigbleibenden Dampfdiffusion am Gesamttransport zu untersuchen.
- Sie können **Latentwärme**effekte (Verdampfungswärme und/oder Schmelzwärme) abschalten, um deren Einfluss auf das Rechenergebnis zu untersuchen.
- Falls bei der Berechnung **numerische** Probleme auftreten, können Sie die Rechnung mit **strengeren Konvergenzkriterien** oder mit **stärkerer Unterrelaxation** wiederholen, wodurch die Rechengeschwindigkeit allerdings herabgesetzt wird.

Nähere Erläuterungen zu möglichen Problemen und deren Behebung finden Sie in "[Ausgabe | Letzter Rechenverlauf](#)" und in [Details / WUFI](#).

Weiter zu [Zusammenfassung: vor der Rechnung](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Hilfe_Allgemein_C_UT6

\$ Wie sind die numerischen Parameter zu wählen?

+ 0070

K_{numerische}

Steuerung;Wärmetransportberechnung;Feuchtetransportberechnung;stationär;instationär;Sondereinstellungen;Kapillartransportberechnung;Diffusionstransportberechnung;Latentwärme;erhöhte Genauigkeit;Konvergenzverbesserung

Zusammenfassung: vor der Rechnung

Hier sehen Sie einen Überblick über alle Schritte, die Sie durchführen müssen, bevor Sie eine Rechnung starten können:

- Sie können optionale Hintergrundinformation über das [Projekt](#) und die [Variante](#) eingeben.
- Sie müssen den [Aufbau](#) des Bauteils (d.h. seine Schichtabfolge und die Schichtdicken) definieren und die [Materialkenndaten](#) für die einzelnen Schichten eingeben. Die Materialkenndaten können Sie von Hand eingeben oder aus der [Materialdatenbank](#) entnehmen. Sie können ggf. auch fertige Bauteile aus der [Konstruktionsdatenbank](#) übernehmen.
- Sie können im Bauteilinnern [Wärme-, Feuchte- und Luftwechselquellen einfügen](#).
- Sie können [Monitorpositionen](#) wählen, für die Sie die [Verläufe](#) der Temperatur und der relativen Feuchte erhalten wollen (Innen- und Außenoberfläche des Bauteils sind automatisch mit Monitorpositionen belegt).
- Sie müssen [Orientierung, Neigung und Höhe](#) des Bauteils festlegen.
- Sie müssen die [Oberflächenübergangskoeffizienten](#) für den Wärme- bzw. Dampf- und Kapillartransport eingeben.
- Sie müssen [Anfangsbedingungen](#) vorgeben, die den anfänglichen Zustand des Temperatur- bzw. Feuchtefeldes beschreiben.
- Sie müssen den [Zeitraum](#) eingeben, für den die Rechnung ausgeführt werden soll. Sie können zusätzliche Zeitpunkte angeben, für die Sie [Profile](#) erhalten wollen.
- Sie können Parameter für die [numerische](#) Steuerung ändern.
- Sie müssen die [Klimabedingungen](#) auf beiden Seiten des Bauteils definieren, indem Sie eine Datei mit Wetterdaten auswählen, oder indem Sie Innenklimaverläufe aus einer solchen Datei ableiten lassen, oder indem Sie schematische Sinusverläufe für die Klimadaten spezifizieren.
- Zur Kontrolle können Sie Datenblätter mit dem Bauteilaufbau, den Materialkenndaten und sonstigen Eingaben anzeigen lassen.

Hilfe_Allgemein_C_UT7
\$ Zus.fssg.: vor der Rechnung
+ 0080
K

Projekt;Variante;Bauteilaufbau;Aufbau;Bauteil;Schicht;Materialdaten;Materialkenndaten;Materialdatenbank;Konstruktionsdatenbank;Monitorposition;Orientierung;Neigung;Höhe;Oberflächenübergangskoeffizienten;Anfangsbedingungen;Berechnungszeitraum;Profile;numerische Steuerung;Klimadatei;Klima (außen);Außenklima;Klima (innen);Innenklima;Datenblatt;speichern;Rechnung

- Zur Sicherheit sollten Sie die bisherigen Eingaben in der Projektdatei abspeichern (*.W4P).
- Jetzt können Sie die Rechnung starten.

Weiter zu [Wie wird die Rechnung durchgeführt?](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Wie wird die Rechnung durchgeführt?

Wenn Sie alle notwendigen Daten eingegeben (und abgespeichert) haben, können Sie die Rechnung starten. Dazu

- wählen Sie den Menüpunkt "Rechnen | Rechnung starten", um die Rechnung für die aktuelle Variante zu starten, oder
- wählen Sie den Menüpunkt "Rechnen | Alle Rechnungen starten", um die Berechnung aller Varianten im Projekt der Reihe nach zu starten, oder
- wählen Sie den Menüpunkt "Rechnen | Rechnung mit Filmdarstellung starten" um den [Film-Dialog](#) zu öffnen und klicken Sie auf den Button "Start".

In den beiden ersteren Fällen sehen Sie auf dem Bildschirm nur einen Fortschrittsbalken, an dem Sie die Rechendauer abschätzen können, im letzteren Fall zeigt WUFI Ihnen für jeden Rechenschritt die neu berechneten Profile an, so dass Sie die Vorgänge im Bauteil gewissermaßen als Film betrachten können. Diese Filmausgabe ist natürlich etwas langsamer, so dass Sie langwierige Rechnungen ohne Filmdarstellung durchführen sollten; andererseits können Sie sofort erkennen, was in der Rechnung geschieht.

Während der Rechnung durchläuft WUFI, ausgehend vom vorgegebenen Ausgangszustand, in diskreten Zeitschritten der gewählten Größe die zeitliche Entwicklung des Temperatur- bzw. Feuchtefeldes, wobei es die veränderlichen Randbedingungen aus der Klimadatei liest und bei jedem Schritt bestimmte berechnete Daten in eine Ergebnisdatei schreibt. Ein Fortschrittsbalken erlaubt Ihnen, die verbleibende Rechenzeit abzuschätzen.

Die Rechnung kann jederzeit durch Klicken auf den Stop-Button abgebrochen werden. Die bis dahin vorhandenen Ergebnisse bleiben erhalten und können ausgewertet werden.

Wenn Sie mit Filmdarstellung gerechnet haben, können Sie nach Beendigung der Rechnung den Filmbildschirm mit "Schließen" beenden.

Nach der Rechnung öffnet sich das Fenster "[Ausgabe | Letzter Rechenverlauf](#)", das Ihnen eine kurze Zusammenfassung der Rechenergebnisse liefert. Dieses Fenster enthält auch [Informationen](#), die Sie überprüfen sollten, um sicherzugehen, daß kein schwerwiegender [Konvergenzfehler](#) aufgetreten ist.

Wichtig: Wenn Sie die Ergebnisse behalten wollen, müssen Sie sie jetzt in die Projektdatei schreiben, indem Sie einfach die Projektdatei nochmals **abspeichern** (vergewissern Sie sich, daß die [Optionen](#) so gesetzt sind, daß in der Projektdatei sowohl Eingabedaten als auch Rechenergebnisse abgespeichert werden.)

Langwierige Rechnungen (z.B. Parameterstudien) können auch automatisiert im [Batch-Betrieb](#) abgearbeitet werden.

Hilfe_Allgemein_C_UT8

\$ Wie wird die Rechnung durchgeführt?

+ 0090

K

Rechnung;Film;Rechenzeit;Abbruch;Rechenverlauf;Konvergenzfehler;Wasserbilanz; Gitter;numerische Steuerung;speichern;Batch;Batch-Betrieb

Weiter zu [Wie sehe ich mir die Ergebnisse an?](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Wie sehe ich mir die Ergebnisse an?

Nach der Rechnung (haben Sie ans nochmalige Abspeichern gedacht?) können Sie Grafiken anzeigen lassen, in welchen Verläufe und Profile als Kurven dargestellt sind:

- die [Schnellgrafiken](#) erlauben einen schnellen Überblick über die Ergebnisse, insbesondere auch im Vergleich zweier Varianten,
- die druckfertig aufbereiteten [Ergebnisgrafiken](#) können auf vielfältige Weise bearbeitet, umkonfiguriert und Ihren Wünschen angepasst werden.

Sie können auch den Film nach der Rechnung in Ruhe nochmals betrachten. Außerdem erstellt eine Exportfunktion auf Wunsch eine Filmdatei, die mit einem separaten Filmbetrachter vorgeführt werden kann

Schließlich können Sie die Ergebnisdaten in ASCII-Dateien [exportieren](#) und mit Grafik- oder Auswertesoftware Ihrer Wahl weiterverarbeiten.

Weiter zu [Details / Materialkenndaten](#)

Zum Themenanfang: [Wie verwende ich WUFI?](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Hilfe_Allgemein_C_UT9

\$ Wie sehe ich mir die Ergebnisse an?

+ 0100

K Ergebnisse;Verläufe;Profile;Grafiken;Kurven;Film

Details / Materialkenndaten

Die Wärme- und Feuchteströme, die sich im Bauteil einstellen, hängen nicht nur von seiner Vorgeschichte und den Randbedingungen ab, sondern wesentlich auch von den Leit- und Speicherfähigkeiten der einzelnen Materialien. Die folgenden Erläuterungen zu den von WUFI benötigten Daten sollen Ihnen helfen, die den Berechnungen zugrundegelegten physikalischen Prinzipien besser zu verstehen.

Einige Grundkennwerte sind für die Rechnung unverzichtbar, andere Kennwerte sind je nach Material und Rechnungszweck optional:

[Details / Grundkennwerte](#)

[Details / Feuchtespeicherfunktion](#)

[Details / Flüssigtransportkoeffizient Saugen, Weiterverteilen](#)

[Details / Wärmeleitfähigkeit feuchteabhängig](#)

[Details / Diffusionswiderstandszahl feuchteabhängig](#)

Einige Materialien müssen gesondert behandelt werden:

[Details / Luftschichten](#)

[Details / Folien](#)

Weiter zu [Details / Grundkennwerte](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Grundkennwerte

Diese Materialkennwerte müssen als Minimum vorhanden sein, damit eine Rechnung überhaupt möglich ist:

- **Rohdichte** [kg/m³],
dient zur Umrechnung der massenspezifischen in die volumenspezifische Wärmekapazität.

Die Rohdichte ρ_{roh} ist das Verhältnis der Masse m des Probenstücks zum Gesamtvolumen V_{ges} der Probe: $\rho_{\text{roh}} = m / V_{\text{ges}}$.

Die Reindichte ρ_{rein} ist dagegen das Verhältnis der Masse m des Probenstücks zum Volumen, das von der Materialmatrix selbst eingenommen wird: $\rho_{\text{rein}} = m / (V_{\text{ges}} - V_{\text{poren}}) = m / V_{\text{rein}}$.

Die Rohdichte wird für die meisten Baumaterialien bekannt sein. Falls nicht, so kann sie leicht gemessen werden. Da sie nur in die für die Rechnung benutzte spezifische Wärmekapazität eingeht und hygrothermische Simulationen in der Regel nicht sehr empfindlich von deren Wert abhängen, muß sie nicht mit großer Genauigkeit vorliegen.

- **Porosität** [m³/m³],
aus ihr ergibt sich der **maximale Wassergehalt** w_{max} (durch Multiplikation mit $\rho_{\text{wasser}} = 1000 \text{ kg/m}^3$).

Da die meisten Rechnungen nicht sehr empfindlich vom genauen Wert für den maximalen Wassergehalt abhängen (man wird selten Wassergehalte oberhalb der **freien Sättigung** antreffen), genügt es in der Regel, die Porosität zu schätzen, wenn für das betreffende Material kein Wert vorliegt.

Die Porosität kann aus der Reindichte ρ_{rein} und der Rohdichte ρ_{roh} geschätzt werden:

$$\rho_{\text{roh}} = m / V_{\text{ges}} = m / (V_{\text{rein}} + V_{\text{poren}}) = \rho_{\text{rein}} / (1 + V_{\text{poren}}/V_{\text{rein}}) = \rho_{\text{rein}} * V_{\text{rein}}/V_{\text{ges}} = \rho_{\text{rein}} * (1 - V_{\text{poren}}/V_{\text{ges}}) = \rho_{\text{rein}} * (1 - \text{Porosität}), \text{ und somit}$$

$$\text{Porosität} = 1 - \rho_{\text{roh}} / \rho_{\text{rein}}$$

ρ_{rein} wiederum kann durch Vergleich mit anderen Materialien geschätzt werden, welche dieselbe Zusammensetzung und nur eine andere Rohdichte haben, sofern deren Rohdichte und Porosität bekannt sind. Beispiel: ein Porenbetonblock mit $\rho_{\text{roh}} = 600 \text{ kg/m}^3$ und Porosität = 0.72 hat $\rho_{\text{rein}} = 600 / (1 - 0.72) \text{ kg/m}^3 = 2140 \text{ kg/m}^3$. Die Porosität eines Porenbetonblocks mit $\rho_{\text{roh}} = 400 \text{ kg/m}^3$ kann daher abgeschätzt werden als Porosität = $1 - 400/2140 = 0.81$.

Hilfe_Allgemein_C_UT100a

\$ Details / Grundkennwerte

+ 1020

K Grundkennwerte;Rohdichte;Porosität;maximaler Wassergehalt;Wärmekapazität;Wärmeleitfähigkeit;Diffusionswiderstandszahl

- **Wärmekapazität** [J/kgK],
die massenspezifische Wärmekapazität des trockenen Materials.

Die Verwendung der *massenspezifischen* Wärmekapazität bietet den Vorteil, daß dieser Wert nur von der chemischen Zusammensetzung des Materials abhängt, nicht aber von seiner Porosität. So haben beispielsweise Porenbetonblöcke mit Rohdichten von 400 kg/m³ und 600 kg/m³ dieselbe massenspezifische Wärmekapazität.

Zur Umrechnung in die volumenspezifische Wärmekapazität (wie sie in den Transportgleichungen auftritt), multipliziert WUFI die massenspezifische Wärmekapazität mit der Rohdichte.

Richtwerte sind 850 J/kgK für mineralische Materialien und 1500 J/kgK für organische Materialien. In den meisten Fällen werden diese Richtwerte ausreichend sein, da hygrothermische Simulationen in der Regel nicht sehr empfindlich von dieser Größe abhängen.

Die zusätzliche Wärmekapazität von eventuell im Porenraum enthaltener Feuchtigkeit wird von WUFI automatisch berücksichtigt.

- **Wärmeleitfähigkeit trocken** [W/mK],
die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs im trockenen Zustand. Eine **Feuchteabhängigkeit** kann ggf. optional berücksichtigt werden.

Bitte beachten Sie, daß - je nach Meßmethode - experimentell bestimmte Wärmeleitfähigkeiten diffusionsoffener Materialien den Beitrag von Dampftransport mit Phasenwechsel beinhalten können (d.h. Feuchte verdunstet auf einer Seite der Probe und kondensiert an der anderen Seite, wodurch im Endeffekt Latentwärme transportiert wird, ohne daß ein entsprechender Wärmestrom durch die Probe infolge *Wärmeleitung* aufträte). Da WUFI diesen thermischen Effekt des Dampftransports explizit berücksichtigt, sollte er möglichst in der Wärmeleitfähigkeit nicht bereits enthalten sein. Es ist allerdings in der Regel schwierig oder gar unmöglich, diesen Effekt aus den gemessenen Daten zu eliminieren.

Darüber hinaus können tabellierte *Rechenwerte*, wie z.B. die in der DIN 4108 angeführten, bereits einen Zuschlag enthalten, der den Beitrag eines typischen Feuchtegehaltes berücksichtigt. Sie sind dann streng genommen keine Trockenwerte mehr.

Wenn Sie die Rechnung mit einer konstanten (d.h. nicht feuchtegehaltsabhängigen) Wärmeleitfähigkeit durchführen wollen (z.B. weil Sie über keine detaillierten Daten zur Feuchteabhängigkeit verfügen), so können Sie diese Rechenwerte verwenden und so die Feuchteabhängigkeit wenigstens in erster Näherung berücksichtigen. Falls Sie jedoch explizit eine Tabelle mit **feuchteabhängigen** Wärmeleitfähigkeiten verwenden, sollten Sie sicherstellen, daß der Wert für den Feuchtegehalt = 0 auch wirklich der Trockenwert ist, da der Feuchtegehalt sonst doppelt berücksichtigt wird.

Andererseits: Hygrothermische Simulationen (insbesondere die resultierenden *Feuchtegehalte* und -verteilungen) hängen in der Regel nicht sehr empfindlich von den genauen Werten der Wärmeleitfähigkeiten ab, so daß der Unterschied meist zu vernachlässigen sein wird, sofern Sie nicht speziell an den

Wärmeströmen interessiert sind.

- **Diffusionswiderstandszahl trocken [-]**,
die Diffusionswiderstandszahl (μ -Wert) des Baustoffs im trockenen Zustand. Der μ -Wert gibt an, um welchen Faktor der Diffusionswiderstand im Material höher ist als in ruhender Luft. Eine [Feuchteabhängigkeit](#) kann ggf. optional berücksichtigt werden.

Die Definition des μ -Werts und sein Zusammenhang mit der im englischen Sprachraum stattdessen verwendeten Permeabilität werden in [Details / Wasserdampfdiffusion](#) näher erläutert.

Bitte beachten Sie: selbst wenn Sie keinen [feuchteabhängigen](#) μ -Wert verwenden, wird WUFI ihn bei Wassergehalten über der freien Sättigung w_f als feuchteabhängig behandeln: WUFI reduziert ihn proportional zum Feuchteüberschuß über w_f , bis er bei maximaler Sättigung w_{max} den Wert $\mu=0$ erreicht. Damit wird – in einer ersten Näherung – berücksichtigt, daß bei sehr hohen Wassergehalten auch die großen Kapillaren zunehmend mit Wasser gefüllt sind und nicht mehr zum Dampftransport beitragen können.

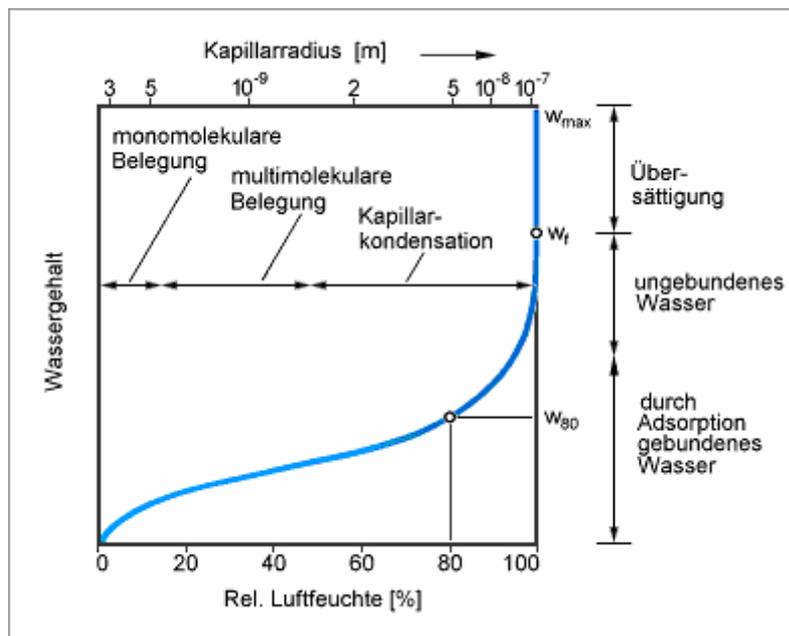
Weiter zu [Details / Feuchtespeicherfunktion](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Feuchtespeicherfunktion

Die Feuchtespeicherfunktion

Ein poröser hygroskopischer Stoff bindet an den inneren Oberflächen seines Porensystems so lange Wassermoleküle, bis er einen dem Feuchtezustand der umgebenden Luft entsprechenden **Ausgleichswassergehalt** erreicht. Dabei treten ab einer relativen Luftfeuchte von ca. 0.6 - 0.8 wegen der Dampfdruckerniedrigung in den feinen Kapillaren zusätzlich Kondensationserscheinungen auf, die einen deutlichen Anstieg der Ausgleichsfeuchte zur Folge haben.



Ein kapillaraktiver Stoff in Kontakt mit Wasser kann so lange Wasser aufsaugen, bis er seine **freie Sättigung** w_f erreicht. Dieser Wassergehalt entspricht der Feuchtespeicherfunktion bei einer relativen Feuchte von 1 (=100%). Wegen eingeschlossener Luftinseln ist er jedoch geringer als der durch die **Porosität** bestimmte **maximale Wassergehalt** w_{max} . Über w_f hinausgehende Wassergehalte können z.B. durch Kondensation im Temperaturgefälle erreicht werden (etwa in Dämmstoffen; diese sind häufig nicht kapillaraktiv und haben daher $w_f \approx 0$).

Hilfe_Allgemein_C_UT100b

\$ Details / Feuchtespeicherfunktion

+ 1030

K

Feuchtespeicherfunktion;hygroskopisch;Ausgleichswassergehalt;Kapillarkondensation;freie Sättigung;maximaler Wassergehalt;Sorptionsisotherme;Saugspannung;Kapillardruck;Kapillarspannung;Hysterese;Absorption (Feuchtespeicherfunktion);Desorption (Feuchtespeicherfunktion);praktischer Feuchtegehalt;approximieren;Approximation;Feuchtespeicherfunktion nichthygroskopischer Materialien;Schichtgrenze;idealer Feuchteübergang;Übergangswiderstand (Schichtgrenzen)

Die freie Sättigung w_f gehört zu den Standardstoffkennwerten und ist daher für die meisten Materialien bekannt. Ebenfalls zu den Standardstoffkennwerten gehört der **'praktische Feuchtegehalt'** w_{80} , der der Ausgleichsfeuchte bei einer relativen Feuchte von 0.8 entspricht.

Der Einfluss der Temperatur auf die Feuchtespeicherfunktion ist gering und wird in WUFI vernachlässigt.

Messung der Feuchtespeicherfunktion

Die Feuchtespeicherfunktion kann messtechnisch zusammengesetzt werden aus Sorptionsisothermen (bis ~ 0.9 r.F.) und Saugspannungsmessungen (über 0.95 r.F.) [1]. Die Hysterese zwischen Absorptions- und Desorptionsisothermen ist meistens so gering ausgeprägt, dass die Verwendung der Absorptionsisotherme ausreichend ist. Ggf. kann eine mittlere Sorptionsisotherme verwendet werden. Bei den Saugspannungsmessungen handelt es sich messtechnisch bedingt um Desorptionswerte.

Die Feuchtespeicherfunktion in WUFI

In WUFI wird die Feuchtespeicherfunktion durch eine Tabelle beschrieben, die den relativen Feuchten die entsprechenden Feuchtegehalte zuordnet. Die Tabelle kann eine beliebige Anzahl von Einträgen enthalten, zwischen denen linear interpoliert wird.

Beispiel: Sander Sandstein

φ [-]	w [kg/m ³]
0	0
0.1	4.4
0.3	10.2
0.65	15.2
0.8	19.0
0.91	30.0
0.95	45.9
0.99	61.7
0.995	75.0
1.0	130.0

Die Saugspannungsmessungen würden eine noch feinere Unterteilung der Tabelle bei hohen Feuchten zulassen, die Kurve schmiegt sich dann aber bei $\varphi \approx 1$ so eng an die Ordinate, dass die dadurch bedingte starke Steigung der Feuchtespeicherfunktion zu numerischen Problemen führen kann. Soll der Flüssigtransport über die Schichtgrenze zweier kapillar miteinander verbundener kapillar leitender Materialien berechnet werden, so ist jedoch eine möglichst detaillierte Kenntnis der Feuchtespeicherfunktion in diesem Bereich nötig [2]. (Bei nicht idealem Kontakt ist ein zusätzlicher Übergangswiderstand zu berücksichtigen [2]).

WUFI läßt Wassergehalte im Übersättigungsbereich oberhalb der freien Sättigung zu, da sie unter Kondensationsbedingungen durchaus vorkommen können. In diesem Bereich gibt es allerdings keinen eindeutigen funktionalen Zusammenhang zwischen der relativen Feuchte und dem Wassergehalt: die relative Feuchte ist

immer 1 und der Wassergehalt variiert zwischen w_f und w_{max} .

Der Wassergehalt hängt daher im Übersättigungsbereich nicht von der relativen Feuchte ab. Er wird vielmehr von den Randbedingungen bestimmt: er erhöht sich unter Kondensationsbedingungen und vermindert sich unter Verdunstungsbedingungen. Um diese Feuchtegehalte oberhalb von w_f behandeln zu können, erweitert WUFI intern die Tabelle jedes Materials um einen zusätzlichen Eintrag:

φ [-]	w [kg/m ³]
...	...
1.01	w_{max}

Relative Feuchten zwischen 1 und 1.01 sind natürlich nur fiktiv, aber sie erlauben es WUFI, jedem Wassergehalt eine eindeutige relative Feuchte zuzuordnen, wie die Transportgleichungen es verlangen.

Während der Rechnung führt WUFI Iterationen durch, in deren Verlauf es kleine Bereiche der tabellierten Kurve 'absucht'. Allzu scharfe Knickpunkte in den Kurven können dabei unter ungünstigen Umständen das Konvergenzverhalten der Rechnung beeinträchtigen. Glätten Sie in einem solchen Fall die Kurve durch Einfügen zusätzlicher Punkte, bedenken Sie aber auch, dass eine übermäßige Anzahl von Tabelleneinträgen das Suchen in der Tabelle etwas verlängert.

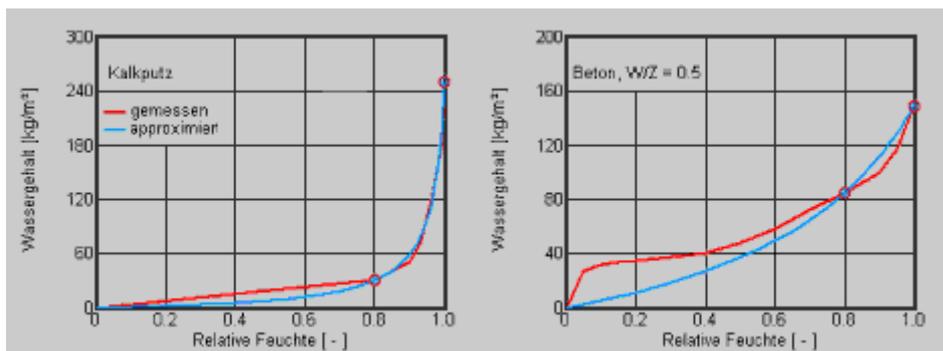
Approximation der Feuchtespeicherfunktion

Falls sich die Feuchtespeicherfunktion hinreichend genau durch die Funktion

$$w = w_f \cdot \frac{(b-1) \cdot \varphi}{b - \varphi}$$

w	[kg/m ³]	:	Feuchtegehalt
w_f	[kg/m ³]	:	Feuchtegehalt bei freier Sättigung
φ	[-]	:	Relative Feuchte
b	[-]	:	Anpassungsparameter,

darstellen lässt, genügt die Angabe von w_{80} und w_f , um die Feuchtespeicherfunktion für WUFI eindeutig festzulegen (dies wird 'Approximation der Feuchtespeicherfunktion' genannt). Die Voraussetzung ist allerdings nicht für alle Materialien erfüllt (z.B. Beton).



WUFIs interne Feuchtespeicherfunktion

Bei nicht hygroskopischen Materialien (im Wesentlichen Dämmstoffe, aber auch [Luftschichten](#)) wäre die Feuchtespeicherfunktion im Bereich $\varphi = 0..1$ mehr oder weniger null, während sie bei $\varphi = 1$ unbestimmt zwischen null und w_{\max} variieren würde. Aufgrund numerischer Erfordernisse weist WUFI jedoch allen jenen Materialien eine (niedrige) Feuchtespeicherfunktion zu, für die vom Benutzer keine vorgegeben wurde.

Sie werden daher als Ergebnis einer WUFI-Rechnung auch für solche Materialien (geringe) Feuchtegehalte erhalten, für die Sie gar keine Feuchtespeicherfunktion definiert haben. Diese Feuchtegehalte sind 'künstlich' und sollten nur bedingt zur Auswertung herangezogen werden. Erst wenn die Feuchtegehalte die 'freie Sättigung' von ca. $0.05 \cdot w_{\max}$ deutlich übersteigen, handelt es sich um Kondensationsvorgänge, die von der gewählten Feuchtespeicherfunktion unabhängig sind.

Weitere Erläuterungen zu speziellen Details bezüglich der Feuchtespeicherfunktion finden Sie unter '[Fragen und Antworten](#)'.

Literatur:

- [1] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Diss. Universität Stuttgart (1995)
- [2] Holm, A., Krus, M., Künzel, H.M.: Feuchtetransport über Materialgrenzen im Mauerwerk. Bauinstandsetzen 2 (1996), H. 5, 375 - 396.

Weiter mit [Details / Flüssigtransportkoeffizient Saugen, Weiterverteilen](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

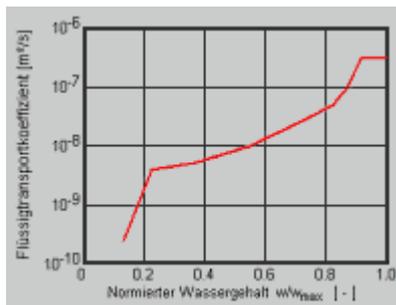
Details / Flüssigtransportkoeffizient Saugen, Weiterverteilen

Der in kapillarporösen Materialien maßgebliche Feuchtetransportmechanismus ist der kapillare Flüssigtransport. Obwohl es sich eigentlich um eine Strömungserscheinung handelt, läßt sich der Flüssigtransport in den Porenräumen mit für bauphysikalische Zwecke hinreichender Genauigkeit durch einen Diffusionsansatz beschreiben:

$$g_w = -D_w(w) \cdot \text{grad } w$$

g_w	[kg/m ² s]	:	Flüssigtransportstromdichte
w	[kg/m ³]	:	Wassergehalt
D_w	[m ² /s]	:	Flüssigtransportkoeffizient,

wobei der Flüssigtransportkoeffizient D_w in der Regel stark wassergehaltsabhängig ist. Die Eignung dieses Diffusionsansatzes beruht vor allem darauf, dass er die Wurzelzeitabhängigkeit eines kapillaren Saugvorgangs richtig wiedergibt.



Der Flüssigtransportkoeffizient ist allerdings keine reine Materialeigenschaft - er hängt neben dem Material auch von den Randbedingungen ab [1].

Der **Flüssigtransportkoeffizient Saugen D_{ws}** beschreibt die kapillare Wasseraufnahme bei vollständiger Benetzung der Bauteiloberfläche. Dies entspricht in bauphysikalischem Zusammenhang der Berechnung des Bauteils oder einem Wasseraufnahmeversuch. Der Saugvorgang wird von den größeren Kapillaren bestimmt, da sie zwar eine geringere Saugkraft als die kleinen Kapillaren besitzen, aber auch einen noch stärker verminderten Strömungswiderstand.

Der **Flüssigtransportkoeffizient Weiterverteilen D_{ww}** beschreibt die Umverteilung des aufgesaugten Wassers, wenn nach Beendigung der Benetzung kein neues Wasser mehr eindringt und das vorhandene Wasser sich zu verteilen beginnt. Im Bauteil entspricht dies der Feuchtewanderung in Abwesenheit von Regen. Das Weiterverteilen wird von den kleineren Kapillaren bestimmt, da sie mit ihrer größeren Saugkraft die großen Kapillaren leersaugen.

Hilfe_Allgemein_C_UT100c

\$ Details / Flüssigtransportkoeffizient Saugen, Weiterverteilen

+ 1040

K

Flüssigtransportkoeffizient;Saugen;Weiterverteilen;kapillar;Diffusionsansatz;Wurzelzeit;Wasseraufnahmekoeffizient;w-Wert;generieren

Da das Weiterverteilen in den kleinen Kapillaren mit ihrem höheren Strömungswiderstand langsamer abläuft, ist der zugeordnete Flüssigtransportkoeffizient in der Regel deutlich kleiner als für das Saugen.

WUFI benutzt daher für die kapillaraktiven Materialien je zwei Flüssigtransportkoeffizienten in Tabellenform, die je nach Randbedingung (Regen / kein Regen) in der Rechnung zur Anwendung kommen. Beide Koeffizienten werden jeweils durch eine eigene Tabelle definiert.

Die Flüssigtransportkoeffizienten hängen in grober Näherung etwa exponentiell vom Wassergehalt ab. Zwischen den Tabelleneinträgen wird daher logarithmisch interpoliert (d.h. linear in halblogarithmischer Darstellung; vgl. die ausdrückbaren Materialdatenblätter).

Eine Tabelle sollte stets mit dem Wertepaar (0 ; 0) beginnen; der nächste Eintrag ist dann der für den Wassergehalt, bis zu dem nur vernachlässigbarer Flüssigtransport stattfindet, die Flüssigtransportkoeffizienten also konstant null sind. Die logarithmische Interpolation sorgt automatisch dafür, dass die interpolierten Koeffizienten bis zu diesem Wassergehalt stets den Wert null annehmen.

Der letzte Eintrag wird für alle höheren Wassergehalte bis w_{max} verwendet. Zwar findet bei Wassergehalten oberhalb der freien Sättigung kaum noch eine Kapillarleitung statt [2], aber es können doch Transportmechanismen auftreten, die sich evtl. näherungsweise durch endliche Flüssigtransportkoeffizienten erfassen lassen (Strömungen durch Gravitation, durch Druckunterschiede etc.).

Daher bietet WUFI die Möglichkeit, auch für diese Wassergehalte die Flüssigtransportkoeffizienten frei zu wählen. In der Regel werden Wassergehalte in diesem rechnerisch schwer erfassbaren Bereich ohnehin selten auftreten. Durch Nullsetzen des letzten Eintrags kann die Kapillarleitung in den darüberliegenden Feuchtebereichen unterbunden werden.

Beispiel: Baumberger Sandstein

w [kg/m ³]	D _{ws} [m ² /s]
0	0
31	2.5E-10
52	3.9E-9
84	5.2E-9
126	1.0E-8
168	2.8E-8
189	5.0E-8
200	1.0E-7
210	3.0E-7

Diese Tabelle bedeutet unter Anderem, dass

- unter einem Wassergehalt von 31 kg/m³ keine Kapillarleitung auftritt,
- bei einem Wassergehalt von 40 kg/m³ mit einem Flüssigtransportkoeffizienten Saugen von 8.1E-10 m²/s gerechnet wird (interpoliert) und
- für alle Wassergehalte über 210 kg/m³ ein Flüssigtransportkoeffizient Saugen von 3.0E-7 m²/s verwendet wird.

Während der Rechnung führt WUFI Iterationen durch, in deren Verlauf es kleine Bereiche der tabellierten Kurve 'absucht'. Allzu scharfe Knicke in den Kurven können dabei unter ungünstigen Umständen das Konvergenzverhalten der Rechnung beeinträchtigen. Glätten Sie in einem solchen Fall die Kurve durch Einfügen zusätzlicher Punkte, bedenken Sie aber auch, dass eine übermäßige Anzahl von Tabelleneinträgen das Suchen in der Tabelle etwas verlängert.

Leider stehen nur für wenige Materialien genau gemessene Flüssigtransportkoeffizienten zur Verfügung. Es wäre daher wünschenswert, diese aus Standardstoffkennwerten zumindest **abschätzen** zu können.

Der Anstieg von D_{ws} mit dem Wassergehalt lässt sich in vielen Fällen angenähert durch eine Exponentialfunktion darstellen, die sich bei den meisten mineralischen Baustoffen über etwa drei Zehnerpotenzen erstreckt. Unter diesen Voraussetzungen besteht zwischen D_{ws} und dem Wasseraufnahmekoeffizienten A näherungsweise folgende Beziehung:

$$D_{ws}(w) = 3.8 \cdot (A / w_f)^2 \cdot (w / w_f)^{-1} \cdot 1000$$

D_{ws}	[m ² /s]	:	Flüssigtransportkoeffizient für den Saugvorgang
A	[kg/m ² √s]	:	Wasseraufnahmekoeffizient
w	[kg/m ³]	:	Wassergehalt
w_f	[kg/m ³]	:	freie Wassersättigung

Auf diese Weise können Sie von WUFI automatisch aus dem Wasseraufnahmekoeffizienten eine Tabelle mit geschätzten Flüssigtransportkoeffizienten Saugen generieren lassen. WUFI generiert dann aus der Feuchtespeicherfunktion, dem Wasseraufnahmekoeffizienten und obiger Formel eine Tabelle mit folgenden Einträgen:

w [kg/m ³]	D_{ws} [m ² /s]
0	0
w_{80}	$D_{ws}(w_{80})$
w_f	$D_{ws}(w_f)$

Analog können Sie auch eine Tabelle für den Flüssigtransportkoeffizienten Weiterverteilen generieren. WUFI erzeugt dann folgende Tabelle:

w [kg/m ³]	D_{ww} [m ² /s]
0	0
w_{80}	$D_{ws}(w_{80})$
w_f	$D_{ws}(w_f)/10$

Es sei nochmals betont, dass die obige Beziehung nur eine grobe Abschätzung darstellt, die sich in vielen Fällen recht gut bewährt, die aber keinesfalls für alle Materialien brauchbar sein muss. Insbesondere ist ggf. mit Abweichungen in der *Form* der Saugprofile zu rechnen. Das Generieren ist lediglich als Hilfestellung

gedacht, auf die Sie sich nicht blind verlassen sollten. Künftige WUFI-Versionen werden voraussichtlich weiter verfeinerte Methoden benutzen.

Bitte beachten Sie, daß der Wasseraufnahmekoeffizient hier in den SI-Einheiten $[\text{kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{s}}]$ einzugeben ist, während in der einschlägigen Norm die Einheit $[\text{kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{h}}]$ verwendet wird. Dividieren Sie normgemäße Werte (z.B. $2.6 \text{ kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{h}}$ für Baumberger Sandstein) durch 60, um SI-Einheiten zu erhalten ($0.043 \text{ kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{s}}$).

Literatur:

- [1] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Diss. Universität Stuttgart (1995)
- [2] Krus, M., Künzel H.M.: Flüssigtransport im Übersättigungsbereich. IBP-Mitteilung 22 (1995), Nr. 270.

Weiter mit [Details / Wärmeleitfähigkeit feuchteabhängig](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Wärmeleitfähigkeit feuchteabhängig

Die **Wärmeleitfähigkeit des trockenen Baustoffs** ist als Grundkennwert unverzichtbar. Wollen Sie darüber hinaus auch die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Feuchtegehalt berücksichtigen, können Sie optional eine Tabelle mit entsprechenden Daten angeben. WUFI interpoliert linear zwischen den Tabelleneinträgen.

Falls Ihnen eine lineare Variation der Wärmeleitfähigkeit mit dem Feuchtegehalt genügt, können Sie auch eine zweizeilige Tabelle generieren lassen, indem Sie den **Feuchtezuschlag** angeben. Die Interpolation in dieser Tabelle entspricht dann der Formel

$$\lambda(w) = \lambda_o \cdot (1 + b \cdot w / \rho_s)$$

$\lambda(w)$	[W/mK]	:	Wärmeleitfähigkeit des feuchten Baustoffes
λ_o	[W/mK]	:	Wärmeleitfähigkeit des trockenen Baustoffes
ρ_s	[kg/m³]	:	Rohdichte des trockenen Baustoffes
b	[%/M.-%]	:	Feuchtezuschlag zur Wärmeleitfähigkeit

Der Feuchtezuschlag b gibt an, um wieviel Prozent die Wärmeleitfähigkeit pro Masseprozent Feuchte steigt. Seine Größe wird von der Art des Baustoffes bestimmt; sie ist jedoch bei hygroskopischen Baustoffen weitgehend unabhängig von deren Rohdichte.

Beispiele:

Baustoff	Rohdichte [kg/m³]	λ [W/mK]	b [%/M.-%]
Porenbeton	400-800	0.09-0.19	4
Kalksandstein	1800	0.7	8
Blähton-, Bimsbeton	1400-1800	0.5-1.0	4
Leichtbeton mit EPS-Zuschlag	300-900	0.07-0.28	3
Normalbeton	2300	1.3-1.5	8
Holz	400-700	0.08-0.15	1.5

Bei organischen Dämmstoffen besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Wärmeleitfähigkeit im feuchten Zustand und dem Wassergehalt.

Hilfe_Allgemein_C_UT100d

\$ Details / Wärmeleitfähigkeit feuchteabhängig

+ 1050

K Wärmeleitfähigkeit;generieren;Feuchtezuschlag;Phasenwechsel;Latentwärme;

Unter 'Wärmeleitung feuchter Baustoffe' wird hier ausschließlich der Einfluss ortsgebundenen Wassers auf den Wärmetransport verstanden. Wasserdampfdiffusion mit Phasenwechsel (Verdunsten und Kondensieren von Wasser) trägt zwar auch zum Wärmetransport bei, wird aber durch entsprechende Quellterme in den Transportgleichungen gesondert berücksichtigt. Da allerdings bei den Standardmessungen dieser Einfluss der Wasserdampfdiffusion mit erfasst *wird*, sind Ergebnisse von Messungen im Plattenapparat für diffusionsoffene Materialien, wie z.B. Mineralwolle, nur unter Vorbehalt zu verwenden.

Während der Rechnung führt WUFI Iterationen durch, in deren Verlauf es kleine Bereiche der tabellierten Kurve 'absucht'. Allzu scharfe Knicke in den Kurven können dabei unter ungünstigen Umständen das Konvergenzverhalten der Rechnung beeinträchtigen. Glätten Sie in einem solchen Fall die Kurve durch Einfügen zusätzlicher Punkte, bedenken Sie aber auch, dass eine übermäßige Anzahl von Tabelleneinträgen das Suchen in der Tabelle etwas verlängert.

Bitte beachten Sie, daß manche Quellen (z.B. die DIN 4108) *Rechenwerte* angeben, die bereits einen dem praktischen Wassergehalt entsprechenden Zuschlag enthalten. Solche Wärmeleitfähigkeiten sind also streng genommen keine Trockenwerte.

Wenn Sie eine Rechnung mit konstanter (d.h. nicht feuchteabhängiger) Wärmeleitfähigkeit durchführen wollen (etwa weil Sie gar keine detaillierten Daten über die Feuchteabhängigkeit haben), können Sie solche Rechenwerte verwenden, um den Einfluß des Wassergehalts zumindest in einer sehr groben Näherung zu berücksichtigen. Wenn Sie aber explizit eine Tabelle mit feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeiten verwenden, sollten Sie sicherstellen, daß der Wert für den Wassergehalt = 0 auch tatsächlich der Trockenwert ist.

Andererseits hängen die Ergebnisse hygrothermischer Simulationen (insbesondere die sich einstellenden *Feuchtegehalte* und –verteilungen) in der Regel nicht sehr empfindlich von den genauen Werten der Wärmeleitfähigkeiten ab, so daß der Unterschied meist vernachlässigbar ist, solange Sie sich nicht speziell für die *Wärmeströme* interessieren.

Weiter mit [Details / Diffusionswiderstandszahl feuchteabhängig](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Diffusionswiderstandszahl feuchteabhängig

Die **Diffusionswiderstandszahl** (μ -Wert) des trockenen Baustoffs ist als Grundkennwert unverzichtbar. Wollen Sie darüber hinaus auch die Abhängigkeit des Diffusionswiderstands vom Feuchtegehalt berücksichtigen, können Sie optional eine Tabelle mit entsprechenden Daten angeben. WUFI interpoliert linear zwischen den Tabelleneinträgen.

Bedenken Sie aber, dass die (fiktive) Abnahme des Diffusionswiderstandes bei zunehmendem Feuchtegehalt in mineralischen Baustoffen auf Oberflächendiffusion zurückzuführen ist [1] und daher auch in der Kapillarleitung berücksichtigt werden kann. Benutzen Sie in diesem Fall eine konstante Diffusionswiderstandszahl und wählen Sie geeignete **Flüssigtransportkoeffizienten**.

Während der Rechnung führt WUFI Iterationen durch, in deren Verlauf es kleine Bereiche der tabellierten Kurve 'absucht'. Allzu scharfe Knicke in den Kurven können dabei unter ungünstigen Umständen das Konvergenzverhalten der Rechnung beeinträchtigen. Glätten Sie in einem solchen Fall die Kurve durch Einfügen zusätzlicher Punkte, bedenken Sie aber auch, dass eine übermäßige Anzahl von Tabelleneinträgen das Suchen in der Tabelle etwas verlängert.

Die Definition der Diffusionswiderstandszahl (μ -Wert) wird in [Details / Wasserdampfdiffusion](#) näher erläutert.

Selbst wenn Sie nicht explizit eine feuchteabhängige Diffusionswiderstandszahl verwenden, wird WUFI sie als feuchteabhängig behandeln, wenn der Wassergehalt die freie Sättigung w_i übersteigt. Dies wird bei der Diskussion der **Diffusionswiderstandszahl trocken** näher erläutert.

Literatur:

- [1] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Diss. Universität Stuttgart (1995)

Weiter mit [Details / Luftschichten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Hilfe_Allgemein_C_UT100e

\$ Details / Diffusionswiderstandszahl feuchteabhängig

+ 1060

K Diffusionswiderstandszahl;Oberflächendiffusion

Details / Luftschichten

WUFI kann auch Luftschichten in den Bauteilaufbau aufnehmen. Es führt zwar keine Berechnung der Luftströmungen durch (was eindimensional auch wenig sinnvoll wäre), es berücksichtigt aber die Luftschicht als Widerstand gegenüber Wärme- und Feuchteströmen.

Zusätzlich zur Wärmeleitung kann Wärme in Luftschichten auch durch Konvektion und Strahlung transportiert werden. Zusätzlich zur Wasserdampfdiffusion kann Wasserdampf in Luftschichten auch durch Konvektion transportiert werden. Da WUFI für feste Materialien ausgelegt ist, berücksichtigt es nur Wärmeleitung und Wasserdampfdiffusion (sowie Flüssigtransport, der aber in diesem Zusammenhang keine Rolle spielt). Die zusätzlichen Transporteffekte können aber berücksichtigt werden, indem die Wärmeleitfähigkeit und der Diffusionswiderstand so angepasst werden, dass sich die richtigen Wärme- und Dampfströme einstellen.

Dazu dienen die folgenden Überlegungen, die für **unbelüftete Luftschichten** gelten. (**Belüftete Luftschichten** sind kaum allgemein abschätzbar; unter Umständen können in ihnen sogar Außenluftbedingungen angenommen werden. Weiter außen liegende Bauteile können dann unberücksichtigt bleiben, außer dass sie Regen und Strahlung abhalten.)

Die relativen Anteile von Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung hängen von der Dicke der Luftschicht und ihrer Lage, der Beschaffenheit der beiden Oberflächen und der Temperatur ab. Die Abhängigkeit von der Temperatur ist glücklicherweise im bauphysikalischen Bereich gering, und bei den Oberflächen genügt es, zwischen metallisch und nichtmetallisch zu unterscheiden. Es läßt sich daher bei Beschränkung auf z.B. senkrechte Luftschichten mit nichtmetallischen Oberflächen einfach ein von der Luftschichtdicke abhängiger Wärmedurchlasswiderstand R_{nichtmet} angeben (z.B. aus Messungen), der alle Transporteffekte beinhaltet.

Die effektive Wärmeleitfähigkeit λ^* für WUFI ist nun so zu wählen, dass bei gegebener Schichtdicke der gewünschte Durchlasswiderstand resultiert. Die Dicke, mit der die Luftschicht im Bauteilaufbau eingefügt wird, muss dabei nicht (kann aber) mit der realen Schichtdicke übereinstimmen, da diese ja bereits bei der speziellen Wahl des Werts von R_{nichtmet} berücksichtigt wurde.

Man suche in einer einschlägigen Tabelle den Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht der gewünschten Dicke, Lage (senkrecht / waagrecht) und Oberflächenbeschaffenheit (metallisch / nichtmetallisch). Wir wählen hier nichtmetallische Oberflächen, da solche in Bauteilen am häufigsten vorkommen, und bezeichnen den entsprechenden Wärmedurchlasswiderstand mit R_{nichtmet} . Man wähle ausserdem eine willkürliche Dicke Δx^* , mit der die Luftschicht in WUFIs Bauteilaufbau eingefügt werden soll. Dann ist

Hilfe_Allgemein_C_UT100f

\$ Details / Luftschichten

+ 1070

^K Luftschichten;Konvektion;Strahlung;Wärmeströme durch Luftschichten;Feuchteströme durch Luftschichten;Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten;Diffusionsdurchlasswiderstand von Luftschichten;Feuchtespeicherfunktion nichthygroskopischer Materialien

$$R_{\text{nichtmet}} = \Delta x^* / \lambda^* ,$$

also

$$\lambda^* = \Delta x^* / R_{\text{nichtmet}}.$$

Da die Wasserdampfdiffusion und der konvektive Wasserdampftransport auf denselben Mechanismen beruhen wie die Wärmeleitung und der konvektive Wärmetransport, lassen sich die Koeffizienten, die den Dampftransport beschreiben, über Ähnlichkeitsrelationen aus den Koeffizienten für den Wärmetransport herleiten. Für den Dampfstrom gilt formal:

$$-g_v = D_c / \mu^* \cdot \Delta c / \Delta x^* = \Delta c / S$$

g_v	[kg/m ² s]	:	Wasserdampfdiffusionsstromdichte
D_c	[m ² /s]	:	konzentrationsbezogener Diffusionskoeffizient
μ^*	[-]	:	effektive Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
c	[kg/m ³]	:	Wasserdampfkonzentration
Δx^*	[m]	:	effektive Schichtdicke
S	[m ³ /s ² Pa]	:	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand,

also

$$\mu^* = D_c \cdot S / \Delta x^*$$

Nun ist einerseits

$$D_c = 0.083 \cdot (T/273)^{1.81} \approx 0.09 \text{ [1]},$$

und andererseits wegen bestehender Ähnlichkeitsrelationen

$$S \approx R_{\text{met}} / 3.5 \text{ [2]},$$

wobei zum Vergleich jetzt der Wärmedurchlasswiderstand R_{met} für Luftschichten zwischen *metallischen* Oberflächen (d.h. ohne Strahlung) herangezogen werden muss, da es beim Dampftransport keinen Transportmechanismus gibt, der analog zur Strahlung wäre, und da zwischen Metallen auch praktisch keine Strahlung auftritt.

Schließlich besteht noch die Freiheit, die Dicke Δx^* , mit der die Luftschicht in WUFIs Bauteilaufbau eingefügt wird, beliebig zu wählen, da die reale Dicke der Luftschicht ja bereits in der Auswahl des speziellen Werts für R_{met} berücksichtigt wurde.

$$\mu^* = 0.09 \cdot R_{\text{met}} / (3.5 \cdot \Delta x^*) = \mathbf{0.026 \cdot R_{\text{met}} / \Delta x^*}$$

Für die am häufigsten vorkommenden senkrechten Luftschichten können R_{nichtmet} und R_{met} folgender Tabelle entnommen werden (interpoliert nach [3]):

Dicke	R_{nichtmet}	R_{met}
-------	-----------------------	------------------

[cm]	[m _c K/W]	[m _c K/W]
0	0	0
1	0.140	0.280
2	0.160	0.430
3	0.171	0.526
4	0.178	0.590
5	0.180	0.620
6	0.178	0.627
7	0.176	0.623
8	0.174	0.613
9	0.172	0.598
10	0.170	0.580
11	0.168	0.557
12	0.166	0.530
13	0.164	0.501
14	0.162	0.468
15	0.160	0.430

Für die anderen [Grundkennwerte](#) gilt Folgendes:

- falls Sie Δx^* ungleich der realen Dicke gewählt haben, multiplizieren Sie die 'Rohdichte' 1.29 kg/m^3 mit $(\text{reale Dicke})/\Delta x^*$, um die richtige Wärmekapazität zu erhalten,
- setzen Sie die 'Porosität' möglichst hoch (z.B. $0.999 \text{ m}^3/\text{m}^3$),
- die massenspezifische Wärmekapazität von Luft beträgt 1 kJ/kgK , auch dann wenn Sie Δx^* ungleich der realen Dicke gewählt haben.

Für die grafische Ausgabe des [Gitteraufbaus](#) empfiehlt es sich, Δx^* gleich der realen Dicke zu setzen. Beachten Sie aber auf alle Fälle, dass Sie bei einer neuen Rechnung mit einer anderen Luftschichtdicke *nicht* einfach die Dicke im Bauteilaufbau ändern dürfen, sondern λ^* und μ^* neu bestimmen müssen.

Zur 'Feuchtespeicherfunktion' von Luftschichten vgl. [Details](#) / [Feuchtespeicherfunktion](#) sowie das Kapitel "[Fragen & Antworten](#)".

Literatur:

- [1] Schirmer, R.: Die Diffusionszahl von Wasserdampf-Luft-Gemischen und die Verdampfungsgeschwindigkeit, Beiheft VDI-Zeitschrift, Verfahrenstechnik (1938), H. 6, p. 170-177.
- [2] Illig, W.: Die Größe der Wasserdampfübergangszahl bei Diffusionsvorgängen in Wänden von Wohnungen, Stallungen und Kühlräumen, Gesundheitsingenieur 73 (1952), H. 7/8, p. 124-127.
- [3] Gösele, K., Schüle, W.: Schall·Wärme·Feuchte. Bauverlag 1989.

Weiter mit [Details / Folien](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Folien

Folien können im Bauteil zu verschiedenen Zwecken dienen, wie z.B. zur Gewährleistung der Winddichtigkeit oder Wasserdichtigkeit, zum Oberflächenschutz usw. Im Zusammenhang mit eindimensionalen hygrothermischen Simulationen sind allerdings nur **Dampfbremsen** und **Dampfsperren** von Interesse.

Eine solche Folie macht sich in der Regel im Bauteilaufbau nur durch ihren Widerstand gegenüber der Wasserdampfdiffusion bemerkbar. An der Außenoberfläche allenfalls noch durch ihre Strahlungsabsorptionszahl (z.B. 0.9 für Bitumendachpappe) und ihre Regenwasserabsorptionszahl (0 für wasserdichte Folien), was dann in WUFI im Rahmen der [Oberflächenübergangskoeffizienten](#) berücksichtigt wird. Ihr Wärmedurchlasswiderstand ist hingegen meist vernachlässigbar.

Falls sich die Folie auf der Außen- oder Innen**oberfläche** des Bauteils befindet, kann sie einfach durch Angabe eines entsprechenden [sd-Wertes](#) berücksichtigt werden.

Eine Folie **mitten im Bauteil** muss dagegen explizit in den [Bauteilaufbau](#) aufgenommen werden.

Eine Folie wird in der Regel wenige hundertstel bis zehntel Millimeter dick sein. Da jede Schicht aus mindestens ca. 5 Gitterelementen bestehen sollte, ergeben sich so äußerst kleine Elemente. Aus numerischen Gründen sollten außerdem aneinandergrenzende Elemente keinen zu großen Dickenunterschied aufweisen, so dass die Gitterelemente der angrenzenden Schichten dem Rand zu kontinuierlich kleiner werden müssten, um einen akzeptablen 'Anschluss' zu erreichen. Dies führt insgesamt zu einer enormen Anzahl von Gitterelementen, die die Rechnung verlangsamen und deren einziger Zweck doch nur eine Überbrückung verschiedener Größenordnungen in den Schichtdicken ist.

Es bietet sich daher an, eine '**effektive**' Folie einzufügen, deren Dicke künstlich vergrößert wurde, deren Materialkennwerte aber so angepasst wurden, dass sich die richtigen Wärmeströme und Dampfdiffusionsströme einstellen. Die Kennwerte der Folien in der mitgelieferten WUFI-Datenbank sind so umgerechnet, dass die Folien mit **1 mm Dicke** in den Bauteilaufbau einzufügen sind.

Ein weiterer Vorteil dieser 'effektiven' Folie ist ihre leichtere Erkennbarkeit in der grafischen Darstellung des Bauteilaufbaus.

Die Umrechnung ist einfach: Sie werden oft weder den [\$\mu\$ -Wert](#) des Folienmaterials kennen noch die Foliendicke, aber den [sd-Wert](#) der Folie. Mehr brauchen Sie nicht: dividieren Sie den sd-Wert durch 1 mm oder eine sonstige Ihnen genehme Dicke, verwenden Sie das Ergebnis als den effektiven μ -Wert und fügen Sie die Folie mit der gewählten Dicke in den Bauteilaufbau ein - schon rechnet WUFI mit dem richtigen Diffusionsdurchlasswiderstand.

Hilfe_Allgemein_C_UT100g

\$ Details / Folien

+ 1080

K Folien;Diffusionswiderstandszahl;Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl;sd-Wert

Für die anderen [Grundkennwerte](#) gilt Folgendes:

- falls Sie die Rohdichte des Folienmaterials und die Dicke der Folie kennen, berechnen Sie eine effektive Dichte über $\rho \cdot (\text{reale Dicke}) / (\text{effektive Dicke})$, um die Wärmekapazität anzupassen. Ansonsten wählen Sie einen Wert, der klein genug ist, um bei Multiplikation mit der massenspezifischen Wärmekapazität eine plausible Gesamt-Wärmekapazität zu ergeben (die Wärmekapazität einer dünnen Folie ist vernachlässigbar, aber Sie sollten dafür Sorge tragen, daß auch die Wärmekapazität der dickeren effektiven Folie vernachlässigbar ist.)
- setzen Sie die Porosität auf einen beliebigen, vorzugsweise sehr kleinen Wert (z.B. 0.001, da die üblichen Folienmaterialien nicht porös sind)
- falls Sie die Wärmekapazität des Folienmaterials kennen, übernehmen Sie sie unverändert. Ansonsten verwenden Sie z.B. 1500 J/kgK für organische Materialien
- falls Sie die Wärmeleitfähigkeit des Folienmaterials und die Dicke der Folie kennen, berechnen Sie eine effektive Wärmeleitfähigkeit über $\lambda \cdot (\text{effektive Dicke}) / (\text{reale Dicke})$. Ansonsten wählen Sie einen Wert, der so groß ist, dass sich nur ein vernachlässigbarer Wärmedurchlasswiderstand der Folie ergibt.

Die Definitionen der Diffusionswiderstandszahl (μ -Wert) und des s_d -Werts werden in [Details / Wasserdampfdiffusion](#) erläutert.

Bitte beachten Sie, daß eine dünne Schicht nur bei *eindimensionalen* Rechnungen durch eine dickere Schicht mit effektiven Materialkennwerten ersetzt werden darf! In zweidimensionalen Rechnungen treten neben Wärme- und Dampfströmen *durch* die Folie auch solche *entlang* der Folie auf, und im Allgemeinen kann man die Folie nicht mit einer willkürlichen effektiven *Länge* in das Bauteil einsetzen (z.B. eine Folie, die um einen Sparren gewickelt ist, oder eine Folie, die auf einem ein- oder mehrfach geknickten Pfad durch das Bauteil läuft).

Weiter mit [Details / Oberflächenübergangskoeffizienten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Oberflächenübergangskoeffizienten

WUFI berechnet, ausgehend von einem Anfangszustand, die zeitliche Entwicklung der Temperatur- bzw. Feuchteverteilung im Bauteil. Diese Entwicklung wird nicht nur durch die zugrundeliegenden Transportgleichungen bestimmt, sondern auch durch den Austausch von Wärme und Feuchte mit der Umgebung. Es treten also durch die Bauteiloberfläche hindurch Wärme- bzw. Feuchteströme auf, deren Richtung und Stärke sowohl vom Zustand im Bauteil als auch vom Zustand der Umgebung abhängen.

Die Oberflächenübergangskoeffizienten geben an, in welchem Ausmaß sich die Umgebungsbedingungen auf das Bauteil, insbesondere auf Wärme- und Feuchteströme durch die Oberfläche auswirken.

Im Folgenden werden die von WUFI benutzten Oberflächenübergangskoeffizienten näher beschrieben:

[Details / Wärmeübergangskoeffizienten und -widerstände](#)

[Details / Wasserdampfübergangskoeffizienten](#)

[Details / Wasserdampfdiffusion](#)

[Details / Oberflächenbeschichtungen](#)

[Details / kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl](#)

[Details / langwellige Strahlungsemissionszahl](#)

[Details / Regenabsorptionszahl](#)

Weiter mit [Details / Wärmeübergangskoeffizienten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Wärmeübergangskoeffizienten und -widerstände

Ist eine Wandoberfläche wärmer als die Umgebung, so gibt sie Wärme ab. An diesem Wärmetransport sind mehrere Transportmechanismen beteiligt: Wärmeleitung durch die an die Oberfläche grenzende Luft, konvektiver Transport durch Luftströmungen und langwellige Abstrahlung. Die Berücksichtigung all dieser Vorgänge ist äußerst kompliziert, im Detail kaum möglich, für bauphysikalische Belange aber auch gar nicht nötig. Für die hier auftretenden Temperatur- und Strömungsverhältnisse genügt i.A. ein einfacher Proportionalitätsansatz mit konstantem Koeffizienten:

$$q = \alpha (\vartheta_u - \vartheta_o)$$

q	[W/m ²]	: Wärmestromdichte
α	[W/m ² K]	: Wärmeübergangskoeffizient
ϑ_u	[°C]	: Umgebungstemperatur
ϑ_o	[°C]	: Oberflächentemperatur

Dabei lässt sich der Wärmeübergangskoeffizient noch in zwei Anteile zerlegen:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s$$

α_k	[W/m ² K]	: konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
α_s	[W/m ² K]	: strahlungsbedingter Wärmeübergangskoeffizient

konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Aufgrund ihrer konduktiven und konvektiven Wärmeleitfähigkeit führt die an die Bauteiloberfläche grenzende Luft aus dem Bauteil Wärme ab. Obwohl hier also eigentlich zwei verschiedene Transporterscheinungen vermischt auftreten, spricht man pauschal von 'konvektivem Wärmeübergang'.

Unmittelbar an der Wand nimmt die Luft die Temperatur der Wandoberfläche an. In zunehmender Entfernung von der Oberfläche führt die konvektive Durchmischung der Luft zu einer gleichmäßigeren Temperaturverteilung, die von den Raum- oder Außenklimaverhältnissen bestimmt wird. Diese letztere Temperatur ist es, die allgemein als 'Lufttemperatur' gemessen wird.

Beim Wärmeübergang von der Wandoberfläche in die wandnahe Luft ist aber nicht die Differenz zwischen der Oberflächentemperatur und der 'Lufttemperatur' ausschlaggebend, sondern die geringere Differenz zwischen der Oberflächentemperatur und der Temperatur der Grenzschicht. Der

Hilfe_Allgemein_C_UT200a

\$ Details / Wärmeübergangskoeffizienten

+ 2020

K Wärmeübergangskoeffizient;Wärmeübergangswiderstand;Wärmeübergang (konvektiv);Wärmeübergang (strahlungsbedingt)

Wärmestrom fällt daher geringer aus, als bei Betrachtung der Lufttemperatur zu erwarten wäre. Diese Verringerung des Wärmestroms wird formal durch Einführung eines 'Widerstands' beschrieben. Der Reziprokwert dieses Widerstands geht als konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in die Wärmetransportgleichung ein (s.o.).

Der Zahlenwert des $k.W.$ hängt in komplizierter Weise von Temperatur, Stärke und Richtung der Luftströmung, Beschaffenheit der Wandoberfläche etc. ab. Im Allgemeinen können nur Richtwerte angegeben werden. Bei freier Konvektion (durch Erwärmung oder Abkühlung der Luft) liegt die $k.W.$ im Bereich von 3 bis 10 W/m^2K , bei erzwungener Konvektion (durch Wind) im Bereich von 10 bis 100 W/m^2K .

strahlungsbedingter Wärmeübergangskoeffizient

Eine Wandoberfläche steht über langwellige Wärmestrahlung stets im Energieaustausch mit anderen Oberflächen in der Umgebung. Der dabei fließende Wärmestrom hängt ab von den Temperaturen (in der vierten Potenz), dem Material, der Oberflächenbeschaffenheit, der Größe und der geometrischen Anordnung der beteiligten Flächen.

Da die Temperaturen der umgebenden Oberflächen in der Regel nicht bekannt sind, nimmt man bei bauphysikalischen Rechnungen meist an, sie seien alle identisch mit der bekannten Lufttemperatur. Ferner steckt man drei der vier Temperaturpotenzen in den $s.W.$ (der dadurch temperaturabhängig wird) und erhält so einen einfachen linearen Zusammenhang wie beim konvektiven Wärmeübergang (vgl. auch die Erläuterungen zum [langwelligen Strahlungsaustausch](#)).

Die Abhängigkeit von Material und Oberflächenbeschaffenheit ist recht gering, solange es sich um nichtmetallische Materialien handelt, was in der Bauphysik in den meisten Fällen zutrifft.

Für zwei ausgedehnte, parallele ebene Flächen in geringem Abstand aus nichtmetallischem Material liegt der $s.W.$ je nach Oberflächentemperaturen zwischen ca. 3 und 6 W/m^2K .

Es ist zu beachten, daß der $s.W.$ nur für Strahlungsaustausch zwischen Oberflächen zuständig ist, die sich mehr oder weniger auf Umgebungstemperatur befinden. Sonnenstrahlung (mit einer Quelltemperatur von 6000 K und ausgeprägtem Tagesgang) wird gesondert behandelt (siehe [Details / kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl](#)).

Wegen kürzlich erfolgter Änderung der Terminologie in den einschlägigen Normen benutzt WUFI jetzt den **Wärmeübergangswiderstand**, der einfach das Reziproke des **Wärmeübergangskoeffizienten** ist.

WUFI verwendet der Einfachheit halber konstante [Wärmeübergangskoeffizienten](#) oder eine sehr einfache Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, da die sonst notwendige Berücksichtigung der Umgebungsverhältnisse sehr komplex wäre und in den seltensten Fällen alle erforderlichen Randbedingungen bekannt sind.

WUFI bietet die folgenden Wärmeübergangswiderstände zur Auswahl:

Äußerer Wärmeübergangswiderstand:

- 0 m²K/W für Kellerwände in direktem Kontakt zum Erdreich
- 0.052 m²K/W für geneigte oder flache Dächer
- 0.056 m²K/W für Außenwände [1],
- (benutzerdefiniert)

Diese durchschnittlichen Werte gelten nicht für stark exponierte Bauteile oder für Bauteiloberflächen in großer Höhe; für solche Fälle müssen entsprechend geringere Wärmeübergangswiderstände angesetzt werden.

Innerer Wärmeübergangswiderstand:

- 0.13 m²K/W für Kellerwände, Außenwände, Dächer [2]
- (benutzerdefiniert)

Der raumseitige W. liegt im Bereich von Ecken oder Kanten im Allgemeinen über diesem Durchschnittswert. Eine eventuell vorhandene Temperaturschichtung im Raum darf bei Feuchtetransportberechnungen nicht durch einen auf die Mitteltemperatur bezogenen W. erfasst werden, da dies zu Fehlern bei der Beurteilung der Feuchteverhältnisse an raumseitigen Bauteiloberflächen führt. Soll die Raumlufttemperaturverteilung bei der Berechnung berücksichtigt werden, so ist dies nur über die höhenabhängige Spezifizierung der Randbedingungen möglich.

Die W. beschreiben nur den Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft bzw. Oberflächen in der Umgebung, die sich auf ähnlicher Temperatur (+/- einige zig Grad) wie das Bauteil befinden. Für den Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung siehe [Details / kurzweilige Strahlungsabsorptionszahl](#).

Zum speziellen Problem der nächtlichen Abstrahlung siehe [Details / langwellige Strahlungsemissionszahl](#).

Die Wärmeübergangswiderstände werden im Dialog "Oberflächenübergangskoeffizienten" eingegeben.

Literatur:

- [1] Schaube, H. und Werner, H.: Wärmeübergangskoeffizient unter natürlichen Klimabedingungen. IBP-Mitteilung 13 (1986), Nr. 109.
- [2] Erhorn, H. und Szerman, M.: Überprüfung der Wärme- und Feuchteübergangskoeffizienten in Außenwandecken von Wohnbauten. Gesundheitsingenieur 113 (1992), H. 4, S. 177-186.

Weiter zu [Details / Wasserdampfübergangskoeffizienten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Wasserdampfübergangskoeffizienten

Der Wasserdampfübergang läßt sich ähnlich wie der Wärmeübergang beschreiben:

$$g_v = \beta_p (p_u - p_o)$$

g_v	[kg/m ² s]	:	Wasserdampfstromdichte
β_p	[kg/m ² sPa]	:	Wasserdampfübergangskoeffizient
p_u	[Pa]	:	Wasserdampfpartialdruck der Umgebung
p_o	[Pa]	:	Wasserdampfpartialdruck an der Bauteiloberfläche

Der Grund für das Auftreten eines Widerstandes beim Wasserdampfübergang ist derselbe wie beim [Wärmeübergang](#), nämlich die Auswirkung einer Grenzluftschicht an der Bauteiloberfläche.

Da beide Grenzschichten durch die Umweltbedingungen auf gleichartige Weise beeinflusst werden, bestehen Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen dem Wärme- und dem Wasserdampfübergang, so daß β_p durch folgende Zahlenwertgleichung berechnet werden kann (wobei die Zahlenwerte nur bei Verwendung der oben angegebenen SI-Einheiten gelten):

$$\beta_p = 7 \cdot 10^{-9} \alpha_k [1]$$

α_k [W/m²K] : konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Dazu ist es nötig, den konvektiven Anteil α_k des [Wärmeübergangskoeffizienten](#) α zu bestimmen. WUFI schätzt ihn folgendermaßen ab (in FORTRAN-Notation):

```
ALFAWC = ALFAW - 6.5           ! AUSSEN
ALFAEC = ALFAE - 4.5           ! INNEN
ALFMIN  = 3.5
BETAW   = 7.E-9 * DMAX1(ALFMIN, ALFAWC) ! AUSSEN
BETAEC  = 7.E-9 * DMAX1(ALFMIN, ALFAEC) ! INNEN
```

Dabei bezieht sich das Suffix *w* auf die Außenoberfläche, *e* auf die Innenoberfläche und *c* auf den konvektiven Anteil.

Für die von WUFI vorgeschlagenen Wärmeübergangswiderstände $1/\alpha$ von 0.056 (außen) und 0.13 m²K/W (innen) ergeben sich auf diese Weise Wasserdampfübergangskoeffizienten von 8.0E-8 (außen) bzw. 2.2E-8 kg/m²sPa (innen).

Hilfe_Allgemein_C_UT200b

\$ Details / Wasserdampfübergangskoeffizienten

+ 2030

K Wasserdampfübergangskoeffizient;Wärmeübergangskoeffizient

Literatur:

- [1] Illig, W.: Die Größe der Wasserdampfübergangszahl bei Diffusionsvorgängen in Wänden von Wohnungen, Stallungen und Kühlräumen, Gesundheitsingenieur 73 (1952), H. 7/8, p. 124-127.

Weiter mit [Details / Wasserdampfdiffusion](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Wasserdampfdiffusion

Dieses Hilfethema erläutert verschiedene physikalische Größen, die zur Beschreibung der Wasserdampfdiffusion verwendet werden, da diese Größen und ihre Beziehungen untereinander vielleicht nicht allen WUFI-Benutzern vertraut sind.

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, μ -Wert

Die Diffusion von Wasserdampf in Luft läßt sich beschreiben durch die Gleichung

$$g_v = -\delta \cdot dp/dx \quad (\text{in Luft}),$$

g_v	[kg/m ² s]	:	Wasserdampf-Diffusionsstromdichte
p	[Pa]	:	Wasserdampf-Partialdruck
δ	[kg/(msPa)]	:	Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in Luft,

wobei

$$\delta = 2.0 \cdot 10^{-7} T^{0.81} / P_L [1]$$

T	[K]	:	absolute Umgebungstemperatur
P_L	[Pa]	:	Umgebungsluftdruck.

In porösen Baumaterialien findet die Diffusion ebenfalls in Luft (in den Porenräumen) statt, aber sie wird dabei durch mehrere Einflüsse behindert: der für den Transport zur Verfügung stehende 'Leitungsquerschnitt' ist von der ursprünglichen freien Luftsäule jetzt auf den offenen Porenraum reduziert, Adsorptionseffekte an den Porenwänden verlangsamen die Diffusion, und die Moleküle müssen den gewundenen Porenpfaden folgen, so daß der durch das Bauteil zurückzulegende Weg sich verlängert. Für bauphysikalische Zwecke ist es ausreichend, diese Einflüsse einfach durch Einführung einer **Diffusionswiderstandszahl** μ zu berücksichtigen:

$$g_v = -(\delta/\mu) \cdot dp/dx \quad (\text{in porösem Material}),$$

μ	[-]	:	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl.
-------	-----	---	---------------------------------------

Daß der Faktor δ dabei in obiger Gleichung als separater Koeffizient erhalten bleibt, hat den Vorteil, daß er bereits die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Wasserdampfdiffusion beschreibt und μ daher praktisch nicht von Temperatur und Druck abhängt, also eine nur vom betreffenden Material bestimmte Konstante ist.

Hilfe_Allgemein_C_UT200b2

\$ Details / Wasserdampfdiffusion

+ 2040

K

Wasserdampfdiffusion;Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl;Diffusionswiderstandszahl;my-Wert;diffusionsäquivalente Luftschichtdicke;sd-Wert;permeance;permeability;perm;dry-cup;wet-cup

Messungen, die μ für verschiedene Feuchtebereiche bestimmen (dry-cup bei niedrigen relativen Feuchten und wet-cup bei hohen relativen Feuchten) liefern allerdings in der Regel verschiedene Werte für ein und dasselbe Material. Die Ursache hierfür ist Oberflächendiffusion, die bei höheren relativen Feuchten merklich wird und eigentlich als **Flüssigtransport** zu behandeln ist [2]. Dieser zusätzliche Feuchte transport wird bei der Auswertung der Messungen üblicherweise nicht separat behandelt, sondern dem Diffusionstransport zugeschlagen, so daß sich ein niedrigerer scheinbarer Diffusionswiderstand und somit ein niedrigerer μ -Wert ergibt. In diesen Fällen ist es physikalisch richtiger, einen **konstanten** μ -Wert zu benutzen und die **Flüssigtransportkoeffizienten** so anzupassen, daß sie die Oberflächendiffusion mit einschließen. Allerdings erlaubt WUFI auch die Verwendung eines **feuchteabhängigen** μ -Werts, um eine leichtere Behandlung von Fällen zu ermöglichen, in denen eine solche Unterscheidung vernachlässigt werden kann.

Der μ -Wert ist das Verhältnis der Diffusionskoeffizienten von Wasserdampf in Luft und im Baumaterial und läßt daher eine einfache Interpretation zu: es ist der Faktor, um den die Dampfdiffusion im Material vermindert ist im Vergleich zur Diffusion in Luft. Für sehr diffusionsoffene Materialien wie z.B. Mineralwolle ist der μ -Wert daher nahe 1, während er für Materialien mit höherem Diffusionswiderstand größer ist.

Die folgende Tabelle listet μ -Werte für einige gebräuchliche Baumaterialien auf:

	μ -Wert	
	dry-cup (3% - 50% rel.F.)	wet-cup (50%-93% rel.F.)
Porenbeton	7.7	7.1
Kalksandstein	27	18
Vollziegel	9.5	8.0
Gipskartonplatte	8.3	7.3
Beton (B25)	110	150 (*)
Kalkzementputz	19	18
Kalkputz	7.3	6.4
Saaler Sandstein	60	28
Baumberger Sandstein	20	17
Worzeldorfer Sandstein	38	22

(*) die Zunahme des μ -Werts bei wet-cup Messungen an Beton ist vermutlich auf Quellvorgänge zurückzuführen [3].

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke, s_d -Wert

Nehmen wir Temperatur und μ -Wert als konstant an, dann erhalten wir für die Diffusionsstromdichte durch eine Materialschicht der Dicke $\Delta x = s$:

$$g_{v_Mat} = -\delta/\mu * \Delta p/\Delta x = -\delta/(\mu*s) * \Delta p,$$

und für die Diffusionsstromdichte durch eine Luftschicht ($\mu=1$) der Dicke s_d :

$$g_{v_Luft} = -\delta/\mu * \Delta p/\Delta x = -\delta/(1*s_d) * \Delta p = -\delta / s_d * \Delta p.$$

Division der ersten Gleichung durch die zweite ergibt:

$$g_{v_Mat} / g_{v_Luft} = s_d / (\mu*s).$$

Wenn die Luftschicht so gewählt wird, dass ihr Dampfdiffusionswiderstand derselbe ist wie der einer Materialschicht der Dicke s (und somit $g_{v_Mat} = g_{v_Luft}$), dann ist ihre Dicke s_d :

$$s_d = \mu*s.$$

Für eine Materialschicht mit der Diffusionswiderstandszahl μ und der Dicke s gibt das Produkt $\mu*s$ daher an, welche Dicke eine Luftschicht annehmen müsste, um denselben Diffusionswiderstand zu haben. Diese "**diffusionsäquivalente Luftschichtdicke**", auch als " **s_d -Wert**" bezeichnet, beschreibt den Diffusionswiderstand einer Schicht auf leicht verständliche und anwendbare Weise.

Bei einigen Bauteilen ist nur ihr Diffusionswiderstand von Belang, aber nicht ihr μ -Wert und ihre Dicke separat. Zur Spezifikation solcher Bauteile genügt dann die Angabe ihres s_d -Werts. Überdies ist es zur Messung des s_d -Werts nicht nötig, die Dicke der Probe zu bestimmen.

Insbesondere wird der s_d -Wert zur Charakterisierung von Dampfbremsen ($s_d \geq 10$ m), Dampfsperren ($s_d \geq 1000$ m) und Oberflächenbeschichtungen (mineralische Farben: $s_d \approx 0.04$ m, Ölfarben: $s_d = 1.0 \dots 2.6$ m) benutzt, bei denen eine Bestimmung der Dicke schwierig sein kann.

Permeance, Permeability

Umstellen von

$$g_v = -\delta/\mu * \Delta p/\Delta x$$

und Übergang zu den Beträgen liefert

$$g_v/\Delta p = \delta/\mu * 1/\Delta x = \delta/s_d \text{ [kg/(m}^2\text{sPa)]}.$$

Der Term ganz links ist die im englischsprachigen Raum gebräuchliche **permeance** Δ der Schicht. In Inch-Pound-Einheiten wird die permeance in **perm** gemessen. Ein perm ist ein Grain (avoirdupois) Wasserdampf, das pro Stunde durch einen Quadratfuß einer Schicht diffundiert, wenn ein Zoll Quecksilbersäule Dampfdruckunterschied zwischen den Oberflächen anliegt. In SI-Einheiten entspricht das $57.45 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sPa})$ [4]. Mit dem in perm ausgedrückten Δ erhalten wir daher:

$$57.45 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta = \delta / s_d \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sPa})], \text{ oder}$$

$$s_d = \delta / (57.45 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta) \quad [\text{m}].$$

Bei einer Referenztemperatur von 5°C und einem Luftdruck von 1013.25 hPa nimmt δ den Wert $1.884 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{msPa})$ an (vgl. oben), und wir erhalten

$$s_d = 3.28 / \Delta,$$

wobei Δ in perm und s_d in m ausgedrückt sind.

Die permeance beschreibt eine Eigenschaft einer bestimmten Bauteilschicht mit gegebener Dicke. Multiplikation der permeance mit der Schichtdicke Δx liefert die **permeability** Π [perm in] des Schichtmaterials:

$$g_v \cdot \Delta x / \Delta p = \delta / \mu.$$

Der Umrechnungsfaktor für die linke Seite ist jetzt $57.45 \cdot 10^{-12} \text{ [kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sPa})] / [\text{perm}] \cdot 0.0254 \text{ [m]}/[\text{in}] = 1.459 \cdot 10^{-12} \text{ [kg}/(\text{msPa})] / [\text{perm in}]$:

$$1.459 \cdot 10^{-12} \cdot \Pi = \delta / \mu \quad [\text{kg}/(\text{msPa})],$$

und mit demselben Referenzwert für δ wie oben:

$$7.744 \cdot 10^{-3} \cdot \Pi = 1 / \mu \quad [-], \text{ oder}$$

$$\mu = 129 / \Pi \quad [-]$$

wobei Π in perm inch ausgedrückt und μ dimensionslos ist.

Literatur:

- [1] Schirmer, R.: Die Diffusionszahl von Wasserdampf-Luft-Gemischen und die Verdampfungsgeschwindigkeit, Beiheft VDI-Zeitschrift, Verfahrenstechnik (1938), H. 6, p. 170-177.
- [2] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Dissertation Universität Stuttgart, 1995
- [3] Holm, A., Krus, M., Künzel, H.M.: Concrete from the viewpoint of moisture technology: Parameters and mathematical approaches to the evaluation of climatic effects in external structural elements made of concrete

Erscheint in: Concrete Science and Engineering

- [4] ASHRAE Terminology of Heating, Ventilation, Air Conditioning, & Refrigeration, 2nd ed. 1991

Weiter mit [Details / Oberflächenbeschichtungen](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Oberflächenbeschichtungen

Wände können mit einer Oberflächen"beschichtung" versehen sein, die zwar keinen Einfluss auf das thermische Verhalten hat, aber die Wasserdampfdiffusion behindert, z.B. Farben, Tapeten, Folien, Kaschierungen, durch Oberflächenbehandlung entstandene verdichtete Oberflächenschichten etc.

Anstatt eine eigene, evtl. nur Millimeterbruchteile dünne Schicht in den Schichtaufbau einzufügen, können Sie deren Einfluss auf den Wasserdampftransport durch **Definieren** eines Diffusionswiderstandes an der Oberfläche berücksichtigen. Der einzugebende **sd-Wert** gibt die Dicke einer Luftschicht an, die den gleichen Diffusionswiderstand hätte.

So können Sie etwa die Wirkung einer Dampfbremse berücksichtigen, indem Sie an der betreffenden Oberfläche z.B. $s_d = 10$ m setzen. Aber auch massivere Bauteile wie Gipskartonplatten ($s_d \approx 0.1$ m) oder Putzschichten können durch ihren s_d -Wert ersetzt werden, solange ihr Einfluss auf das hygrothermische Verhalten des Bauteils nur in ihrem Diffusionswiderstand besteht.

Möchten Sie Folien oder ähnliche dünne Oberflächenschichten dennoch explizit in den Schichtaufbau einfügen, beachten Sie bitte die Hinweise in [Details / Folien](#).

Aufgrund der Luftgrenzschicht, die sich stets an der Wandoberfläche ausbildet, ist für den Wasserdampftransport immer ein Oberflächenübergangswiderstand vorhanden (vgl. [Details / Wasserdampfübergangskoeffizienten](#)). Der hier diskutierte s_d -Wert beschreibt nur einen *zusätzlichen* Widerstand, der durch Faktoren wie die oben angegebenen verursacht wird. WUFI addiert also stets den intern berechneten natürlichen Wasserdampfübergangswiderstand und einen eventuellen durch eine Beschichtung verursachten s_d -Wert, um den in der Rechnung benutzten Gesamtübergangswiderstand für den Wasserdampftransport zu ermitteln. Für eine gewöhnliche nackte Wandoberfläche ist daher einfach $s_d = 0$ m anzusetzen.

Die Definition der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke (s_d -Wert) finden Sie in [Details / Wasserdampfdiffusion](#).

Die s_d -Werte eventueller Oberflächenbeschichtungen werden im Dialog "[Oberflächenübergangskoeffizienten](#)" eingegeben. WUFI bietet Ihnen dort eine Liste vordefinierter Oberflächenbeschichtungen mit ihren jeweiligen s_d -Werten zur Auswahl; Sie können aber auch Ihre eigenen Werte eingeben.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass z.B. bei Auswahl einer Metallfolie aus der Liste **nur** der entsprechende s_d -Wert an der Bauteiloberfläche angesetzt wird, **andere** Eigenschaften der Metallfolie wie ihre geringe Strahlungsabsorption oder ihre

Hilfe_Allgemein_C_UT200c

\$ Details / Oberflächenbeschichtungen

+ 2050

K

diffusionsäquivalente Luftschichtdicke; s_d -Wert;Oberflächenbeschichtung;Wasserdampfübergangskoeffizient

Eigenschaft, Regen abzuhalten, aber separat mittels der betreffenden [Oberflächeneigenschaften](#) spezifiziert werden müssen.

Weiter mit [Details / kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

Die allgemeinen [Wärmeübergangskoeffizienten](#) enthalten bereits einen Anteil, der den Strahlungsaustausch mit anderen Oberflächen der Umgebung beschreibt. Die Temperatur dieser Oberflächen wird dabei näherungsweise gleich der Lufttemperatur gesetzt.

Die Sonnenstrahlung dagegen, die einen ausgeprägten Tagesgang besitzt, hat mit der Lufttemperatur nicht einmal näherungsweise zu tun. Da ihr Einfluss auf die Oberflächentemperaturen nicht vernachlässigt werden kann, muss sie gesondert behandelt werden.

Während sich der Strahlungsaustausch zwischen Bauteil und Umgebung ($T \approx 300 \text{ K}$) im Wesentlichen im langwelligen Infrarot abspielt, hat das Spektrum der Sonnenstrahlung ($T \approx 6000 \text{ K}$) auch einen erheblichen Anteil an kurzwelliger Strahlung, weshalb die Sonnenstrahlung hier auch als "kurzwellige Strahlung" bezeichnet wird.

Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl gibt an, welcher Bruchteil der auf die Bauteiloberfläche treffenden gesamten (lang- und kurzwelligen) Sonnenstrahlung absorbiert wird:

$$q = a_s \cdot I$$

q	[W/m ²]	:	Wärmestrom durch Sonnenstrahlung
a _s	[-]	:	"kurzwellige" Strahlungsabsorptionszahl
I	[W/m ²]	:	Strahlungsleistung senkrecht zur Bauteiloberfläche

WUFI berechnet die senkrecht auf das Bauteil fallende Strahlungsleistung aus den Daten in der [Klimadatei](#), multipliziert sie - falls sie positiv ist - mit der k.S. und stellt das Ergebnis als Wärmequelle an der Oberfläche in Rechnung. (Falls aus den Klimadaten eine negative Strahlungsleistung folgt, wird sie mit der [langwelligen Strahlungsemissionszahl](#) multipliziert.)

Beispiele:

Putz weiß (gealtert)	0.4
Dachziegel rot	0.6
Klinker dunkelrot	0.7
Dachziegel braun	0.8
Bitumendachhaut	0.9

Holz (Fichte):

Hilfe_Allgemein_C_UT200d

\$ Details / kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

+ 2060

K

Absorption (Strahlung);kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl;Strahlungsabsorptionszahl;kurzwellig;Sonnenstrahlung;

unbehandelt	0.4
verwittert (silbergrau)	0.7
braun gestrichen	0.8
Schilfsandstein:	
trocken	0.7
nass	0.85
Roter Mainsandstein	0.75
Sandstein mit Patina	0.9

WUFI bietet Ihnen eine Liste mit vordefinierten Oberflächen und den zugehörigen kurzwelligigen Strahlungsabsorptionszahlen zur Auswahl an; Sie können aber auch Ihre eigenen Werte eingeben.

Die Absorptionszahlen werden im Dialog "[Oberflächenübergangskoeffizienten](#)" eingegeben.

Weiter mit [Details / langwellige Strahlungsemissionszahl](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / langwellige Strahlungsemissionszahl

Für nichtmetallische Bauteiloberflächen liegt die I.S. meist bei etwa 0.9.

WUFI bestimmt die I.S. automatisch aus dem für die [kurzwellige Absorptivität](#) ausgewählten Oberflächentyp oder benutzt für beide benutzereigene Eingaben.

Die I.S. wird im Dialog "[Oberflächenübergangskoeffizienten](#)" eingegeben.

Weiter mit [Details / Regenwasserabsorptionszahl](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Regenwasserabsorptionszahl

Durch die R. wird berücksichtigt, dass von dem auf geneigte Flächen auftreffenden Regen ein Teil sofort wegspritzt und nicht mehr für den kapillaren Saugvorgang zur Verfügung steht.

WUFI berechnet die auf das Bauteil treffende Regenlast aus den Daten in der [Klimadatei](#) und multipliziert sie mit der R. Die resultierende Regenmenge wird dem Bauteil zum kapillaren Aufsaugen angeboten. (Das Bauteil darf die angebotene Menge oder weniger aufnehmen, aber nicht mehr.)

Die R. ist abhängig von der Rauigkeit, Orientierung und Neigung der Oberfläche und der Beschaffenheit des Niederschlags (Regen, Schnee...).

Für waagerechte Flächen ist die R. in der Regel gleich eins, da wegspritzendes Regenwasser wieder auf die Oberfläche zurückfällt.

Für senkrechte Flächen ist sie bei Schnee oder Hagel fast Null, unter sonstigen Bedingungen muss sie geschätzt werden. Ein Wert von 0.7 ist i.A. ein brauchbarer Ausgangspunkt.

Da die meisten Bauteiloberflächen - mit Ausnahme von Sichtmauerwerk und Natursteinfassaden - eine nur mäßige kapillare Wasseraufnahmefähigkeit besitzen, können sie ohnehin nicht das ganze angebotene Wasser aufsaugen. In diesen Fällen ist eine genaue Kenntnis der quantitativen Regenbelastung gar nicht so wesentlich (während die *Regendauer* durchaus von Bedeutung ist) und Schätzungen der R. und der positionsspezifischen [Schlagregenkoeffizienten](#) sind ausreichend.

WUFI bestimmt die R. automatisch aus der Neigung und dem Bauteiltyp; Sie können aber auch Ihre eigenen Werte eingeben.

Die R. wird im Dialog "[Oberflächenübergangskoeffizienten](#)" eingegeben.

Weiter mit [Details / Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Hilfe_Allgemein_C_UT200f

\$ Details / Regenwasserabsorptionszahl

+ 2080

K Regenwasserabsorptionszahl

Details / Klimadaten

WUFI berechnet, ausgehend von einem Anfangszustand, die zeitliche Entwicklung der Temperatur- bzw. Feuchteverteilung im Bauteil. Diese Entwicklung wird nicht nur durch die zugrundeliegenden Transportgleichungen bestimmt, welche die Vorgänge *im* Bauteil beschreiben, sondern auch durch den Austausch von Wärme und Feuchte mit der Umgebung. Es treten also durch die Bauteiloberfläche hindurch Wärme- bzw. Feuchteströme auf, deren Richtung und Ausmaß sowohl vom Zustand im Bauteil als auch vom Zustand der Umgebung abhängt. Letzterer wird durch die **Randbedingungen** beschrieben.

Da WUFI speziell für bauphysikalische Anwendungen vorgesehen ist, kommt als Umgebungsmedium in erster Linie die Umgebungsluft in Betracht (Außenluft, Innenraumluft). Nachdem es außerdem das Verhalten bewitterter Bauteile berechnen soll, bietet es sich an, den Zustand der Umgebung durch **meteorologische** Angaben zu beschreiben, wie z.B. Temperatur, relative Feuchte, Sonnenstrahlung etc., da so ein anschaulicher Bezug zur bauphysikalischen Praxis gegeben ist und einschlägige Messdaten ohnehin in dieser Form vorliegen.

Die Wahl einer meteorologischen Ausdrucksform für die Randbedingungen lässt trotzdem zu, dass auch Laborexperimente wie z.B. Wasseraufnahmeversuche oder Trockenversuche leicht nachvollzogen werden können.

WUFI braucht für jeden Zeitschritt die folgenden Klimadaten:

- die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende **Regenmenge** in [Ltr/m²h]. Bei der Bestimmung dieser Regenmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden.
- die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende **Sonnenstrahlung** in [W/m²]. Bei der Bestimmung dieser Strahlungsmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden.
- die **Temperatur** der Außenluft in [°C]
- die **relative Feuchte** der Außenluft (0..1)
- die **Temperatur** der Innenluft in [°C]
- die **relative Feuchte** der Innenluft (0..1)
- den **Luftdruck** in [hPa]. Da der Luftdruck allerdings nur einen geringen Einfluss auf die Rechnung hat, genügt es auch, ihn lediglich als Mittelwert über den Berechnungszeitraum anzugeben

Hilfe_Allgemein_C_UT300

\$ Details / Klimadaten

+ 3010

K

Klimadaten;Klimadatei;Wetterdaten;Wetterdatei;Randbedingungen;meteorologisch;KLI;WET;TRY;DAT;IWC;WAC;WBC;Testreferenzjahre;Hygrothermische Referenzjahre

- die langwellige **atmosphärische Gegenstrahlung** [W/m²], falls nächtliche Unterkühlung berücksichtigt werden soll.

Die zur Rechnung benutzte Klimadatei kann gemessene Klimadaten enthalten (wie etwa die [IBP-Klimadateien](#)), oder synthetische aber realistische Wetterdaten (wie etwa die alten [Testreferenzjahre](#)), oder völlig künstliche Daten (die z.B. ein Laborexperiment beschreiben).

Da WUFIs hauptsächliches Anwendungsgebiet in der Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens von Bauteilen unter natürlicher Bewitterung liegt, ist es darauf ausgelegt, Dateien mit gemessenen Wetterdaten zu lesen. Allerdings können gemessene Daten nicht immer direkt verwendet werden:

Wie oben erwähnt, braucht WUFI die Regenmenge und die Strahlungsmenge, die auf die untersuchte Wand- oder Dachoberfläche fallen. Da Regen und Strahlung aber gerichtete Größen sind, hängen diese Mengen von der Orientierung und Neigung des jeweiligen Bauteils ab. Leider werden sie bei konventioneller Wetterdatenerfassung üblicherweise nur für horizontale Oberflächen gemessen.

Es ist allerdings möglich, die auf die Oberfläche auftreffenden Anteile von Regen und Strahlung aus konventionellen Wetterdaten zu berechnen. Die Regenlast kann aus dem Normalregen und der Windgeschwindigkeit und -richtung bestimmt werden. Die Strahlungslast kann aus der globalen (oder direkten) und diffusen Einstrahlung auf eine horizontale Fläche bestimmt werden. WUFI führt diese Umrechnungen automatisch durch, und der Benutzer muß nur die konventionell gemessenen Wetterdaten bereitstellen. Für die derzeitige WUFI-Version müssen diese Daten im ***.WET-** oder im ***.TRY-** oder im ***.DAT-** oder im ***.WAC-** oder im ***.IWC-** Format vorliegen. Für die vom Benutzer bereitgestellten Dateien ist (im Gegensatz zu den mitgelieferten und in der Datenbank bereits registrierten Dateien) bei einigen Formaten auch jeweils eine ***.AGD-**Datei nötig, welche Angaben zur geographischen Lage des Klimaortes enthält.

Andererseits kann WUFI auch Dateien lesen, die direkt die für die untersuchte Oberfläche bestimmten Regen- und Strahlungslasten enthalten, so dass kein Umrechnen mehr nötig ist. Das kann vorteilhaft sein, wenn

- Sie selbst die Wetterdaten mit ausgefeilteren Algorithmen umrechnen wollen, als WUFI dies tut, oder wenn
- Sie Daten verwenden wollen, die direkt an den untersuchten Oberflächen gemessen wurden und daher nicht umgerechnet werden müssen, oder wenn
- Sie Daten verwenden wollen, die Sie mit einem eigenen Klimasimulator erzeugt haben, oder wenn
- Sie künstliche Daten verwenden wollen, die die Bedingungen eines Laborexperiments beschreiben,
- etc.

Diese Dateien müssen im ***.KLI-**Format vorliegen.

Die folgenden Abschnitte erläutern diese Dateiformate im Detail:

[Details / Das *.WET-Format für Klimadaten](#)

[Details / Das *.TRY-Format für Klimadaten](#)

[Details / Das *.DAT-Format für Klimadaten](#)

[Details / Das *.WAC-Format für Klimadaten](#)

[Details / Das *.IWC-Format für Klimadaten](#)

[Details / Das *.WBC-Format für Klimadaten](#)

[Details / Das *.KLI-Format für Klimadaten](#)

[Details / Die *.AGD-Datei](#)

Die von WUFI verwendete Methode zur Strahlungsumrechnung wird im Abschnitt [Fragen & Antworten](#) detailliert beschrieben.

Einige der mit WUFI gelieferten Dateien sind aus lizenzrechtlichen Gründen auf die Nutzung mit WUFI beschränkt und liegen daher im proprietären binären [*.WBC-](#)Format vor.

Weiter mit [Details / Das *.WET-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.WET-Format für Klimadaten

Sie können bestehende IBP-Wetterdateien für WUFI-Rechnungen verwenden, Sie können aber auch Ihre eigenen Wetterdaten in dieses Format bringen und verwenden.

IBP-Wetterdateien enthalten erst einen 21zeiligen Header, der die Bedeutung der einzelnen Spalten aufzählt und dann beliebig viele Zeilen mit Wetterdaten in stündlichen Intervallen. Der Header wird von WUFI überlesen.

Beispiel:

```

Spalte 1: Tag
          2: Monat
          3: Jahr
          4: Uhrzeit
          5: Aussentemperatur IBP
          6: Temperatur schwarze Oberflaeche
          7: Temperatur weisse Oberflaeche
          8: Temperatur Erdoberflaeche
          9: Temperatur 50 cm unter Erdoberflaeche
         10: Temperatur 1 m unter Erdoberflaeche
         11: Globalstrahlung
         12: Diffusstrahlung
         13: West-Strahlung
         14: Rel. Luftfeuchte
         15: Luftdruck
         16: Windgeschwindigkeit
         17: Normalregen Wippe
         18: Normalregen Tropfer
         19: Schlagregen Wippe
         20: Schlagregen Tropfer
        21-37: Windrichtung Haeufigkeiten
01 01 91 01 -0.855E+01 -0.114E+02 -0.113E+02 -0.106E+01 ...
01 01 91 02 -0.923E+01 -0.115E+02 -0.116E+02 -0.113E+01 ...
01 01 91 03 -0.875E+01 -0.113E+02 -0.112E+02 -0.122E+01 ...
01 01 91 04 -0.911E+01 -0.107E+02 -0.107E+02 -0.131E+01 ...
01 01 91 05 -0.768E+01 -0.102E+02 -0.103E+02 -0.138E+01 ...
01 01 91 06 -0.826E+01 -0.106E+02 -0.105E+02 -0.146E+01 ...
01 01 91 07 -0.947E+01 -0.118E+02 -0.116E+02 -0.163E+01 ...
01 01 91 08 -0.116E+02 -0.130E+02 -0.131E+02 -0.186E+01 ...
01 01 91 09 -0.900E+01 -0.110E+02 -0.116E+02 -0.205E+01 ...
01 01 91 10 -0.752E+01 -0.580E+01 -0.781E+01 -0.209E+01 ...
01 01 91 11 -0.521E+01 -0.155E+01 -0.435E+01 -0.190E+01 ...
01 01 91 12 -0.405E+01 0.845E-01 -0.206E+01 -0.159E+01 ...
01 01 91 13 -0.250E+01 0.567E+01 -0.267E+00 -0.129E+01 ...
01 01 91 14 -0.702E+00 0.117E+02 0.383E+00 -0.103E+01 ...

```

etc.

Hilfe_Allgemein_C_UT300a

\$ Details / Das *.WET-Format für Klimadaten

+ 3020

K

WET;Klimadaten;Klimadatei;Wetterdaten;Wetterdatei;IBP-
Wetterdatei;generieren;Temperatur;Temperatur (Oberflächen-);Temperatur
(Erdboden-);Globalstrahlung;Diffusstrahlung;Weststrahlung;relative
Feuchte;Luftdruck;Windgeschwindigkeit
skalar;Normalregen;Schlagregen;Windrichtungshäufigkeiten

(aus Formatierungsgründen können die Zeilen hier nicht in ganzer Länge wiedergegeben werden. Bitte konsultieren Sie ggf. die mitgelieferte Wetterdatei IBP1991.WET).

Die einzige Forderung an das Format der Spalten besteht darin, dass sie von einem PASCAL-Programm (wie WUFI) gelesen werden können.

Es ist kein genaues Spaltenformat einzuhalten (wie in FORTRAN), die Anzahl der Dezimalstellen spielt keine Rolle, die Fließkommazahlen müssen nicht unbedingt in Exponentialschreibweise angegeben sein etc.

Der Zahlentyp `real/integer` muss jedoch eingehalten werden. Die einzelnen Zahlen müssen durch Leerzeichen getrennt werden, nicht durch Tabulatoren.

Der Umstand, dass die Fließkommazahlen vor dem Komma eine Null haben, rührt lediglich daher, dass diese Dateien von einem FORTRAN-Programm erzeugt wurden.

Die Bedeutung der Spalten im Einzelnen:

- **Tag, Monat, Jahr, Uhrzeit** (`integer`):

Die IBP-Wetterdateien enthalten stündliche Mittelwerte der gemessenen Daten. Die in Stundenintervallen aufeinanderfolgenden Zeitangaben beschreiben den Zeitpunkt, zu dem jeweils ein einstündiges Messintervall endete und die gemessenen Mittelwerte abgespeichert wurden. Das heißt, die mit 01 01 91 04 beginnende Datenzeile enthält die Mittelwerte für die Stunde von 03:00 bis 04:00 am 1. Januar 1991.

Als Messdateien enthalten IBP-Wetterdateien ggf. auch Schalttage. WUFI hingegen kennt (in der vorliegenden Version noch) keine Schalttage. Entfernen Sie diese daher aus Dateien, die Sie für Rechnungen verwenden wollen.

Die Messdaten werden durchgehend (auch im Sommer) auf Winterzeit (MEZ) bezogen.

- **Außentemperatur IBP** (`real`):

die Lufttemperatur in [°C]. Sie wird unverändert als Außenlufttemperatur in die WUFI-Klimadatei übernommen.

- Temperatur schwarze Oberfläche (`real`):

- Temperatur weiße Oberfläche (`real`):

Oberflächentemperaturen eines schwarz ($a_s \approx 0.9$) bzw. weiß ($a_s \approx 0.4$) gestrichenen westorientierten Test-Wandausschnitts.

Können **optional** anstelle der Außenlufttemperatur gelesen werden.

- Temperatur Erdoberflaeche (`real`):

- Temperatur 50 cm unter Erdoberflaeche (`real`):

- Temperatur 1 m unter Erdoberflaeche (`real`):

Temperaturen des Erdreichs in entsprechenden Tiefen in [°C].

Können **optional** anstelle der Außenlufttemperatur gelesen werden.

- **Globalstrahlung** (*real*):
die auf eine horizontale Fläche einfallende Summe aus direkter und diffuser Sonnenstrahlung in [W/m²].

- **Diffusstrahlung** (*real*):
die auf eine horizontale Fläche einfallende diffuse Sonnenstrahlung in [W/m²].

Die Differenz aus Global- und Diffusstrahlung ergibt die Direktstrahlung. Umrechnen auf eine senkrecht zur Strahlrichtung stehende Fläche ergibt die Direktnormalstrahlung. Für diese Umrechnung ist die Kenntnis des Zeitpunkts der Messung und der geographischen Lage des Messortes notwendig, da der momentane Sonnenstand berechnet werden muss [2].

Aus der Direktnormalstrahlung lässt sich dann die senkrecht auf eine Fläche mit gegebener Neigung und Orientierung fallende Direktstrahlung bestimmen. Addition des Diffusstrahlungsaspekts gibt dann die auf das Bauteil fallende Globalstrahlung.

Während einer WUFI-Rechnung werden diese Umrechnungen automatisch durchgeführt.

WUFI benutzt dazu ein vereinfachtes Strahlungsmodell, bei dem die Diffusstrahlung als isotrop angesehen und die Bodenalbido vernachlässigt wird. Sollten Sie höhere Ansprüche haben und ggf. auch lokale Besonderheiten berücksichtigen wollen (z.B. Verschattungen), müssen Sie die Umrechnung [selbst durchführen](#) und für WUFI in einer [*.KLI-Datei](#) bereitstellen.

- **West-Strahlung** (*real*):
die mit einem nach Westen orientierten Solarimeter gemessene Globalstrahlung, in [W/m²].
[Optional](#) kann die auf eine (westorientierte) Fassade fallende Strahlungskomponente unmittelbar aus dieser Spalte gelesen werden. Eine Umrechnung wie bei der Benutzung von Global- und Diffusstrahlung entfällt dann.

- **Rel. Luftfeuchte** (*real*):
die relative Luftfeuchte der Außenluft (0..1). Sie wird unverändert von WUFI als relative Außenluftfeuchte in den Rechnungen benutzt.

- **Luftdruck** (*real*)
der auf Meereshöhe reduzierte Luftdruck in [hPA].

- **Windgeschwindigkeit** (*real*)
das skalare Mittel der Windgeschwindigkeit in [m/s]. Wird zur Berechnung des Schlagregens aus dem Normalregen benötigt.

Das skalare Mittel der W. ist der Mittelwert aus den Messwerten eines Anemometers ohne Berücksichtigung der Windrichtung, d.h. wenn der Wind eine Stunde lang mit 2 m/s weht, dabei aber einmal gleichmäßig alle Himmelsrichtungen durchläuft, ist der skalare Mittelwert immer noch 2 m/s, während der vektorielle Mittelwert 0 m/s wäre.

Im vektoriellen Mittel können sich Vektorkomponenten teilweise gegenseitig aufheben. Daher ist das skalare Mittel größer als (oder zumindest gleich groß wie) das vektorielle Mittel.

Die IBP-Wetterdateien enthalten auch Information über die Verteilung der Windrichtungshäufigkeiten (s.u.). Dadurch wird es möglich, Windkomponenten zu ignorieren, die 'von hinten' kommen (und nicht zur Regenlast beitragen) und die übrigbleibenden Richtungen gemäß dem mit der Bauteiloberfläche eingeschlossenen Winkel zu gewichten.

- **Normalregen Wippe** (*real*)

- **Normalregen Tropfer** (*real*)

der mit einer Wippe bzw. einem Tropfer gemessene Normal(d.h. auf eine freistehende horizontale Fläche fallende)regen in [Ltr/m²h] oder gleichbedeutend [mm/h].

Da der Tropfer i.A. zuverlässiger arbeitet, liest WUFI dessen Werte.

Die Regenbelastung einer Wand ist nicht durch den Normalregen, sondern durch den Schlagregen bestimmt. Wo Messwerte über den Schlagregen fehlen, kann er aber aus anderen Messwerten abgeschätzt werden.

Die Regenkoeffizienten R1 und R2 im Dialog "[Orientierung / Neigung / Höhe](#)" erlauben Ihnen, aus Daten über den Normalregen, die Windgeschwindigkeit und Windrichtungshäufigkeiten die Regenbelastung einer beliebig orientierten und geneigten Fläche abzuschätzen nach der Beziehung

$$\text{Regenbelastung} = \text{Regen} \cdot (R1 + R2 \cdot \text{Windgeschwindigkeit})$$

Dabei ist "Regen" der Normalregen und "Windgeschwindigkeit" die auf die Fläche senkrechte Komponente der mittleren Windgeschwindigkeit (gemessen in 10 m Höhe, ohne Bebauungseinfluss). Die betreffende Windgeschwindigkeitskomponente wird aus dem skalaren Mittel der Windgeschwindigkeit (s.o.) und den Windrichtungshäufigkeiten (s.u.) bestimmt.

R1 und R2 hängen stark von der Position der betrachteten Fläche am Gebäude ab. Sollen konkrete Messungen nachgerechnet werden, so empfiehlt sich eine experimentelle Bestimmung der Koeffizienten vor Ort.

Ist eine Messung nicht möglich, so können sie nur grob geschätzt werden. Für senkrecht stehende Flächen ist R1 null, R2 beträgt für von Gebäuden unbeeinflusste freistehende Positionen ca. 0.2 s/m, ist an weniger exponierten Stellen in der Mitte einer Gebäudefassade deutlich kleiner (z.B. 0.07 s/m), an stärker exponierten (an Kanten oder Ecken) evtl. sogar größer [1].

- **Schlagregen Wippe** (*real*)

- **Schlagregen Tropfer** (*real*)

der an einer Westwand in 1.50 m Höhe mit einer Wippe bzw. einem Tropfer gemessene Schlagregen.

Da der Tropfer i.A. zuverlässiger arbeitet, liest WUFI dessen Werte. In [Ltr/m²h] oder gleichbedeutend [mm/h].

Die Werte dieser Spalte können [optional](#) gelesen und für die Variable "Regen" bei der Bestimmung der Regenbelastung verwendet werden (s.o. unter Normalregen). Setzen Sie R1 auf 1 und R2 auf Null, um als Regenbelastung direkt den gemessenen Schlagregen zu erhalten.

- **Windrichtung Häufigkeiten** ($17 \cdot \text{integer}$)

die Verteilung der Windrichtungshäufigkeiten in 22.5°-Sektoren.

Die Windrichtung wird jeweils über 2-Minuten-Intervalle gemittelt und der Zähler des betreffenden Sektors um eins erhöht. Ein spezieller Zähler erfaßt windstille Messperioden. Die Summe aller Zähler über eine Stunde sollte also 30 sein, sofern keine Messausfälle vorliegen.

Die Zuordnung der einzelnen Zähler ist:

NNO-NO-ONO-O-OSO-SO-SSO-S-SSW-SW-WSW-W-WNW-NW-NNW-N-Windstille

Bei der Berechnung des Schlagregens werden die Beiträge der Richtungen, die von vorne auf das Bauteil treffen, einzeln bestimmt und aufsummiert.

Einer vom Benutzer bereitgestellten *.WET-Datei muß zusätzlich eine *.AGD-Datei an die Seite gestellt werden, welche Angaben über die geographische Lage des Klimaorts enthält.

Literatur:

- [1] Künzel, H.M.: Bestimmung der Schlagregenbelastung von Fassadenflächen. IBP-Mitteilung 21 (1994), Nr. 263
- [2] VDI 3789 Umweltmeteorologie, Blatt 2: Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung. Entwurf, Dezember 1992

Weiter mit [Details / Das *.TRY-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.TRY-Format für Klimadaten

Sie können bestehende TRY-Wetterdateien für WUFI-Rechnungen verwenden, Sie können aber auch Ihre eigenen Wetterdaten in dieses Format bringen und verwenden.

Dieses Format wurde vom Deutschen Wetterdienst für die 1986 erstellten Testreferenzjahre verwendet (die neuen, 2004 veröffentlichten, Testreferenzjahre liegen im *.DAT-Format vor). Darüber hinaus wurden einige der mit WUFI [mitgelieferten](#) Klimadateien in dieses Format gebracht.

Die 1986er Testreferenzjahre (TRYs) können inzwischen nicht mehr vom DWD bezogen werden (sie wurden durch die 2004er Testreferenzjahre ersetzt); vorhandene alte TRYs können aber nach wie vor mit WUFI benutzt werden. Sie enthalten synthetische stündliche Klimadatensätze, die - basierend auf langjährigen Jahresmittelwerten und saisonalen Mittelwerten - typische Witterungsverläufe für verschiedene Regionen repräsentieren [1].

Bitte beachten Sie, dass diese (1986er) Testreferenzjahre eventuell nur eingeschränkt für Berechnungen des Feuchtehaushaltes brauchbar sind, da sie ursprünglich nur für thermische Simulationen konzipiert wurden. Die insgesamt anfallenden Niederschlagsmengen werden zwar realistisch wiedergegeben, die Anzahl der Stunden mit Niederschlag ist jedoch zu hoch angesetzt [2]. Bei Baustoffen mit geringer Saugfähigkeit ist die Niederschlagsdauer von größerer Bedeutung als die Niederschlagsmenge.

WUFI kann *.TRY-Dateien in zwei Varianten lesen: der IBP-Variante und der DWD-Variante.

IBP-Variante

TRY-Wetterdateien enthalten erst einen 24zeiligen Header mit Kommentaren und dann 8760 Zeilen mit Wetterdaten in stündlichen Intervallen.

Beispiel:

```
TRY FUER MUENCHEN (KLIMAREGION 9)
STATIONSNUMMER 10866
GEOGR. BREITE: 48.13 GRAD   GEOGR. LAENGE: 11.72 GRAD
STATIONSHOEHE 530 METER
```

```
FORMAT (I5, 1X, F4.2, 1X, I3, 2 (1X, F4.1) , 1X, A2, 1X, F6.2, 1X, F6.1, 1X, F5.1, 1X,
F4.2, 2I4, 1X, E9.3, 2I4)
```

```
REIHENFOLGE DER PARAMETER:
STATIONSNUMMER
BEDECKUNG(0....1)
```

```
#
```

```
$ Details / Das *.TRY-Format für Klimadaten
```

```
+ 3030
```

```
K
```

```
TRY;Klimadaten;Klimadatei;Wetterdaten;Wetterdatei;TRY-
Wetterdatei;Testreferenzjahre;IBP;DWD;Windrichtung;Windgeschwindigkeit
skalar;Windgeschwindigkeit
vektoriell;Normalregen;Schlagregen;Luftdruck;Temperatur;relative
Feuchte;Direktstrahlung;Diffusstrahlung;Gegenstrahlung;
```

```

WINDRICHTUNG (GRAD)
WINDGESCHWINDIGKEIT, SKALARES MITTEL (M/S)
WINDGESCHWINDIGKEIT, VEKTORIELLES MITTEL (M/S)
WETTER ZUM TERMIN (SCHLUESSEL)
NIEDERSCHLAG DER LETZTEN STUNDE (MM)
LUFTDRUCK (HPA)
TEMPERATUR (GRAD CELSIUS)
RELATIVE FEUCHTE (0...1)
DIREKTE SONNENSTRAHLUNG, STUNDENMITTEL (W/M**2)
DIFFUSE HIMMELSTRABLUNG, STUNDENMITTEL (W/M**2)
HELLIGKEIT, STUNDENMITTEL (LUX)
LANGWELLIGE AUSSTRAHLUNG, STUNDENMITTEL (W/M**2)
ATMOSPHAERISCHE GEGENSTRAHLUNG, STUNDENMITTEL (W/M**2)

10866 .63 270 4.1 3.1 1 .01 950.7 -1.0 .80 0 0 0. -279 231
10866 1.00 270 2.0 1.5 .35 950.8 -1.1 .84 0 0 0. -279 251
10866 1.00 250 5.1 4.6 .64 951.0 -1.0 .89 0 0 0. -279 272
10866 1.00 250 3.1 2.6 73 .91 951.2 -.9 .93 0 0 0. -279 275
10866 1.00 270 5.1 4.6 .25 951.5 -.9 .94 0 0 0. -279 277
10866 .88 270 5.1 4.6 .20 951.9 -.9 .93 0 0 0. -279 270
10866 1.00 270 6.1 5.6 71 .23 952.7 -1.0 .93 0 0 0. -279 270
10866 1.00 290 5.1 4.1 .02 953.7 -1.1 .95 0 0 0. -279 276
10866 .88 290 5.1 4.1 .02 954.8 -1.2 .96 0 19 .221E+04-278 270
10866 .88 290 4.6 4.1 22 .02 955.7 -1.0 .93 0 65 .751E+04-279 263
10866 .75 270 5.1 4.6 0.00 956.0 -.6 .84 0 98 .115E+05-280 255
10866 .38 270 6.1 5.6 0.00 956.0 -.2 .75 102 110 .206E+05-281 227
etc.

```

Der Header wird von WUFI überlesen, mit Ausnahme der Zeilen 3 und 4, denen die geographischen Angaben über den Messort entnommen werden.

Da das Dateiformat noch aus FORTRAN-Zeiten stammt, ist der spaltenorientierte Aufbau der Datei streng zu beachten. Es ist allerdings nicht nötig, das genaue Fließkommaformat der einzelnen Zahlen einzuhalten: WUFI liest z.B. die Spalten 42-47 als `string` und konvertiert diesen danach in eine `real`-Zahl.

Die Datei umfasst 8760 Datenzeilen. Die erste davon enthält die Mittelwerte für die Stunde von 0:00 bis 1:00 MEZ am 1. Januar. Einen Schalttag gibt es nicht.

Die Bedeutung der Wetterdaten im Einzelnen:

- Spalte 1-5: Stationsnummer.
Von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 6-10: Bedeckung (0..1).
Zur Zeit von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 11-14: **Windrichtung [Grad].(0..360)**
Zählweise von Nord (0°) über Ost (90°) positiv.
- Spalte 15-19: Windgeschwindigkeit, skalares Mittel [m/s].
Von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 20-24: **Windgeschwindigkeit, vektorielles Mittel [m/s].**
Da in den TRY-Dateien keine Windrichtungshäufigkeiten aufgeschlüsselt werden, muss die dadurch verlorene Information wiedergewonnen werden, indem statt des skalaren Mittels der W. das vektorielle Mittel verwendet wird.

Das vektorielle Mittel der W. ist der Mittelwert aus den Messwerten eines Anemometers unter Berücksichtigung der Windrichtung, d.h. wenn der Wind eine Stunde lang mit 2 m/s weht, dabei aber einmal gleichmäßig alle Himmelsrichtungen durchläuft, ist der vektorielle Mittelwert 0 m/s, während der skalare Mittelwert immer noch 2 m/s wäre.

Bei der vektoriellen Addition der Windgeschwindigkeiten zur Mittelwertbildung können sich Vektorkomponenten gegenseitig aufheben, daher ist das vektorielle Mittel immer kleiner als das oder höchstens gleich dem skalaren Mittel.

Da nach der Mittelwertbildung keine Aufschlüsselung nach einzelnen Richtungen mehr möglich ist, kann auch nicht nach Richtungen unterschieden werden, die von vorn oder von hinten auf das Bauteil treffen (letztere sollten unberücksichtigt bleiben). Bei einer Schlagregenwetterlage weht der Wind aber ohnehin meist aus einem engen Richtungsbereich, so dass dieser Nachteil weniger gravierend ist.

- Spalte 25-27: Wetterzustand nach DWD-Schlüssel für das Wetter zum Termin.
Von WUFI nicht benutzt.

- Spalte 28-34: **Niederschlag der letzten Stunde [mm]**.

Die Regenbelastung einer Wand ist nicht durch den Normalregen, sondern durch den Schlagregen bestimmt. Wo Messwerte über den Schlagregen fehlen, kann er aber aus anderen Messwerten abgeschätzt werden.

Die Regenkoeffizienten R1 und R2 in "[Orientierung / Neigung / Höhe](#)" erlauben Ihnen, aus Daten über den Normalregen, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung die Regenbelastung einer beliebig orientierten und geneigten Fläche abzuschätzen nach der Beziehung

$$\text{Regenbelastung} = \text{Regen} \cdot (R1 + R2 \cdot \text{Windgeschwindigkeit})$$

Dabei ist "Regen" der Normalregen und "Windgeschwindigkeit" die auf die Fläche senkrechte Komponente der mittleren vektoriellen Windgeschwindigkeit (gemessen in 10 m Höhe, ohne Bebauungseinfluss).

R1 und R2 hängen stark von der Position der betrachteten Fläche am Gebäude ab. Sollen konkrete Messungen nachgerechnet werden, so empfiehlt sich eine experimentelle Bestimmung der Koeffizienten vor Ort.

Ist eine Messung nicht möglich, so können sie nur grob geschätzt werden. Für senkrecht stehende Flächen ist R1 null, R2 beträgt für von Gebäuden unbeeinflusste freistehende Positionen ca. 0.2 s/m, ist an weniger exponierten Stellen in der Mitte einer Gebäudefassade deutlich kleiner (z.B. 0.07 s/m), an stärker exponierten (an Kanten oder Ecken) evtl. sogar größer [1].

- Spalte 35-41: **Luftdruck auf Stationshöhe [hPa]**.

Der an der Station gemessene tatsächliche (also nicht auf Meereshöhe reduzierte) Luftdruck. Der Luftdruck geht in den Diffusionsleitkoeffizienten der Luft ein.

- Spalte 42-47: **Lufttemperatur [°C]**.

Wird von WUFI unverändert als Außenlufttemperatur übernommen.

- Spalte 48-52: **relative Feuchte [-] (0..1)**.
Wird von WUFI unverändert als relative Außenluftfeuchte übernommen.
- Spalte 53-56: **direkte Sonnenstrahlung [W/m²]**.
Die direkte (d.h. unmittelbar von der Sonne stammende) Komponente der Sonnenstrahlung, bezogen auf eine horizontale Fläche.

Umrechnen auf eine senkrecht zur Strahlrichtung stehende Fläche ergibt die Direktnormalstrahlung. Für diese Umrechnung ist die Kenntnis des Zeitpunkts der Messung und der geographischen Lage des Messortes notwendig, da der momentane [Sonnenstand berechnet](#) werden muss [3].

Aus der Direktnormalstrahlung lässt sich dann die senkrecht auf eine Fläche mit gegebener Neigung und Orientierung fallende Direktstrahlung bestimmen. Addition des Diffusstrahlungsaspekts gibt dann die auf das Bauteil fallende Globalstrahlung.

Diese Umrechnungen werden von WUFI während eines Rechenlaufs automatisch durchgeführt.

WUFI benutzt dazu ein vereinfachtes Strahlungsmodell, bei dem die Diffusstrahlung als isotrop angesehen und die Bodenalbedo vernachlässigt wird. Sollten Sie höhere Ansprüche haben und ggf. auch lokale Besonderheiten berücksichtigen wollen (z.B. Verschattungen), müssen Sie die Umrechnung [selbst durchführen](#) und für WUFI in einer [*.KLI-Datei](#) bereitstellen.
- Spalte 57-60: **diffuse Himmelsstrahlung [W/m²]**.
Die diffuse (d.h. von der Atmosphäre oder Wolken gestreute) Komponente der Sonnenstrahlung, bezogen auf eine horizontale Fläche.
- Spalte 61-70: Helligkeit [Lux].
Von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 71-74: langwellige Ausstrahlung [W/m²].
Von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 75-78: **atmosphärische Gegenstrahlung [W/m²]**.
Die thermische Abstrahlung der Atmosphäre, bezogen auf eine horizontale Empfangsfläche.
Der Gebrauch der Gegenstrahlungsdaten ist in [Details / Langwelliger Strahlungsaustausch](#) näher beschrieben. Bitte beachten Sie auch die dortigen Hinweise, wenn Ihnen keine Gegenstrahlungsdaten zur Verfügung stehen.

DWD-Variante

Beispiel:

```

TRY ZUERICH WARM 1998 DWDTRY-FORMAT V1
STATION: ZUERICH
LAGE: 47.38 GRAD N.<- B. 8.57 GRAD O. <- L. 556 METER UEBER NN
DATUM DER ERSTELLUNG: MAI 2001 AENDERUNGSNUMMERN: 0-0

FORMAT(I1, 3I2, 1X, F4.2, 1X, I3, 2(1X,F4.1), 1X, I2, 1X, F4.1, 1X,
        F6.1, 1X, F5.1, 1X, F4.2, 1X, I4, 1X, I4, 1X, I7, 1X, I4, 1X, I4)

```

```

REIHENFOLGE DER PARAMETER:
AEANDERUNGSNUMMER/TAG/MONAT/STUNDE
BEDECKUNG IN ACHEL (0.0 ... 1.0) [-]
WINDRICHTUNG, N UEBER O POSITIV [GRAD]
WINDGESCHWINDIGKEIT, SKALARES MITTEL [M/S]
WINDGESCHWINDIGKEIT, VEKTORIELLES MITTEL [M/S]
WETTER ZUM TERMIN (DWD-SCHLUESSEL) [-]
NIEDERSCHLAG [MM/H]
LUFTDRUCK AUF STATIONSHOEHE [HPA]
LUFTTEMPERATUR ['C]
RELATIVE LUFTFEUCHTE (0.0 ... 1.0) [-]
DIREKTE SONNENSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE [W/M**2]
DIFFUSE HIMMELSTRALUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE [W/M**2]
HELLIGKEIT AUF HORIZONTALER FLAECHE [LUX]
LANGWELIGE AUSSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE [W/M**2]
ATMOSPHAERISCHE GEGENSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE [W/M**2]

0 1 1 1 0.50 76 0.7 0.7 0.0 949.4 1.0 0.93 0 0 0 -288
268
0 1 1 2 0.50 90 0.7 0.7 0.0 949.6 1.1 0.93 0 0 0 -289
269
0 1 1 3 0.50 124 0.6 0.6 0.0 949.9 1.3 0.93 0 0 0 -290
270
0 1 1 4 0.50 90 0.3 0.3 0.0 949.7 1.1 0.94 0 0 0 -289
270
0 1 1 5 0.38 0 0.2 0.2 0.0 949.6 1.0 0.94 0 0 0 -288
257
0 1 1 6 0.38 27 0.3 0.3 0.0 949.7 0.9 0.93 0 0 0 -288
256
0 1 1 7 0.38 18 0.4 0.4 0.0 949.9 0.8 0.93 0 0 0 -287
256
0 1 1 8 0.38 18 0.5 0.5 0.0 950.3 0.7 0.93 2 0 0 -287
255
0 1 1 9 0.50 39 0.7 0.7 0.0 950.8 0.7 0.93 0 25 0 -287
267
0 1 110 0.63 27 0.6 0.6 0.0 951.1 1.3 0.91 14 86 0 -290
281
0 1 111 0.63 256 0.5 0.5 0.0 950.8 2.5 0.87 38 159 0 -295
285
0 1 112 0.75 231 0.8 0.8 0.0 950.3 3.9 0.80 38 198 0 -301
299
etc.

```

Von der IBP-Variante unterscheidet sich diese nur durch den Header und die etwas andere Spaltenformatierung der Datenzeilen. Die Daten selbst entsprechen denen der IBP-Variante.

- Spalte 1: Änderungsnummer (von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 2-3: Tag (von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 4-5: Monat (von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 6-7: Stunde (von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 8: leer
- Spalte 9-12: Bedeckung in Achtern (zur Zeit von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 13: leer
- Spalte 14-16: **Windrichtung [Grad]**
- Spalte 17: leer
- Spalte 18-21: Windgeschwindigkeit, skalares Mittel [m/s] (von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 22: leer
- Spalte 23-26: **Windgeschwindigkeit, vektorielles Mittel [m/s]**
- Spalte 27: leer
- Spalte 28-29: Wetter zum Termin (von WUFI nicht benutzt)

- Spalte 30: leer
- Spalte 31-34: **Niederschlag [mm/h]**
- Spalte 35: leer
- Spalte 36-41: **Luftdruck auf Stationshöhe [hPa]**
- Spalte 42: leer
- Spalte 43-47: **Lufttemperatur [°C]**
- Spalte 48: leer
- Spalte 49-52: **Relative Feuchte [-] (0..1)**
- Spalte 53: leer
- Spalte 54-57: **Direkte Sonnenstrahlung auf horizontaler Fläche [W/m²]**
- Spalte 58: leer
- Spalte 59-62: **Diffuse Himmelsstrahlung auf horizontaler Fläche [W/m²]**
- Spalte 63: leer
- Spalte 64-70: Helligkeit auf horizontaler Fläche [lux] (von WUFI nicht benutzt)
- Spalte 71: leer
- Spalte 72-75: Langwellige Ausstrahlung auf horizontaler Fläche [W/m²] (nicht benutzt)
- Spalte 76: leer
- Spalte 77-80: **Atmosphärische Gegenstrahlung auf horizontaler Fläche [W/m²]**

Einer vom Benutzer bereitgestellten *.TRY-Datei muß zusätzlich eine *.AGD-Datei an die Seite gestellt werden, welche ergänzende Angaben über die geographische Lage des Klimaorts enthält.

Literatur:

- [1] Blümel, K. et al.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Forschungsbericht T 86-051.
- [2] Künzel, H.M.: Regendaten für die Berechnung des Feuchtetransports. IBP-Mitteilung 21 (1994), Nr. 265.
- [3] VDI 3789 Umweltmeteorologie, Blatt 2: Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung. Entwurf, Dezember 1992

weiter zu [Details / Das *.DAT-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.DAT-Format für Klimadaten

Das *.DAT-Format wird vom Deutschen Wetterdienst für die neuen (2004 veröffentlichten [1]) Testreferenzjahre benutzt (die alten Testreferenzjahre [2] lagen im *.TRY-Format vor).

Sie können bestehende *.DAT-Wetterdateien (z.B. die des [DWD](#)) für WUFI-Rechnungen verwenden, Sie können aber auch Ihre eigenen Wetterdaten in dieses Format bringen und verwenden.

Hinweis: entsprechend der Zielsetzung der Testreferenzjahre als Grundlage für Energiebedarfsberechnungen enthalten die neuen Testreferenzjahre **keinen Regen** mehr und sind daher nicht geeignet für hygrothermische Simulationen, bei denen Regen eine wesentliche Rolle spielt.

Beispiel:

```

13      1      1      1      1      8      0      0.0      3.6      968.7      5.0      97      61
318    -332    3
13      1      1      1      2      8      230      2.0      4.1      968.1      5.1      95      60
320    -334    3
13      1      1      1      3      8      230      3.0      4.2      968.1      5.1      95      60
321    -335    3
13      1      1      1      4      8      270      1.0      4.0      968.2      5.1      97      21
320    -334    3
13      1      1      1      5      8      190      1.0      4.2      967.9      5.1      95      10
321    -335    3
13      1      1      1      6      8      320      1.0      4.2      968.4      5.2      97      25
321    -335    3
13      1      1      1      7      8      250      1.5      4.6      969.0      5.5      100     2
323    -336    3
13      1      1      1      8      8      270      1.5      4.4      969.0      5.2      95      21
289    -333    3
13      1      1      1      9      7      280      0.5      4.3      969.4      5.3      98      4      29      2
270    -331    3
13      1      1      1      10     8      240      1.5      4.1      969.6      5.2      97      60      0      27      1
320    -334    3
13      1      1      1      11     7      230      2.0      4.3      969.5      5.0      93      21      19      108     2
292    -333    6
13      1      1      1      12     8      270      2.5      5.3      969.2      5.1      89      0      76      1
327    -340    3
13      1      1      1      13     8      270      4.6      5.1      969.4      4.9      86      60      0      31      1
326    -339    3
13      1      1      1      14     8      280      3.6      4.5      969.8      4.7      86      21      0      48      1
289    -334    3
13      1      1      1      15     8      290      5.1      3.4      971.1      4.4      87      25      0      57      1
317    -331    3
13      1      1      1      16     7      300      5.1      3.0      971.9      4.3      87      1      0      1      2
281    -326    3
13      1      1      1      17     6      300      3.6      2.4      973.0      4.0      84
266    -323    3
13      1      1      1      18     5      330      1.0      2.4      973.2      3.8      82
266    -323    3
13      1      1      1      19     7      270      1.0      1.9      973.3      3.9      87      3
291    -322    3

```

Hilfe_Allgemein_C_UT300d

\$ Details / Das *.DAT-Format für Klimadaten

+ 3050

K

DAT;Klimadaten;Klimadatei;Wetterdaten;Wetterdatei;DAT-Wetterdatei;Testreferenzjahr;Bedeckungsgrad;Windrichtung;Windgeschwindigkeit;Temperatur;Lufttemperatur;Luftdruck;relative Feuchte;Direktstrahlung;Diffusstrahlung;Gegenstrahlung;

13	1	1	1	20	7	270	1.5	1.2	973.6	3.8	88
287	-319	3									
13	1	1	1	21	7	260	1.5	0.7	974.1	3.8	91
285	-317	3									
13	1	1	1	22	4	230	1.5	0.4	974.0	3.8	93
240	-312	3									
13	1	1	1	23	4	240	1.5	-0.2	974.0	3.6	94
242	-310	6									
13	1	1	1	24	8	250	1.0	-0.1	974.1	3.8	96
300	-314	3									

- Spalte 1-2: TRY-Region {1..15}.
Von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 3-4: leer.
- Spalte 5-8: Standortinformation {1; 2}
Von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 9-10: leer.
- Spalte 11-12: **Monat** {1..12}
- Spalte 13-14: leer.
- Spalte 15-16: **Tag** {1..28, 30, 31}
- Spalte 17-18: leer.
- Spalte 19-20: **Stunde (MEZ)** {1..24}
- Spalte 21-22: leer.
- Spalte 23: Bedeckungsgrad [Achtel] {0..8; 9}
Bedeckungsgrad mit Wolken in Achteln (9=nicht bestimmbar, z.B. bei Nebel)
Zur Zeit von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 24-25: leer.
- Spalte 26-28: **Windrichtung** [°] {0; 10..360; 999}
90°=Ost,..., 360°=Nord;
0=Windstille, 999 = umlaufender Wind.
- Spalte 29-30: leer.
- Spalte 31-36: **Windgeschwindigkeit** [m/s]
- Spalte 37-38: leer.
- Spalte 39-44: **Lufttemperatur** [°C]
- Spalte 45-46: leer.
- Spalte 47-53: **Luftdruck** [hPa]
auf Stationshöhe.
- Spalte 54-55: leer.

- Spalte 56-61: Wasserdampfgehalt oder Mischungsverhältnis [g/kg]
von WUFI nicht benutzt.
- Spalte 62-63: leer.
- Spalte 64-66: **Relative Feuchte** [%] {1..100}
- Spalte 67-68: leer.
- Spalte 69-70: Wetterereignis der aktuellen Stunde {0..99}
von WUFI nicht benutzt
- Spalte 71-72: leer.
- Spalte 73-76: **Direkte Sonnenbestrahlungsstärke B** [W/m²]
auf eine horizontale Empfangsfläche.
Abwärts gerichtet: positiv;
Nullen: entstehen durch Abrundung geringer Bestrahlungsstärken,
Leerzeichen: astronomisch bedingt keine Strahlung
- Spalte 77-78: leer.
- Spalte 79-82: **Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke D** [W/m²]
auf eine horizontale Empfangsfläche.
Abwärts gerichtet: positiv;
Leerzeichen: astronomisch bedingt keine Strahlung
- Spalte 83: leer.
- Spalte 84: Information, ob B und/oder D Messwert/Rechenwert {1; 2; 3; 4}
von WUFI nicht benutzt
- Spalte 85-86: leer.
- Spalte 87-90: **Bestrahlungsstärke der atmosphärischen Wärmestrahlung**
[W/m²]
"atmosphärische Gegenstrahlung",
auf eine horizontale Empfangsfläche.
Abwärts gerichtet: positiv.

Der Gebrauch der Gegenstrahlungsdaten ist in [Details / Langwelliger Strahlungsaustausch](#) näher beschrieben. Bitte beachten Sie auch die dortigen Hinweise, wenn Ihnen keine Gegenstrahlungsdaten zur Verfügung stehen.
- Spalte 91-92: leer.
- Spalte 93-97: **Bestrahlungsstärke der terrestrischen Wärmestrahlung** [W/m²]
= Spezifische Ausstrahlung der Wärmestrahlung der Erdoberfläche
einschließlich der von ihr reflektierten Wärmestrahlung der Atmosphäre,
auf eine horizontale Empfangsebene.
Aufwärts gerichtet: negativ.

Der Gebrauch der Gegenstrahlungsdaten ist in [Details / Langwelliger Strahlungsaustausch](#) näher beschrieben. Bitte beachten Sie auch die dortigen

Hinweise, wenn Ihnen keine Daten zur terrestrischen Emission zur Verfügung stehen.

- Spalte 98-99: leer.
- Spalte 100: Qualitätsbit für die langwelligen Strahlungsgrößen {1..8} von WUFI nicht benutzt.

Einer vom Benutzer bereitgestellten *.DAT-Datei muß zusätzlich eine *.AGD-Datei an die Seite gestellt werden, welche Angaben über die geographische Lage des Klimaorts enthält.

Literatur:

- [1] Christoffer, J., Deutschländer, Th., Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY, Offenbach 2004.
- [2] Blümel, K. et al.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Forschungsbericht T 86-051.

weiter zu [Details / Das *.WAC-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.WAC-Format für Klimadaten

Das mit Version 4.1 eingeführte **WUFI ASCII Climate** Format ist ein flexibles Textformat für Klimadaten.

Die Datei besteht aus Spalten für die einzelnen Wetterelemente. Anzahl, Inhalt, und Reihenfolge der Spalten sind nicht vorgegeben, sondern können je nach Bedarf gewählt werden. Einleitende Kopfzeilen beschreiben die Inhalte der Spalten.

Eine genauere Spezifizierung des Formats wird in einer künftigen Version des Hilfetextes enthalten sein.

weiter zu [Details / Das *.IWC-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.IWC-Format für Klimadaten

Dieses Dateiformat wird von ASHRAE für die "[International Weather Year for Energy Calculation \(IWEC\)](#)"-Dateien benutzt.

WUFI kann diese Dateien lesen; da das Dateiformat aber recht unübersichtlich ist und zum einen zahlreiche für hygrothermische Rechnungen nicht benötigte Größen enthält, andererseits einige benötigte Größen (z.B. Regen) nur halbquantitativ behandelt sind, empfiehlt es sich nicht, eigene Daten in dieses Format zu konvertieren, um sie für WUFI-Rechnungen zu verwenden. Es wird daher hier nicht näher beschrieben.

Hinweis: Die IWEC-Wetterdateien enthalten keine quantitativen Regendaten, sondern nur einen Regenindikator, der Kategorien wie "wenig", "mittel" oder "viel" Regen anzeigt. Solange keine genaue quantitative Zuordnung geeigneter stündlicher Regenmengen bekannt ist, wird WUFI bei diesen Dateien **keine Regendaten verwenden**.

weiter zu [Details / Das *.WBC-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.WBC-Format für Klimadaten

Das **WUFI Binary Climate** Format ist ein proprietäres Datenformat für Klimadateien, die uns unter der Bedingung zur Verfügung gestellt wurden, dass sie nur mit WUFI verwendbar sein sollen.

weiter zu [Details / Das *.KLI-Format für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Das *.KLI-Format für Klimadaten

Wie in der [Einführung](#) zum Hilfethema 'Klima' bereits ausgeführt, braucht WUFI für jeden Zeitschritt die folgenden Klimadaten:

- die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende **Regenmenge** in [Ltr/m²h]. Bei der Bestimmung dieser Regenmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden.
- die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende **Sonnenstrahlung** in [W/m²]. Bei der Bestimmung dieser Strahlungsmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden.
- die **Temperatur** der Außenluft [°C]
- die **relative Feuchte** der Außenluft [-] (0..1)
- die **Temperatur** der Innenluft [°C]
- die **relative Feuchte** der Innenluft [-] (0..1)
- den **Luftdruck** [hPa]. Da der Luftdruck allerdings nur einen geringen Einfluss auf die Rechnung hat, genügt es auch, ihn lediglich als Mittelwert über den Berechnungszeitraum anzugeben.

Die Regenbelastung kann bei Fehlen direkter Messungen aus dem Normalregen und der Windrichtung und -geschwindigkeit bestimmt werden, der Strahlungseintrag aus globaler (oder direkter) und diffuser Einstrahlung auf eine horizontale Messfläche. Wenn gemessene Wetterdaten benutzt werden, die statt der von WUFI benötigten Regen- und Strahlungsdaten den Normalregen und die Einstrahlung auf eine horizontale Fläche enthalten, kann WUFI diese Umrechnung automatisch während des Rechnungslaufs durchführen, so daß Sie nur die gewünschte [Klimadatei](#) sowie die [Neigung und Orientierung](#) des Bauteils einzugeben brauchen.

Andererseits kann es vorkommen, daß Sie WUFI direkt die benötigten Daten zur Verfügung stellen wollen, z.B. weil Sie sie unmittelbar in der benötigten Form gemessen haben, oder weil Sie eine andere [Umrechnmethode](#) als die von WUFI benutzte verwenden wollen. In diesem Fall können Sie die Daten in eine WUFI-Klimadatei *.KLI schreiben und diese Datei zur Benutzung für die Rechnung [auswählen](#).

Beispiel der ersten Zeilen einer Klimadatei:

```
$WUFI$ 1.1.1991_0.00 - 1.1.1992_0.00
```

```
# Hilfe_Allgemein_C_UT300c
```

```
$ Details / Das *.KLI-Format für Klimadaten
```

```
+ 3060
```

```
K
```

```
KL;Klimadaten;Klimadatei;Wetterdaten;Wetterdatei;Temperatur;relative  
Feuchte;Luftdruck
```

Azimut : 90 °, Neigung : 90 °, Abgeleitet von ibp1991.wet
9.336000000000000E+0004

1	0	0	-8.60	0.87	20	0.50
2	0	0	-9.20	0.85	20	0.50
3	0	0	-8.80	0.87	20	0.50
4	0	0	-9.10	0.85	20	0.50
5	0	0	-7.70	0.82	20	0.50
6	0	0	-8.30	0.81	20	0.50
7	0	0	-9.50	0.80	20	0.50
8	0	0	-11.60	0.79	20	0.50
9	0	18.40	-9	0.86	20	0.50
10	0	62.10	-7.50	0.86	20	0.50
11	0	104	-5.20	0.85	20	0.50
12	0	145	-4.10	0.77	20	0.50
[...]						

↑ Zeit ↑ Regen ↑ Strahlg. ↑ ϑ_a ↑ φ_a ↑ ϑ_i ↑ φ_i

Die Klimadatei besteht im Wesentlichen aus einer Tabelle, deren Zeilen jeweils alle Klimadaten (Regen, Strahlung, Außentemperatur, relative Feuchte außen, Innentemperatur, relative Feuchte innen) für einen bestimmten Zeitraum enthalten.

Die einzige Forderung an das Format der Spalten besteht darin, dass sie von einem PASCAL-Programm (wie WUFI) gelesen werden können. Alle Zahlen werden als `real`-Zahlen gelesen. Die Einträge in jeder Zeile werden durch Leerzeichen getrennt.

Nähere Erläuterungen zu den ersten drei Zeilen finden Sie weiter unten.

Die zeitliche Zuordnung der Klimadaten erfolgt über eine **relative Stundenzählung**, die in der ersten Spalte angegeben ist. Diese Zählung bezieht sich auf einen ebenfalls anzugebenden **Anfangszeitpunkt**, der die absolute zeitliche Lage der Klimadaten fixiert.

Stellen Sie sich am besten vor, die Klimadatei sei durch einen Messrechner erstellt worden, der zum Anfangszeitpunkt mit einer Messreihe begonnen hat und zu bestimmten (nicht unbedingt äquidistanten) Zeitpunkten die Mittelwerte über das letzte Messintervall unter Angabe der momentanen Gesamtdauer der Messung abspeichert.

Der **Anfangszeitpunkt einer Rechnung** muss im von der Klimadatei insgesamt überdeckten Zeitbereich liegen (d.h. er muß auf oder nach dem Anfangszeitpunkt der Klimadatei liegen und vor ihrem Endzeitpunkt).

Die Rechnung kann jedoch über den Endzeitpunkt der Klimadaten hinausgehen (d.h. der **Endzeitpunkt der Rechnung** kann nach dem Endzeitpunkt der Klimadatei liegen); dann wird dieselbe Klimadatei wieder von vorne gelesen (beliebig oft).

Das Format für den Anfangszeitpunkt ist:

Tag.Monat.Jahr_Stunde.Bruchteil z.B. "1.1.2000_14.5".

Stundenbruchteile sind als dezimale Bruchteile zu verstehen: "1.1.2001_0.5" bedeutet eine halbe Stunde nach Mitternacht. Die Stundenbruchteile sind auf zwei Nachkommastellen beschränkt.

Es empfiehlt sich natürlich, den **Zeitschritt der Rechnung** und die Zeitabstände in der Klimadatei geeignet zu koordinieren. Im einfachsten Fall benutzen Sie äquidistante Zeitintervalle in der Klimadatei und setzen die Zeitschrittweite für die Rechnung auf dieselbe Größe.

Wenn Sie eine andere Zeitschrittweite für die Rechnung benutzen wollen, sollten Sie sie möglichst so wählen, dass die Zeitabstände in der Klimadatei ein ganzzahliges Vielfaches davon sind. Andernfalls benutzt WUFI bei der Rechnung leicht abweichende Zeitschritte, die im jeweils aktuellen(*) Klimadatenintervall glatt aufgehen.

(* da die Klimadatei ja nicht unbedingt äquidistante Zeitintervalle enthalten muß.)

Beispiele:

	Klimadaten- intervall	vorgegebener Zeitschritt	von WUFI benutzter Zeitschritt	weil
a)	1 h	1 h	1 h	$1 * 1 = 1$
b)	40 h	6 h	5.714 h	$7 * 5.714 = 40$
c)	42 h	6 h	6 h	$7 * 6 = 42$
d)	44 h	6 h	6.286 h	$7 * 6.286 = 44$
e)	6 h	44 h	6 h	$1 * 6 = 6$

Beispiele zu Klimadateien

• Beispiel 1:

Anfang: 3.4.1994, 0.0

Zeit	Regen	Strahlg.	ϑ_a	φ_a	ϑ_i	φ_i
1	0	0	5.9	0.80	21.1	0.76
2	0	0	5.2	0.86	21.0	0.76
24	0	121.0	11.1	0.63	20.9	0.76
....

Diese Klimadaten besagen, dass am 3.4.1994 um 0 Uhr mit der Messung begonnen wurde, die mittlere Außentemperatur zwischen 0 und 1 Uhr 5.9°C betrug, zwischen 1 und 2 Uhr 5.2°C, und während der 22 Stunden zwischen 2 und 24 Uhr 11.1°C.

• **Beispiel 2:**

Anfang: 1.1.1991, 0.0

Zeit	Regen	Strahlg.	ϑ_a	φ_a	ϑ_i	φ_i
744	0.09	35.7	-2.4	0.77	20.4	0.35
1416	0.03	58.9	-4.4	0.78	19.7	0.49
2160	0.14	48.3	5.4	0.83	20.9	0.38
....

Diese Klimadatei enthält Monatsmittelwerte. Die erste Zeile gibt die Mittelwerte für den Zeitraum vom 1.1.1991 0 Uhr bis zum 31.1.1991 24 Uhr an etc.

• **Beispiel 3:**

Anfang: 31.1.1997, 10.93

Zeit	Regen	Strahlg.	ϑ_a	φ_a	ϑ_i	φ_i
500	1000	0	20	1	20	0.8

Diese aus nur einer Zeile bestehende Klimadatei könnte zum Nachrechnen eines Saugversuchs im Labor benutzt werden.

Das Laborklima bleibt ab dem 31.1.1997 10h56m (=10.93 dezimal) über 500 Stunden konstant. Da WUFI nach dem Ende der Klimadatei wieder von vorne zu lesen beginnt, könnte als Zeitdauer auch 1 h verwendet werden, so dass dieselbe Zeile immer wieder gelesen wird. Dann ist allerdings keine Rechenschrittweite größer als 1 h möglich (s.o.; eine größere eingegebene Rechenschrittweite würde von WUFI automatisch auf 1 h reduziert).

(Die saugende Oberfläche wird in dieser Rechnung zur 'Außenoberfläche' deklariert, das aufzusaugende Wasser als 'Regen' angeboten in einer Menge, die das pro Zeitschritt aufgenommene Wasser sicher übersteigt. Vgl. dazu auch die Erläuterungen im Kapitel [Fragen & Antworten](#).)

• **Beispiel 4:**

Anfang: 23.1.1998, 10.50

Zeit	Regen	Strahlg.	ϑ_a	φ_a	ϑ_i	φ_i
1215	1000	0	21	1	20	0.80
3410	0	0	21	0.65	20.5	0.82

Diese Klimadatei könnte zum Nachrechnen eines Saug- und Trockenversuches im Labor benutzt werden.

Das Experiment begann am 23. Januar 1998 um 10:30. Die Probe stand 1215 Stunden lang im Wasser und trocknete dann (3410 - 1215 =) 2195 Stunden lang aus.

Erstellen eigener KLI-Dateien

Wenn Sie Ihre eigenen Wetterdaten für eine WUFI-Rechnung verwenden wollen, können Sie diese ins [WET](#)- oder [TRY](#)-oder [DAT](#)-Format konvertieren und in dieser Form unmittelbar für eine Rechnung verwenden.

Wenn Sie Regen- und Strahlungsdaten direkt für die betrachtete Oberfläche bestimmt haben, erübrigt sich eine [richtungsbezogene Umrechnung](#), und Sie können diese Daten in eine KLI-Datei schreiben und in dieser Form für eine Rechnung verwenden.

Das KLI-Format bietet sich auch an, wenn Sie z.B. andere Umrechnenmethoden verwenden oder gemessene Innenklimawerte verwenden wollen etc.

In einem solchen Fall müssen Sie lediglich eine ASCII-Datei schreiben, die dem oben erläuterten KLI-Format entspricht: erst drei Headerzeilen, dann für jeden Zeitschritt eine Klimadatenzeile.

Sie können dazu im Prinzip jedes Editorprogramm verwenden, das Ihnen gestattet, die eingegebenen Daten in einem reinen ASCII-Format zu schreiben, z.B. einen Texteditor wie das Windows-Notepad, oder ein selbstgeschriebenes Programm, das die Daten auf die gewünschte Weise berechnet oder konvertiert und in eine Datei schreibt.

Fall Sie Excel benutzen, um eine KLI-Datei zu erstellen, speichern Sie die Daten unter Verwendung eines der ASCII-Formate *.TXT oder *.PRN ab, da WUFI das Excel-eigene Format *.XLS nicht lesen kann, und benennen Sie die Datei anschließend auf die Namensweiterung *.KLI um.

Zu beachten ist lediglich, dass die zweite Headerzeile des KLI-Formats Informationen an bestimmten Positionen enthalten muss, damit sie von WUFI gelesen werden können (sie ist wesentlich länger als die Zeilendarstellung in einem ASCII-Editor, was man wegen der vielen Leerzeichen nicht sofort sieht). Am besten kopieren Sie diese Zeile aus einer mitgelieferten KLI-Datei in Ihre Datei. Die darin enthaltene Generierungs-Information ist dann zwar nicht korrekt, sie hat aber keinen Einfluss auf die Rechnung.

Das Tool `KLI_Create.exe` im `Tools`-Verzeichnis dient zur einfachen Erstellung einer *.KLI-Datei mit Monatsmittelwerten für Temperatur und Feuchte, sowie ohne Regen und Strahlung.

Weiter mit [Details / Die *.AGD-Datei](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Die *.AGD-Datei

Die Klimadateien enthalten in der Regel die auf eine horizontale Empfangsfläche einfallende Sonnenstrahlung (Ausnahme: *.KLI-Dateien). Soll die Sonneneinstrahlung bei der hygrothermischen Simulation einer nicht horizontal ausgerichteten Bauteiloberfläche berücksichtigt werden, so muß für jeden Zeitschritt die auf die entsprechend **geneigte und orientierte** Oberfläche einfallende **Strahlungskomponente** bestimmt werden. Dazu ist der jeweilige Sonnenstand zu berechnen werden, was wiederum Kenntnis der **geographischen Koordinaten** und der **Zeitzone** des Meßorts voraussetzt.

Diese Angaben sind in der Regel in den Klimadateien selbst nicht vollständig vorhanden und müssen daher anderweitig bereitgestellt werden.

Für die mit WUFI gelieferten Dateien sind die Angaben, sofern nicht in der Klimadatei selbst enthalten, in der Datenbank abgelegt. Für vom Benutzer bereitgestellte Dateien muß ggf. zusätzlich zur Klimadatei eine *.AGD-Datei ("additional geographic data") angelegt werden.

Beispiel (vgl. `example.agd` im `Projects`-Verzeichnis):

```
Additional Geographic Data
Showing data for Holzkirchen as an example
Longitude, Latitude  [°] (East, North is Positive)
HeightAMSL          [m]
TimeZone            [hours from UTC]
```

```
[WUFI]
Longitude=11.73
Latitude=47.88
HeightAMSL=680
TimeZone=1
```

Die Zeilen vor der Abschnittsmarke `[WUFI]` werden beim Lesen ignoriert und können beliebigen Kommentar enthalten. Im Abschnitt `[WUFI]` folgen die in der Klimadatei selbst fehlenden Angaben zu geographischer Länge (Longitude), geographischer Breite (Latitude), Höhe über Normalnull (Height) und Zeitzone (TimeZone). Benötigt werden:

Dateiformat:	Longitude	Latitude	Height	TimeZone
*.WET	x	x	x	x
*.TRY	-	-	-	x
*.DAT	x	x	x	x
*.IWC	-	-	-	-
*.KLI	-	-	-	-
*.WBC	-	-	-	-

Hilfe_Allgemein_C_UT300f

\$ Details / Die *.AGD-Datei

+ 3070

K AGD;AGD-Datei;geographische Koordinaten;Höhe;Zeitzone;UTC;Greenwich

Für die Zeitzone ist anzugeben, um wieviele Stunden die Zeitzone des Meßorts gegenüber der Greenwich-Zeit UTC versetzt ist (Beispiele: MEZ = 1; Eastern Standard Time = -5).

Falls Angaben, die in der Klimadatei bereits vorhanden sind, in der AGD-Datei mit abweichenden Werten wiederholt werden, werden die Daten aus der Klimadatei verwendet.

Der Name der AGD-Datei leitet sich aus dem Namen der zugehörigen Klimadatei durch Anhängen der Endung `.AGD` ab, z.B. `Aberystwyth.TRY.AGD`. WUFI erwartet die AGD-Datei im selben Verzeichnis wie die zugehörige Klimadatei.

Weiter mit [Details / Quellen für Klimadaten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Quellen für Klimadaten

Eine Reihe von Wetterdateien befindet sich im [Lieferumfang](#) von WUFI. Wir weisen auf die folgenden Quellen hin, aus denen Wetterdaten für zusätzliche Standorte bezogen werden können. WUFI kann die betreffenden Dateiformate lesen; die Brauchbarkeit für den jeweiligen Anwendungsfall muß jeweils der Benutzer beurteilen.

Testreferenzjahre:

Der Deutsche Wetterdienst bietet für alle Klimaregionen Deutschlands Testreferenzjahre für typische wie auch extreme Wetterverhältnisse an:

"Klima und Klimatechnik verbinden? - TRY!

Testreferenzjahre (TRY) sind speziell zusammengestellte Datensätze, die für jede Stunde eines Jahres verschiedene meteorologische Daten enthalten. Sie sollen einen mittleren, aber für das Jahr und eine bestimmte Region typischen Witterungsverlauf repräsentieren. Solche Datensätze werden vor allem für Simulationen und Berechnungen im heizungs- und raumluftechnischen Bereich von Planern und Ingenieuren genutzt.

Der DWD hat im November 2004 neue TRY herausgegeben. Sie sind Bestandteil der Publikation *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse (TRY)*. Darin werden die Testreferenzjahre ausführlich beschrieben. Deutschland wurde in 15 verschiedene TRY-Regionen eingeteilt. Für jede Region gibt es Datensätze für ein mittleres Jahr, einen warmen Sommer und einen kalten Winter, jeweils als ASCII- und Excel-Datei. Alle insgesamt 90 Datensätze liegen der Publikation auf einer CD bei.

Damit stehen jetzt erstmals TRY für die neuen Bundesländer - und damit für ganz Deutschland - zur Verfügung. Der Bezugszeitraum entspricht der international vereinbarten Referenzperiode (1961-1990). Die Auswahl der meteorologischen Parameter erfolgte entsprechend der DIN 4710 und genügt damit den Anforderungen der Heizungs-Klima-Lüftungstechnik. Und wie erwähnt: neben den mittleren Jahresdaten enthalten die Testreferenzjahre von Deutschland jetzt auch Datensätze für einen kalten Winter und für einen warmen Sommer."

(<http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/Statistiken/TRY/TRY.htm>)

Leider enthalten diese neuen Testreferenzjahre (im Gegensatz zu den 'alten' Testreferenzjahren von 1986) keine Niederschlagsdaten mehr, sind also nicht für Untersuchungen geeignet, bei denen Niederschlag eine Rolle spielt.

Die Repräsentanzstationen für die Testreferenzjahre sind in WUFIs Auswahlkarte bereits [vordefiniert](#). Die betreffenden Dateien müssen nur in WUFIs `Climate-` Verzeichnis kopiert werden, wo sie von WUFI beim nächsten Start erkannt werden. Sie können dann einfach über die [Auswahlkarte](#) aufgerufen werden.

METEONORM:

Die Firma METEOTEST bietet mit METEONORM ein Programm zur Erzeugung synthetischer stündlicher Wetterdaten:

Quellen_fuer_Klimadaten

\$ Details / Quellen für Klimadaten

+ 3080

K Testreferenzjahre;DWD;METEONORM;METEOTEST;ASHRAE;IWEC

"METEONORM 5.0 (Edition 2003) is based on over 18 years of experience in the development of meteorological databases for energy applications. It is a comprehensive meteorological reference, incorporating a catalogue of meteorological data and calculation procedures for solar applications and system design at any desired location in the world. METEONORM addresses engineers, architects, teachers, planners and anyone interested in solar energy and climatology.

...

Several databases from different parts of the world have been combined and checked for their reliability. In the present version, most of the data is taken from the GEBA (Global Energy Balance Archive), from the World Meteorological Organization (WMO/OMM) Climatological Normals 1961–1990 and from the Swiss database compiled by MeteoSwiss.

Monthly climatological (long term) means are available for the following parameters:

- global radiation
- ambient air temperature
- humidity
- precipitation, days with precipitation
- wind speed and direction
- sunshine duration

...

For many regions of the world, measured data may only be applied within a radius of 50 km from weather stations. This makes it necessary to interpolate parameters between stations. Interpolation models for solar radiation, temperature and additional parameters, allowing application at any site in the world, are included in the software.

...

From the monthly values (station data, interpolated data or imported data), METEONORM calculates hourly values of all parameters using a stochastic model. The resulting time series correspond to "typical years" used for system design.

(http://www.meteotest.ch/en/mn_description?w=ber)

Hinweis: METEONORM kann auch Klimadaten direkt in dem von WUFI lesbaren TRY-Format ausgeben.

Österreichische Testreferenzjahre

Neben den drei mitgelieferten Wetterdateien stehen auch Wetterdaten für zahlreiche andere österreichische Orte zur Verfügung.

Der Vertrieb erfolgt über

QUADRUPLE-M Elsässer GmbH
Technisches Büro für Bauphysik
GF Dr. Manfred Elsässer
Erzherzog-Eugen-Straße 14/1
A-6020 Innsbruck

Tel. und Fax +43 512 251401
Fax +43 512 378550
Mobil +43 664 4324814
E-mail office@quad-m.at oder manfred.elsaesser@uibk.ac.at

ASHRAE CD-ROM: International Weather for Energy Calculations (IWEC)

"Contains "typical" weather data in ASCII format, suitable for use with building energy simulation programs, for 227 locations outside the USA and Canada. The files are derived from

up to 18 years of DATSAV3 hourly weather data originally archived at the National Climatic Data Center. The weather data are supplemented by solar radiation estimated on an hourly basis from earth-sun geometry and hourly weather elements, particularly cloud amount information. This CD is the result of ASHRAE Research Project 1015. The CD contains the user's manual and complete research report in PDF, the weather data in printable ASCII format and a version of Adobe Acrobat Reader. To run Acrobat Reader, a 486 or Pentium-based computer and either Microsoft Windows 95 or Windows NT 3.5 or later is required. Will also run on a Macintosh. For Windows 95 and NT, 8MB of RAM (16MB recommended) and 10MB of free hard-disk space are required."

[\(http://resourcecenter.ashrae.org/store/ashrae/newstore.cgi?itemid=9448&view=item&page=1&loginid=2167053&words=iwec&method=and&\)](http://resourcecenter.ashrae.org/store/ashrae/newstore.cgi?itemid=9448&view=item&page=1&loginid=2167053&words=iwec&method=and&)

Hinweis: Die IWEC-Wetterdateien enthalten keine quantitativen Regendaten, sondern nur einen Regenindikator, der Kategorien wie "wenig", "mittel" oder "viel" Regen anzeigt. Solange keine genaue quantitative Zuordnung geeigneter stündlicher Regenmengen bekannt ist, wird WUFI bei diesen Dateien **keine Regendaten verwenden**.

Die CD enthält Dateien für die folgenden Orte:

NOR:	Bergen, Oslo/Fornebu	SAU:	Riyadh
SWE:	Kiruna, Ostersund/Froson, Karlstad, Stockholm/Arlanda, Goteborg, Landvetter	ARE:	Abu Dhabi
FIN:	Tampere, Helsinki	PAK:	Karachi
GBR:	Aberdeen/Dyce, Oban, Leuchars, Aughton, Finningley, Hemsby, Birmingham, London/Gatwick, Jersey/Channel Islands, Belfast	IND:	New Delhi, Ahmadabad, Calcutta, Nagpur, Bombay, Goa/Panaji, Madras, Trivandrum
IRL:	Valentia Observatory, Kilkenny, Birr, Dublin, Clones, Belmullet, Malin	MNG:	Ulaangom, Ulaanbataar
ISL:	Reykjavik	MAC:	Macau
DNK:	Copenhagen	TWN:	Taipei
NLD:	Amsterdam, Groningen, Beek	PRK:	Ch'ongjin, P'yongyang, Haeju
BEL:	Oostende, Brussels, Saint Hubert	KOR:	Kangnung, Inch'on, Ulsan, Kwangju
CHE:	Geneva	JPN:	Sapporo, Matsumoto, Nagoya, Tokyo/Hyakuri, Miho (CIV/JASDF), Shimonoseki, Osaka, Kagoshima, Tosashimizu
FRA:	Brest, Paris/Orly, Nancy, Strasbourg, Nantes, Dijon, Clermont-Ferrand, Lyon, Bordeaux, Montpellier, Marseille, Nice	THA:	Bangkok
ESP:	Santander, Barcelona, Madrid, Valencia, Palma, Sevilla	MYS:	George Town, Kota Baharu, Kuala Lumpur
PRT:	Lajes, Porto, Coimbra, Faro, Evora, Braganca	SGP:	Singapore
DEU:	Hamburg, Bremen, Berlin, Dusseldorf, Koln, Frankfurt am Main, Mannheim, Stuttgart, Munich	VNM:	Hanoi
AUT:	Linz, Vienna/Schwechat, Innsbruck, Salzburg, Graz	CHN:	Harbin, Urumqi, Lanzhou, Shenyang, Beijing, Kunming, Shanghai, Guangzhou
CZE:	Prague, Ostrava	MAR:	Casablanca/Nouasser
SVK:	Bratislava, Kosice	DZA:	Algiers
POL:	Kolobrzeg, Poznan, Warsaw, Krakow	TUN:	Tunis
HUN:	Szombathely, Debrecen	SEN:	Dakar
SVN:	Ljubljana	LBY:	Tripoli
BIH:	Banja Luka	EGY:	Cairo, Aswan
YUG:	Belgrade, Podgorica	KEN:	Nairobi
ROM:	Cluj-Napoca, Timisoara, Galati, Bucharest, Craiova, Constanta	MDG:	Antananarivo
BGR:	Varna, Sofia, Plovdiv	ZWE:	Harare
ITA:	Torino, Milan, Venice, Genova, Pisa, Rome, Naples, Brindisi, Palermo, Messina	ZAF:	Johannesburg, Cape Town
GRC:	Thessaloniki, Andravida, Athens	MEX:	Mexico City, Veracruz, Acapulco
TUR:	Istanbul, Ankara, Izmir	CUB:	Havana
CYP:	Larnaca	MTQ:	Fort-de-France
RUS:	Arkhangel'sk, Yakutsk, Saint-Petersburg, Moscow, Ekaterinburg, Omsk, Samara, Irkutsk, Chita	COL:	Bogota
LTU:	Kaunas	VEN:	Caracas
BLR:	Minks	BRA:	Belem, Recife, Brasilia, Sao Paulo
UKR:	Kiev, Odessa	ECU:	Quito
KAZ:	Semipalatinsk	PER:	Lima, Cuzco, Arequipa
UZB:	Tashkent	BOL:	La Paz
SYR:	Damascus	CHL:	Antofagasta, Easter Island, Santiago, Concepcion, Punta Arenas
ISR:	Jerusalem	PRY:	Asuncion
		URY:	Montevideo
		ARG:	Buenos Aires
		FJI:	Nadi
		NZL:	Auckland, Wellington, Christchurch
		AUS:	Darwin, Learmonth, Port Hedland, Brisbane, Perth, Adelaide, Sydney, Melbourne, Canberra
		BRN:	Bandar Seri Begawan
		MYS:	Kuching
		PHL:	Manila

Japanische Wetterdaten

Es stehen Wetterdateien für insgesamt 842 japanische Orte zur Verfügung (Expanded AMeDAS Weather Data).

Solche Dateien können bezogen werden über

Ecology/Economy/Energy/Experience/External Insulation
E I, Ltd. (E-Information, Ltd.)
Environmental Construction Consultant

Masazumi Horiuchi
President

TOKYO 3-16-6-302 Toranomon, Minato-ku, Tokyo 105-0001
SAPPORO 11-11-10 Sumikawarokujo, Minami-ku, Sapporo 005-0006 Tel.&Fax.+81-11-581-7006
(Both offices) Mobile 090-3773-1021 E-mail e-info@ace.ocn.ne.jp

http://f-ei.jp/archives/wufi_pro

Die entsprechenden Orte sind in WUFIs Auswahlkarte bereits **vordefiniert** (siehe dort für eine Liste der Orte). Die betreffenden Dateien müssen nur in WUFIs **Climate-Verzeichnis** kopiert werden, wo sie von WUFI beim nächsten Start erkannt werden. Sie können dann einfach über die **Auswahlkarte** aufgerufen werden.

Weiter mit [Details / Langwelliger Strahlungsaustausch](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / Langwelliger Strahlungsaustausch

Einführung

Temperaturen von Außenoberflächen werden neben Wärmeströmen infolge Wärmeleitung im Bauteil und konvektivem Wärmeaustausch mit der umgebenden Luft auch maßgeblich durch **Strahlungseinflüsse** bestimmt.

Kurzwellige Strahlung (mit Wellenlängen von ca. 0.5 - 1 μm) stammt von der Sonne, erreicht Werte bis ca. 1000 W/m^2 , weist einen ausgeprägten Tagesgang auf und ist nachts nicht vorhanden. Bauteile können kurzwellige Strahlung absorbieren aber nicht selbst aussenden.

Langwellige Strahlung (mit Wellenlängen um 10 μm) wird von terrestrischen Gegenständen (Wände, Erdboden, ...) als Wärmestrahlung abgegeben, erreicht je nach Temperatur der Sendefläche mehrere hundert W/m^2 und ist ständig präsent. Bauteile können aus der Umgebung stammende langwellige Strahlung absorbieren, emittieren aber auch selbst welche und stehen daher in einem ständigen langwelligen Strahlungsaustausch mit der Umgebung. Der in der Sonnenstrahlung enthaltene langwellige Anteil ist (wegen der wesentlich geringeren Winkelausdehnung der Sonnenscheibe als Quelle) gegenüber der langwelligen Strahlung aus irdischen Quellen völlig vernachlässigbar.

Da die irdischen Strahlungspartner meist untereinander ähnliche Temperaturen haben, ist ihre langwellige Strahlungsbilanz ziemlich ausgeglichen, und trotz des erheblichen hin- und hergehenden Energieumsatzes sind die ausgetauschten **Netto-Strahlungsströme** relativ gering. Die Gleichung zur Beschreibung des Strahlungsaustauschs, welche eigentlich die beteiligten absoluten Temperaturen in der vierten Potenz enthält, kann wegen der üblicherweise kleinen Temperaturdifferenz in guter Näherung linearisiert werden. Der Energiefluss ist dann proportional zur Temperaturdifferenz der Strahlungspartner:

$$E = \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{Umgebung}}^4 - \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{Oberfläche}}^4 \approx a_s \cdot \Delta T$$

und verhält sich daher ganz ähnlich wie der konvektive Wärmestrom zwischen Bauteiloberfläche und Außenluft:

$$q = a_K \cdot (T_{\text{Luft}} - T_{\text{Oberfläche}})$$

Unter der Annahme, dass die Umgebung sich näherungsweise auf Lufttemperatur befindet und die Strahlungspartner ähnliche Emissionsgrade haben, lassen sich beide Gleichungen zusammenfassen und beschreiben dann den durch Konvektion und Strahlung verursachten Gesamtwärmestrom (vgl. die Erläuterungen zum

Langwelliger_Strahlungsaustausch

\$ Details / Langwelliger Strahlungsaustausch

+ 3085

K langwelliger Strahlungsaustausch;Gegenstrahlung;atmosphärische Gegenstrahlung;terrestrische Gegenstrahlung

Wärmeübergangskoeffizienten):

$$q = (a_K + a_S) \cdot \Delta T = a \cdot \Delta T$$

In der Bauphysik wird üblicherweise diese Näherungsformel für die Berechnung des Wärmeaustauschs verwendet; sie erspart die explizite Berücksichtigung des langwelligen Strahlungsaustauschs. Auch WUFI berechnet üblicherweise den Wärmeaustausch mit der Umgebung auf diese Weise.

Nächtliche Unterkühlung

Auch wenn eine Bauteiloberfläche sich auf derselben Temperatur befindet wie die terrestrische Umgebung, so erleidet sie doch einen gewissen langwelligen **Strahlungsverlust**. Sie steht nämlich nicht nur mit der terrestrischen Umgebung im Strahlungsaustausch, sondern auch mit dem Himmel, d.h. mit der Atmosphäre als Strahlungspartner. Die Bestandteile der Atmosphäre sind jedoch schlechte Wärmestrahler: die zweiatomigen Moleküle N₂ und O₂ geben fast gar keine Wärmestrahlung ab, und nur die in Spuren vorhandenen so genannten Treibhausgase (Wasserdampf, CO₂, O₃ etc.) können aufgrund ihrer Molekülstruktur im langwelligen Bereich strahlen.

Sie sind sehr effiziente Strahler, aber im Gegensatz zu Festkörpern und Flüssigkeiten, welche ein kontinuierliches Strahlungsspektrum ("Plancksches Spektrum") abgeben, erzeugen die Gase nur Linienspektren, welche bei bestimmten Wellenlängen erhebliche **Lücken** aufweisen. Die von der Atmosphäre insgesamt abgegebene Strahlung ist um den in diesen Lücken fehlenden Betrag geringer als die Strahlungsleistung eines Festkörpers gleicher Temperatur.

Während also eine Bauteiloberfläche ihre **langwellige Emission** gleichmäßig in den gesamten von ihr überblickten Halbraum abstrahlt, erhält sie nur aus dem von terrestrischen Objekten eingenommenen Raumwinkel langwellige Strahlung vergleichbarer Intensität zurück (die so genannte **terrestrische Gegenstrahlung**). Die aus dem vom Himmel eingenommenen Raumwinkel einfallende langwellige Strahlung (die so genannte **atmosphärische Gegenstrahlung**) ist dagegen meist geringer als die in Richtung Himmel abgegebene Emission - selbst wenn Atmosphäre und Bauteiloberfläche dieselbe Temperatur haben. Eine Bauteiloberfläche gibt also mehr langwellige Strahlung ab als sie aus der gesamten Umgebung zurückerhält und erleidet dadurch einen ständigen Wärmeverlust.

Am Tag macht sich dieser Wärmeverlust wegen der Wärmegewinne durch einfallende Sonnenstrahlung nicht weiter bemerkbar. Nachts jedoch wird der Verlust nicht kompensiert und führt in der Regel zur **Unterkühlung** der Bauteiloberfläche unter die Außenlufttemperatur. Tauwasserausfall und Veralgungs- sowie Schimmelpilzrisiko sind mögliche Folgen.

Wolken bestehen aus Wassertröpfchen oder Eiskristallen, welche ein vollständiges Plancksches Spektrum abstrahlen. Befinden sich Wolken am Himmel, können diese das Strahlungsdefizit der Atmosphärgase teilweise oder ganz kompensieren. Die Intensität der atmosphärischen Gegenstrahlung hängt daher neben der Lufttemperatur und dem Wasserdampfgehalt stark vom momentanen **Bewölkungsgrad** ab. Typische Werte für die von einem wolkenlosen Himmel abgegebene Gegenstrahlung liegen in gemäßigten Breiten zwischen ca. 180 W/m² (kalte, trockene Luft) und ca. 400 W/m² (warme, feuchte Luft). Bei geschlossener

opaker Wolkendecke strahlt der Himmel wie ein Planckscher Strahler, dessen Temperatur der aktuellen Taupunkttemperatur der Luft entspricht.

Das Ausmaß des Strahlungsverlustes und damit der Unterkühlung hängt auch von der **Neigung** der Bauteiloberfläche ab. Horizontale Flächen (z.B. Flachdächer) haben ausschließlich den Himmel als Strahlungspartner und unterkühlen daher besonders stark. Senkrechte Flächen (z.B. Fassaden) erleiden nur in einen Teil ihres Gesichtsfeldes hinein einen Verlust; der Austausch mit dem terrestrischen Teil des Gesichtsfeldes ist in der Regel relativ ausgeglichen.

Oberflächen mit geringer **thermischer Trägheit** (z.B. Oberflächen von Wärmedämmverbundsystemen) unterkühlen während einer Nacht stärker als Oberflächen mit größeren Wärmereserven (z.B. Oberflächen von Massivwänden).

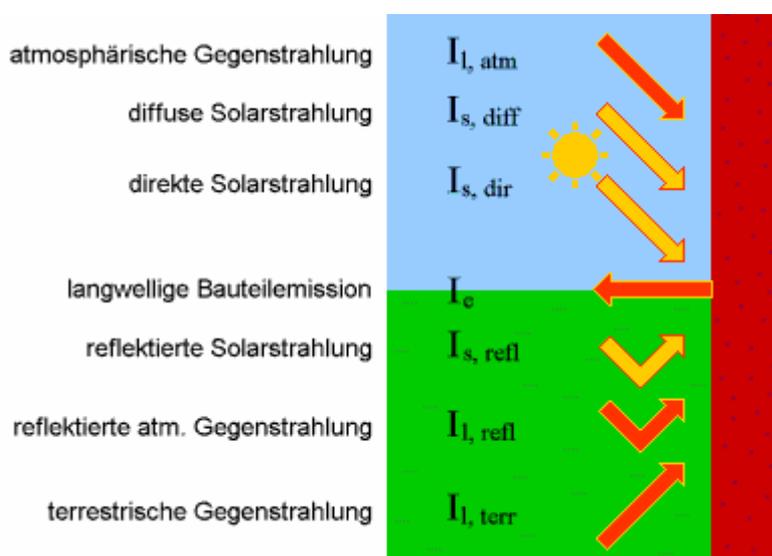
Strahlungskomponenten

In einer Unterkühlungssituation sind strahlungsbedingter und konvektiver Wärmestrom an der Oberfläche einander entgegen gerichtet: Strahlungsleistung wird von der Oberfläche an den Himmel verloren, der konvektive Wärmestrom fließt hingegen von der (wärmeren) Außenluft zur (kälteren) Oberfläche. Diese Situation läßt sich mit der vereinfachten Formel (s.o.)

$$q = (a_K + a_S) \cdot \Delta T = a \cdot \Delta T$$

nicht nachvollziehen, da sie gleiche Richtung beider Energieströme voraussetzt. Soll Unterkühlung rechnerisch modelliert werden, so muss also der Strahlungsanteil aus dem Wärmeübergangskoeffizienten wieder entfernt und der langwellige Strahlungsaustausch getrennt vom konvektiven Wärmeaustausch berechnet werden. Es bietet sich an, kurz- und langwelligen Strahlungsaustausch gemeinsam zu behandeln.

Wenn der Benutzer die Verwendung einer solchen vollständigen Strahlungsbilanz wünscht, berücksichtigt WUFI die folgenden **kurz- und langwelligen Strahlungskomponenten** (vgl. [2]):



direkte Solarstrahlung:

die auf die Bauteiloberfläche fallende Komponente des direkt von der Sonne kommenden Anteils der kurzwelligen Sonnenstrahlung. WUFI berechnet sie mittels Sonnenstand und Bauteilausrichtung aus der Direkthorizontalstrahlung, welche wiederum direkt aus der Wetterdatei gelesen werden kann oder aus Global- und Diffusstrahlung zu ermitteln ist.

diffuse Solarstrahlung:

der an Atmosphäre und Wolken gestreute, aus allen Richtungen einfallende Anteil der kurzwelligen Sonnenstrahlung.

Dieser Wert ist noch mit dem Gesichtsfeldfaktor des Himmels (s.u.) zu multiplizieren; das Ergebnis ist der auf die Bauteiloberfläche fallende Anteil der diffusen Sonnenstrahlung.

reflektierte Solarstrahlung:

die kurzwellige Sonnenstrahlung, die das Bauteil erreicht, nachdem sie vom Erdboden oder anderen terrestrischen Objekten reflektiert wurde. Dieser Wert wird aus der Summe von direkter und diffuser Solarstrahlung sowie der terrestrischen kurzwelligen Reflektivität berechnet.

Er ist noch mit dem Gesichtsfeldfaktor der terrestrischen Umgebung (s.u.) zu multiplizieren; das Ergebnis ist der auf die Bauteiloberfläche fallende Anteil der reflektierten Sonnenstrahlung.

atmosphärische Gegenstrahlung:

die langwellige vom Himmel (Atmosphäre + Wolken) ausgesandte Strahlung.

Sie wird - je nach Wetterdateityp - direkt aus der Wetterdatei gelesen oder mittels eines empirischen Modells aus anderen Wetterelementen und dem Bewölkungsgrad abgeschätzt. In manchen Wetterdateitypen sind stündliche Angaben zum Bewölkungsgrad vorhanden, andernfalls kann der Benutzer einen festen Bewölkungsgrad eingeben (wodurch die Qualität der geschätzten Gegenstrahlungswerte stark abnimmt).

Die so bestimmten Gegenstrahlungswerte sind noch mit dem Gesichtsfeldfaktor des Himmels (s.u.) zu multiplizieren; das Ergebnis ist der auf die Bauteiloberfläche fallende Anteil der atmosphärischen Gegenstrahlung.

reflektierte atmosphärische Gegenstrahlung:

die atmosphärische Gegenstrahlung, die das Bauteil erreicht, nachdem sie vom Erdboden oder sonstigen terrestrischen Objekten reflektiert wurde. Dieser Wert wird aus der atmosphärischen Gegenstrahlung und der terrestrischen langwelligen Reflektivität berechnet.

Er ist noch mit dem Gesichtsfeldfaktor der terrestrischen Umgebung (s.u.) zu multiplizieren; das Ergebnis ist der auf die Bauteiloberfläche fallende Anteil der reflektierten atmosphärischen Gegenstrahlung.

terrestrische Gegenstrahlung:

die langwellige von der terrestrischen Umgebung ausgesandte Strahlung.

Sie wird - je nach Wetterdateityp - direkt aus der Wetterdatei gelesen oder gemäß dem Stefan-Boltzmann-Gesetz aus der Außenlufttemperatur und der Emissionszahl der terrestrischen Umgebung (z.B. des Erdbodens) abgeschätzt (es wird angenommen, dass die effektive Temperatur der Objekte in der terrestrischen Umgebung gleich der Lufttemperatur ist).

Die so bestimmten Gegenstrahlungswerte sind noch mit dem Gesichtsfeldfaktor der terrestrischen Umgebung (s.u.) zu multiplizieren; das Ergebnis ist der auf die Bauteiloberfläche fallende Anteil der terrestrischen Gegenstrahlung.

langwellige Bauteilemission:

die langwellige Strahlung, die von der Außenoberfläche des Bauteils thermisch emittiert wird. Sie hängt nur von der Temperatur und der langwelligen

Emissionszahl der Oberfläche ab.

Vereinfachte WUFI-Methode (empfohlen für die meisten Anwendungen)

Die in den bisherigen WUFI-Versionen (sowie in WUFI 4.1 im voreingestellten vereinfachten Rechenmodus) verwendeten Transportgleichungen stellen für das Bauteil zwei Möglichkeiten der Wärmez- und -abfuhr zur Verfügung: den Austausch mit der Umgebungsluft (über die Innen- und Außenoberfläche) sowie eine Wärmequelle bzw. -senke an der Außenoberfläche. (Die durch Latentwärmeeffekte freiwerdende Wärme als dritte Möglichkeit wird in diesem Abschnitt ignoriert.)

Dieser vereinfachte Rechenmodus berücksichtigt den langwelligen Strahlungsaustausch lediglich als Zuschlag im Wärmeübergangskoeffizienten, wie oben beschrieben. Konvektiver Wärmestrom und langwelliger Strahlungsaustausch werden daher gemeinsam als Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft behandelt. Die kurzwellige (Sonnen-)Strahlung wird im Gegensatz dazu als Wärmequelle an der Bauteiloberfläche angesetzt, deren Quellstärke gegeben ist durch die auf die Oberfläche treffende Bestrahlungsstärke, multipliziert mit der kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl.

Wird eine Wetterdatei in einem anderen Format als *.TRY oder *.DAT verwendet, so werden Tag und Nacht nicht weiter unterschieden. Nachts ist lediglich die strahlungsbedingte Wärmequelle natürlicherweise null, da keine Sonnenstrahlung vorliegt. Es ergibt sich grundsätzlich keine Unterkühlung.

Wird jedoch eine Wetterdatei im Testreferenzjahr-Format (*.TRY oder *.DAT) verwendet, so versucht WUFI wenigstens ansatzweise den Effekt einer Unterkühlung zu berücksichtigen, indem es folgende vereinfachte Methode benutzt:

- Während des Tages berücksichtigt die Rechnung den langwelligen Strahlungsaustausch wie üblich nur indirekt durch einen Zuschlag im Wärmeübergangskoeffizienten. Die kurzwellige Sonneneinstrahlung wird als (positive) Wärmequelle angesetzt. Um zu entscheiden, ob Tag herrscht, richtet sich WUFI nach der diffusen Sonnenstrahlung: ist solche vorhanden, schaltet WUFI auf "Tag".
- Wenn die diffuse Sonnenstrahlung null ist, schaltet WUFI auf "Nacht" um und schätzt vor Ausführung des nächsten Zeitschritts die nächtliche Nettoabstrahlung der im Winkel β geneigten Bauteiloberfläche als

$$\text{Abstrahlung} = \left(5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{Luft}}^4 - \text{atm. Gegenstrahlung} \right) \cdot \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right)$$

Da die Temperatur der emittierenden Oberfläche vor Ausführung des Zeitschritts noch nicht bekannt ist, wird dafür näherungsweise die aus der Wetterdatei bekannte Außenlufttemperatur verwendet (immerhin ist diese Näherung nachts einigermaßen zutreffend; tagsüber wäre sie es in der Regel nicht). Ferner wird angenommen, dass der Strahlungsaustausch mit dem terrestrischen Anteil des Gesichtsfeldes exakt ausgeglichen ist. Der Cosinusfaktor gibt den Himmelsanteil am Gesichtsfeld an.

Die so ermittelte Nettoabstrahlung wird, mit negativem Vorzeichen, als Wärmequelle (also eigentlich eine Wärmesenke) an der Oberfläche angesetzt. Der Rechenkern von WUFI entscheidet anhand des Vorzeichens, ob es sich bei der ihm übergebenen Strahlungsintensität um Sonnenstrahlung handelt (positives Vorzeichen) oder um langwellige Abstrahlung (negatives Vorzeichen). Sonnenstrahlung multipliziert er mit der vom Benutzer angegebenen **kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl**, langwellige Abstrahlung multipliziert er mit der vom Benutzer angegebenen **langwelligen Emissionszahl**, und das Ergebnis wird als Wärmequelle bzw. -senke in die zu lösenden Gleichungen eingesetzt.

Da der langwellige Strahlungsaustausch nachts explizit (wenn auch stark genähert) angesetzt wird, müsste der äußere Wärmeübergangskoeffizient eigentlich um den Strahlungsanteil vermindert werden, was in der gegenwärtigen Implementierung jedoch nicht geschieht.

Fazit: wird WUFI im vereinfachten Strahlungsaustauschmodus betrieben (voreingestellt), so kann es - bei Wetterdaten im ***.TRY** oder ***.DAT**-Format - die mögliche Unterkühlung während der Nachtstunden ansatzweise berechnen, quantitativ genaue Ergebnisse sind jedoch nicht zu erwarten.

Hinweis zur Benutzung:

Wenn WUFI im vereinfachten Rechenmodus die Klimadaten aus einer ***.TRY**- oder ***.DAT**-Datei liest, setzt es automatisch für die Nachtstunden die nach der oben gegebenen Formel berechnete Nettoabstrahlung als Wärmeverlust an und erlaubt so die nächtliche Unterkühlung der Bauteiloberfläche zu berücksichtigen.

Wenn Sie eigene Wetterdaten in ein solches Format konvertieren, aber über keine Gegenstrahlungsdaten verfügen, dürfen Sie die betreffende Spalte **nicht einfach mit Nullen füllen**, da die thermische Emission des Bauteils dann durch keine Gegenstrahlung kompensiert und die Unterkühlung viel zu stark ausfallen würde. Sie können

- die Gegenstrahlung über empirische Formeln (z.B. [1]) aus den anderen Wetterdaten berechnen, sofern Sie über Daten zur Bewölkung verfügen,

oder

- für die Gegenstrahlung die zu erwartende thermische Emission (Oberflächentemp. := Lufttemp., vgl. Abstrahlungsformel) einsetzen, so daß sich rechnerisch Emission und Gegenstrahlung aufheben. Sie können mit diesen Wetterdaten dann zwar keine nächtliche Unterkühlung rechnen, sie wird aber wenigstens nicht falsch berechnet.

oder

- für die Gegenstrahlung Null einsetzen, *müssen* dann aber auch die **langwellige Strahlungsemissionszahl** der Bauteiloberfläche auf Null setzen, um den langwelligen Energieaustausch ganz zu unterdrücken. Auch in diesem Fall ergibt die WUFI-Rechnung keine nächtliche Unterkühlung.

Neu: explizite volle Strahlungsbilanz (für Fortgeschrittene)

Die in WUFI 4.1 neu eingeführte Möglichkeit, die langwellige Strahlungsbilanz grundsätzlich explizit in der Rechnung zu berücksichtigen [3], erlaubt im Prinzip die quantitative Berechnung der nächtlichen Unterkühlung. Sie können diesen Rechenmodus aktivieren, indem Sie im **Dialog Oberflächenübergangskoeffizienten** die Option "Explizite Strahlungsbilanz" einschalten.

Hinweis: Die für die Unterkühlung maßgebliche langwellige Netto-Abstrahlung ist die Differenz zweier relativ großer Zahlen: der Gesamt-Gegenstrahlung und der

Bauteilemission. Unsicherheiten in den gemessenen oder über Modellannahmen abgeschätzten Daten zur terrestrischen oder atmosphärischen Gegenstrahlung können sich daher unter Umständen stark auf das Ergebnis auswirken. Bisher liegen nur wenige Erfahrungen über die entsprechenden Sensitivitäten vor. Dieser Rechnungsmodus ist daher zunächst als experimentell anzusehen; Benutzer, die sich mit dem Thema nicht vertieft befassen wollen, sollten stattdessen den für die meisten Zwecke völlig ausreichenden vereinfachten Rechnungsmodus (siehe oben) verwenden.

In diesem Rechnungsmodus werden die langwelligen Strahlungsanteile tags wie nachts explizit bestimmt und gemeinsam mit den kurzwelligen Strahlungsanteilen als Wärmequelle angesetzt, welche je nach Gesamtstrahlungsbilanz positive oder negative Werte annehmen kann.

Der äußere Wärmeübergangskoeffizient darf in diesem Modus grundsätzlich nur den [konvektiven Anteil](#) enthalten. Sie können den Strahlungsanteil selbst abziehen oder von WUFI abziehen lassen (WUFI subtrahiert dann 6.5 W/m²K). Teilen Sie WUFI im [Dialog Oberflächenübergangskoeffizienten](#) mit, ob der von Ihnen eingegebene Zahlenwert den Strahlungsanteil enthält oder nicht.

WUFI berechnet die Gesamtbilanz aller Strahlungsanteile wie folgt:

$$I = a \cdot I_s + \varepsilon \cdot I_l - I_e$$

I [W/m²]	Nettostrahlung an der Bauteiloberfläche
a [-]	kurzwellige Absorptionszahl der Bauteiloberfläche
I_s [W/m²]	kurzwellige Solarstrahlung
ε [-]	langwellige Emissions- und Absorptionszahl der Bauteiloberfläche
I_l [W/m²]	langwellige Gegenstrahlung
I_e [W/m²]	langwellige Emissionsstrahlung der Bauteiloberfläche

Ein positiver Wert von I bewirkt eine Erwärmung der Bauteiloberfläche, ein negativer Wert eine Abkühlung. Für die Strahlungsanteile I_s und I_l gilt:

$$I_s = I_{s,dir.} + g_{atm.} \cdot I_{s,diff.} + g_{terr.} \cdot I_{s,refl.}$$

$I_{s,dir.}$ [W/m²]	direkte Solarstrahlung auf die Bauteiloberfläche
$g_{atm.}$ [-]	atmosphärischer Gesichtsfeldfaktor
$I_{s,diff.}$ [W/m²]	diffuse Solarstrahlung
$g_{terr.}$ [-]	terrestrischer Gesichtsfeldfaktor
$I_{s,refl.}$ [W/m²]	vom Erdboden reflektierte Solarstrahlung

$$I_l = g_{atm.} \cdot I_{l,atm.} + g_{terr.} \cdot (I_{l,terr.} + I_{l,refl.})$$

$I_{l,atm.}$ [W/m²]	atmosphärische Gegenstrahlung
$I_{l,terr.}$ [W/m²]	terrestrische Gegenstrahlung
$I_{l,refl.}$ [W/m²]	vom Erdboden reflektierte atmosphärische Gegenstrahlung

Die beiden Gesichtsfeldfaktoren werden berechnet gemäß

$$g_{atm.} = \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$g_{terr.} = 1 - g_{atm.}$$

β [°] Neigung des Bauteils (90° für eine vertikale Wand)

Die Gleichungen für I_s und I_l enthalten jeweils drei Strahlungsanteile, von denen üblicherweise nicht alle in den Wetterdateien vorhanden sind. Liegen z.B. nur $I_{s,diff}$ und $I_{l,atm}$ vor, so lassen sich jedoch bei Kenntnis der Direktstrahlung auf eine horizontale Ebene $I_{s,dir,h}$ die noch unbekannt Strahlungsanteile wie folgt berechnen:

$$I_{s,refl.} = \rho_{s,terr.} \cdot (I_{s,dir,h} + I_{s,diff.})$$

$\rho_{s,terr.}$ [-] kurzwelliger Reflexionsgrad des Erdbodens

$$I_{l,terr.} = \varepsilon_{l,terr.} \cdot \sigma \cdot T_{terr.}^4$$

σ [W/m²K⁴] Stefan-Boltzmann-Konstante

$\varepsilon_{l,terr.}$ [-] langwelliger Emissionsgrad des Erdbodens

$T_{terr.}$ [K] Temperatur des Erdbodens

$$I_{l,refl.} = \rho_{l,terr.} \cdot I_{l,atm.}$$

$\rho_{l,terr.}$ [-] langwelliger Reflexionsgrad des Erdbodens

Für die Temperatur des Erdbodens kann nachts näherungsweise die Außenlufttemperatur angenommen werden. Die Direktstrahlung $I_{s,dir}$ kann nach Berechnung des Sonnenstandes ebenfalls aus $I_{s,dir,h}$ bestimmt werden.

Alle bisher aufgeführten Strahlungsanteile sind im Allgemeinen vor einer Berechnung explizit bekannt oder können von WUFI gemäß den oben genannten Beziehungen ermittelt werden. Sie hängen nicht von den noch unbekannt Ergebnissen der Simulationsrechnung ab. Die einzige Ausnahme ist die langwellige Emission, die gemäß dem Stefan-Boltzmann-Gesetz von der Temperatur der Bauteiloberfläche abhängt:

$$I_e = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{Sur}^4$$

T_{Sur} [K] Temperatur der Bauteiloberfläche

Dieser nichtlineare Zusammenhang muß zur Verwendung in linearen Gleichungssystemen, wie sie von WUFI gelöst werden können, linearisiert werden. Dies geschieht durch eine lineare Taylorentwicklung. Entwicklungspunkt ist dabei der vor jeder Iteration bekannte momentane Wert der Oberflächentemperatur, wie er aus dem letzten Zeitschritt folgte:

$$I_{e,lin} = \epsilon \sigma T_0^4 + 4 \epsilon \sigma T_0^3 \cdot (T - T_0)$$

$I_{e,lin}$ [W/m²] linearisierte Emissionsstrahlung
 T_0 [K] Temperatur der Bauteiloberfläche vor einem Iterationsschritt
 T [K] zu bestimmende Temperatur der Bauteiloberfläche nach dem Iterationsschritt

All diese Berechnungen werden von WUFI selbst durchgeführt, wenn die "**explizite Strahlungsbilanz**" eingeschaltet ist. Es benötigt dazu jedoch noch einige zusätzliche Kennwerte, die Sie im **Dialog Oberflächenübergangskoeffizienten** eingeben können:

The screenshot shows the 'Dialog Oberflächenübergangskoeffizienten' with the following details:

- Shortwave radiation absorption coefficient [-]: 0.4
- Longwave radiation emission coefficient [-]: 0.95
- Section: Explizite Strahlungsbilanz
 - Einschalten
 - Warning: Achtung: Die explizite Strahlungsbilanz erfordert Klimadaten mit hinreichend genauen Gegenstrahlungsdaten. Andernfalls können unrealistische Temperaturen an der Außenoberfläche resultieren.
 - Terrestrial shortwave reflection coefficient [-]: 0.20
 - Terrestrial longwave emission coefficient [-]: 0.90
 - Terrestrial longwave reflection coefficient [-]: 0.10
 - Cloudiness degree [-]: 0.66
 - Note: Weitere Informationen entnehmen Sie bitte der Online Hilfe.

Die Bedeutung der Reflexions- und Emissionsgrade ergibt sich aus den obigen Formeln. Der terrestrische langwellige Emissionsgrad und Reflexionsgrad sollten einander zu 1 ergänzen.

Ein vom Benutzer eingegebener konstanter Bewölkungsgrad dient zur groben Abschätzung der atmosphärischen Gegenstrahlung, wenn keine gemessenen Gegenstrahlungswerte vorliegen und die für eine Abschätzung der Gegenstrahlung aus einem empirischen Modell nötigen stündlichen Bewölkungsgrade ebenfalls nicht vorhanden sind (z.B. grundsätzlich bei Verwendung einer Wetterdatei im WET-Format).

Die folgenden mit WUFI gelieferten Wetterdateien enthalten keine atmosphärischen Gegenstrahlungsdaten und keine Angaben zum Bewölkungsgrad. Sollen sie trotzdem für eine Rechnung mit voller Strahlungsbilanz benutzt werden, so ist vom Benutzer ein geeigneter konstanter Bewölkungsgrad vorzugeben:

- Espoo
- Kolobrzeg
- Warschau
- Krakau
- Innsbruck
- Graz
- Wien
- Lissabon
- Kassel

- Grenoble

Die für eine erfolgreiche explizite Strahlungsbilanzierung erforderlichen Wetterdaten und Benutzereingaben sind ziemlich komplex. Als Kontrollmöglichkeit können Sie alle oben erwähnten Strahlungskomponenten als [ASCII-Export](#) oder als [Ergebniskurven](#) ausgeben lassen.

Literatur:

- [1] Blümel, K. et al.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Forschungsbericht T 86-051.
- [2] VDI 3789 Umweltmeteorologie, Blatt 2: Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung. Entwurf, Dezember 1992
- [3] Kehrer M., Schmidt Th.: Temperaturverhältnisse an Aussenoberflächen unter Strahlungseinflüssen. Proceedings BauSIM 2006, 9.-11. Okt. 2006, TU München

Weiter mit [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Überblick über die Dialogstruktur von WUFI mit Hyperlinks zu den zugehörigen Hilfethemen

Diese Liste enthält eine Beschreibung aller Menüpunkte und der über die Menüs direkt oder indirekt erreichbaren Dialoge:

Projekt:

- **Neues Projekt**

Löscht den Arbeitsspeicher von WUFI und öffnet eine neues, leeres [Projekt](#).

Der angezeigte [Dialog Projekt](#) dient zur Festlegung einer Projektbezeichnung sowie ggf. zur Eingabe weiterer Hintergrundinformationen über das neue Projekt.

- **Neue Variante**

Erzeugt eine neue [Variante](#) innerhalb des aktuellen Projekts.

Im [Dialog Variante](#) können ein Name und ein kurzer Kommentar zur aktuellen Variante eingegeben werden.

Falls es innerhalb der Projektdatei mehrere Varianten gibt, wird ein zusätzliches Fenster zur gezielten Übernahme von Eingabedaten aus anderen Varianten angezeigt.

- **Aktuelle Variante entfernen**

Dient zum Löschen nicht mehr benötigter Varianten.

- **Öffnen**

Zeigt den üblichen Dialog zum Öffnen bereits vorhandener Projekte an.

- **Neu öffnen**

Zeigt eine Liste der zuletzt bearbeiteten und gespeicherten Projektdateien und erlaubt schnellen Zugriff auf diese Dateien.

- **Speichern**

Speichert die Eingabedaten und, falls bereits eine Rechnung durchgeführt wurde, deren Ergebnisse.

Das Speichern der Eingabedaten vor der Berechnung ist *sinnvoll* (falls etwas schiefgeht), das Speichern der Projektdatei nach der Berechnung ist *notwendig*, falls Sie die Ergebnisse sichern wollen.

- **Speichern als..**

Speichert das aktuelle Projekt unter einem neuen Namen (die ursprüngliche Datei bleibt unter ihrem alten Namen unverändert erhalten).

Hilfe_Allgemein_C_UT400

\$ Überblick über die Dialogstruktur von WUFI

+ 5010

K Menüstruktur;Dialog;Projekt;Eingabe;Rechnen;Ausgabe;Optionen

- **Schließen**

Beendet WUFI. Aber warum sollten Sie so etwas tun wollen?

Eingaben (alternativ sind diese Dialoge auch direkt über den Projekt-Explorer auf der linken Seite des Bildschirms erreichbar)

- **Aufbau / Monitorpositionen**

Hier können Sie den **Aufbau** des Bauteils eingeben, indem Sie seine einzelnen Schichten in der gewünschten Reihenfolge erstellen und ihnen Dicke und Materialdaten zuweisen.

Dieser Dialog dient auch dazu, ein geeignetes numerisches Gitter zu wählen sowie bei Bedarf Monitorpositionen an beliebige Stellen innerhalb des Bauteils zu setzen.

- **Materialdaten**

Dieser Dialog zeigt die Kenndaten des Materials in der markierten Schicht an.

- **Materialdatenbank**

Aus der Materialdatenbank können Sie Materialdaten für die markierte Schicht auswählen.

- **Konstruktionsdatenbank**

Aus der Konstruktionsdatenbank können Sie fertige Bauteile auswählen und als Aufbau in der aktuellen Variante verwenden.

- **Quellen, Senken**

In der markierten Schicht können Sie Wärmequellen, Feuchtequellen und Luftwechselquellen bzw. die entsprechenden -senken definieren.

- **Hygrothermische Quellen bearbeiten**

Legen Sie hier Lage und Eigenschaften der einzelnen Quellen fest.

- **Orientierung / Neigung / Höhe**

Dieser Dialog ermöglicht die Festlegung von Orientierung, Neigung und Höhe des Bauteils. Diese Daten sind erforderlich, um die Regen- und Strahlungslast auf die Bauteiloberfläche zu berechnen.

- **Oberflächenübergangskoeffizienten**

Hier geben Sie die Oberflächenübergangskoeffizienten ein, wie beispielsweise Wärmeübergangswiderstand, Strahlungsabsorptionskoeffizienten oder Regenwasserabsorptionszahl.

- **Anfangsbedingungen**

Sie können hier die Anfangstemperatur und die Anfangsfeuchte im Bauteil bzw. in den einzelnen Bauteilschichten festlegen (z.B. für ein anfangs trockenes oder baufeuchtes Bauteil etc).

- **Datei: Anfangsfeuchteprofil**

- **Datei: Anfangstemperaturprofil**

Diese beiden Dialoge dienen zur Auswahl von Dateien, die das Anfangstemperatur- und/oder Anfangsfeuchteprofil im Bauteil beschreiben (falls diese Werte aus entsprechenden Dateien eingelesen werden sollen).

- **Rechenzeit / Profile**
Hier legen Sie den Zeitraum fest, für den die Simulation durchgeführt werden soll (z. B.: die Simulation soll am 1. Juni beginnen und ein Jahr dauern).
- **Numerik**
Die einzelnen Optionen dieses Dialogs erlauben eine genauere Differenzierung des Berechnungsvorgangs.
- **Klima: Außen (linke Seite)**
Dient zur Auswahl des Wetters, das auf die linke Seite des Bauteils einwirken soll.
- **Klima: Innen (rechte Seite)**
Dient zur Auswahl des Wetters, das auf die rechte Seite des Bauteils einwirken soll.
 - **Klimadatei auswählen (Karte)**
 - **Klimadatei auswählen (Dateibrowser)**
Benutzen Sie diese Dialoge, um eine Wetterdatei auszuwählen.
 - **Erweiterte Einstellungen**
Je nach Typ der Klimadatei stehen zusätzliche Optionen zur Auswahl.

Rechnen

- **Rechnung starten**
Startet die Berechnung der aktuellen Variante. Es wird nur der Fortschritt der Berechnung angezeigt, kein 'Film'.
- **Alle Rechnungen starten**
Startet die Berechnung aller Varianten des Projekts nacheinander. Es wird nur der Fortschritt der Berechnung angezeigt, kein 'Film'.
- **Rechnung mit Filmdarstellung starten**
Öffnen Sie diesen Dialog, um die Berechnung mit gleichzeitiger Darstellung des zeitlichen Ablaufs der thermischen und hygrischen Prozesse ('Film') innerhalb des Bauteils zu starten.
 - **Eigenschaften...**
Hier können Sie die Filmdarstellung konfigurieren.

Ausgabe

- **Schnellgrafik**
Die Schnellgrafiken bieten einen raschen Überblick über die Rechenergebnisse.
- **Eingabedaten Übersicht / Letzter Rechenlauf**
Dieser Dialog zeigt Datenblätter mit den Eingabedaten (Bauteilaufbau, Materialdaten etc.) und einer Zusammenfassung der letzten Rechnung. Diese Datenblätter sind bereits für den Ausdruck vorbereitet.
 - **Einstellungen**
Wählen Sie hier aus, welche der Eingabedaten dargestellt werden sollen.

- **Infos: Letzter Rechenlauf**
Hier finden Sie eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der letzten Rechnung.
- **Ergebnisgrafiken**
In diesem Dialog werden die Rechenergebnisse grafisch als Verläufe und Profile dargestellt. Die Grafiken sind bereits für den Ausdruck vorbereitet.
 - **Blatt einstellen**
Hier können Sie den Namen des aktuellen Grafikblattes ändern.
 - **Bildeinstellungen Verläufe**
Ermöglicht eine Anpassung der Graphikparameter für die Verläufe.
 - **Bildeinstellungen Profile**
Ermöglicht eine Anpassung der Graphikparameter für die Profile.
 - **Kurveneinstellungen**
Hier können Sie Art und Dicke der Linie bzw. der Symbole einstellen.
 - **Kurve einfügen**
Fügt eine weitere Kurve in die aktuelle Grafik ein.
 - **Kurve entfernen**
Entfernt die markierte Kurve aus der aktuellen Grafik. .
- **Filmdarstellung**
Dieser Dialog ermöglicht die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der thermischen und hygrischen Prozesse innerhalb des Bauteils als Animation ('Film') aus bereits vorhandenen Rechenergebnisse.
- **Messdaten**
Hier können Sie eine Datei mit Messdaten angeben, die Sie in den Ergebnisgrafiken gemeinsam mit den Rechenergebnissen **darstellen** können. Dies erlaubt den unmittelbaren Vergleich von Rechnung und Messung.
- **ASCII-Ausgabe**
Alternativ zur Grafikdarstellung in WUFI ist es auch möglich, die Rechenergebnisse als ASCII-Datei zu exportieren und in ein anderes Grafikprogramm oder geeignete Analysesoftware einzulesen.
- **Film exportieren**
Wie die Ergebnisdaten kann auch der Film exportiert und mit einem separaten Filmbetrachter dargestellt werden (*nur in WUFI Pro*).

Einstellungen

- **Einheitensystem**
Schalten Sie zwischen SI- und IP-Einheiten um.
- **Warnungen**
Legen Sie die Ereignisse fest, deren Auftreten eine Warnmeldung nach sich ziehen soll.

- **Ergebnisdaten**

Wählen Sie aus, welche Ergebnisdaten (Verläufe/Profile, Filmdaten) beim Speichern in der Projektdatei gespeichert werden sollen.

Datenbank

- **Materialien**

Zeigt die Kenndaten der in der Materialdatenbank enthaltenen Materialien an und ermöglicht das Hinzufügen eigener Materialien.

- **Neu**

Definieren Sie hier ein neues Material, um es in die WUFI-Datenbank einzufügen.

- **Ändern**

Ändern Sie hier bei Bedarf die Kenndaten der von Ihnen hinzugefügten Materialien. (Die in der Materialdatenbank mitgelieferten Materialien können nicht geändert werden.)

- **Entfernen**

Entfernt eines der von Ihnen hinzugefügten Materialien aus der Datenbank. (Die in der Materialdatenbank mitgelieferten Materialien können nicht entfernt werden.)

- **Kataloge bearbeiten**

Ermöglicht das Hinzufügen und Bearbeiten von Materialkatalogen.

- **Konstruktionen**

Hier können Sie aus den in der Konstruktionsdatenbank enthaltenen Konstruktionen auswählen oder eigene hinzufügen.

- **Neu**

Definieren Sie hier eine neue Konstruktion, um sie in die WUFI-Konstruktionsdatenbank einzufügen.

- **Ändern**

Ändern Sie hier bei Bedarf die von Ihnen hinzugefügten Konstruktionen (Die in der Konstruktionsdatenbank mitgelieferten Konstruktionen können nicht geändert werden).

- **Entfernen**

Entfernt eine der von Ihnen hinzugefügten Konstruktionen aus der Datenbank. (Die in der Konstruktionsdatenbank mitgelieferten Konstruktionen können nicht entfernt werden.)

- **Kataloge bearbeiten**

Ermöglicht das Hinzufügen und Ändern von Katalogen in der Konstruktionsdatenbank.

?

Die online Hilfe. Das Inhaltsverzeichnis befindet sich [hier](#).

...

Die nachfolgend aufgeführten Menüpunkte sind auch über die dargestellten Schaltflächen in der Symbolleiste zu erreichen:

-  Neues Projekt erstellen
-  Projektdatei öffnen
-  Projekt speichern
-  Neue Variante erstellen
-  Aktuelle Variante entfernen
-  Berechnung ohne Filmdarstellung starten
-  Berechnung aller Varianten im Projekt starten (ohne Filmdarstellung)
-  [Berechnung mit Filmdarstellung starten](#)
-  Eingabedaten-Übersicht anzeigen
-  [Zusammenfassung der letzten Rechenergebnisse anzeigen](#)
-  [Ergebnisgrafiken anzeigen](#)
-  Film abspielen
-  Online-Hilfe anzeigen

Weiter mit [Dialog: Projekt](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Projekt

Projekt: MeinProjekt

Projektname MeinProjekt

Projektnummer 31415

Auftraggeber DerKunde

Ansprechpartner

Straße

PLZ/Ort

Telefon Fax

e-mail

Bearbeiter

Besonderheiten Dies ist ein sehr wichtiges Projekt

Datum 01.01.01

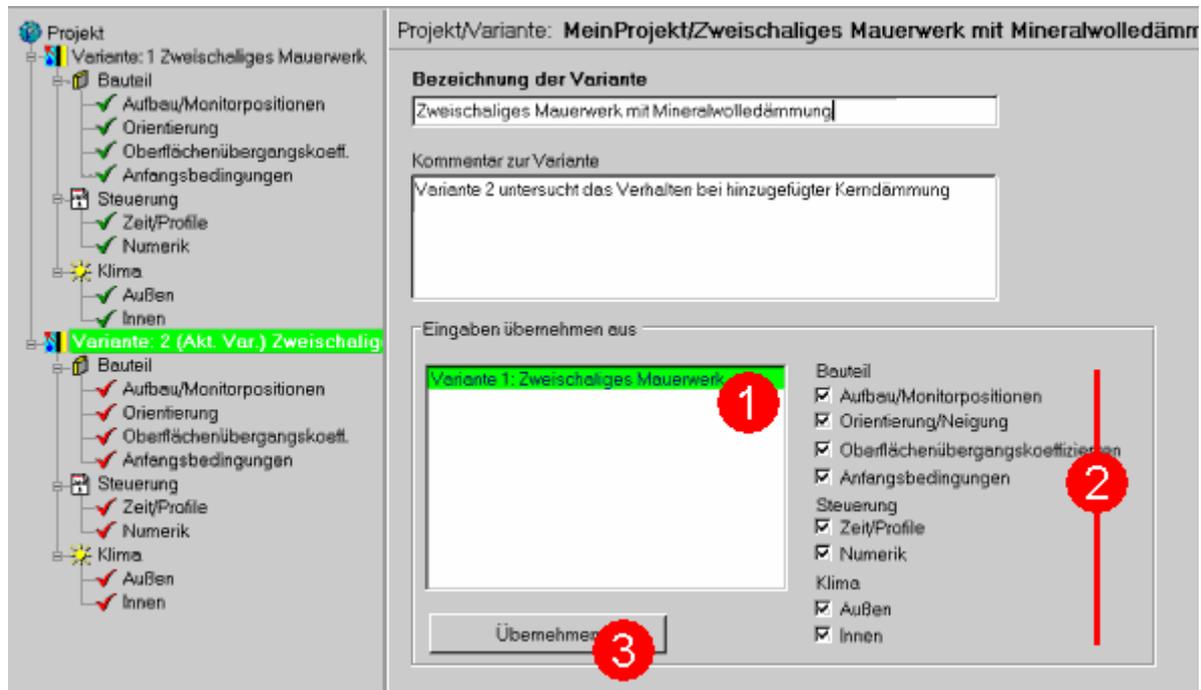
Dieser Dialog dient als "Merkzettel" für die wichtigsten Informationen zum aktuellen [Projekt](#), der dafür sorgt, daß die Informationen immer zusammen mit den Projektdaten und Rechenergebnissen zur Verfügung stehen. Das Ausfüllen der Felder ist optional und hat lediglich Informationscharakter.

Nächster Dialog: [Variante](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Variante



Eine **Projektdatei** kann mehrere verschiedene **Varianten** enthalten. Das ist insbesondere dann nützlich, wenn bei einem Projekt eine Reihe von Rechnungen am selben Bauteil bei jeweils nur geringfügigen Änderungen erforderlich sind (z. B. bei Untersuchungen über den Einfluß einzelner Materialparameter). Im Prinzip sind jedoch die verschiedenen Varianten eines Projekts vollständig unabhängig voneinander.

Eine neue Variante wird entweder mit dem Befehl "Neue Variante" im Menü "Projekt" oder mit der **Symbolleiste**-Schaltfläche "Neue Variante"  erstellt.

Sie können jeder Variante eine **Bezeichnung** geben, die ihrer Identifizierung dient und bei der **Film-** und **Grafikdarstellung** als Titel verwendet wird. Weiterhin können Sie wichtige Informationen in einem kurzen **Kommentar** zur Variante festhalten. Das Ausfüllen dieser Felder ist – wie beim **Dialog Projekt** – optional und dient ausschließlich der Information des Nutzers.

Der Dialog vereinfacht auch das Erstellen neuer Varianten. Die Auswahlliste "**Eingaben übernehmen aus:**" **(1)** zeigt die anderen im aktuellen Projekt befindlichen Varianten an. Um Daten aus einer anderen Variante zu übernehmen, markieren Sie die betreffende Variante und wählen im Feld **(2)** die gewünschten Datengruppen aus. Mit einem Klick auf die Schaltfläche "**Übernehmen**" **(3)** kopieren Sie diese Daten in die aktuelle Variante.

Diese Art der Datenübernahme ist natürlich auch zwischen bereits bestehenden Varianten möglich. Dabei werden nur die im Feld **(2)** ausgewählten Daten

DialogVariante
 \$ Dialog: Variante
 + 5030
 K Variante;Projekt

überschrieben, die übrigen bleiben unverändert.

Grundsätzlich können Sie in einem Projekt beliebig viele Varianten anlegen. Dabei ist aber zu beachten, daß die Berechnungsergebnisse der Varianten alle in der selben Projektdatei gespeichert werden (es sei denn, das Speichern der Ergebnisse ist **deaktiviert**). Zu viele Varianten führen daher schnell zu sehr großen Dateien, die dementsprechend unhandlich werden.

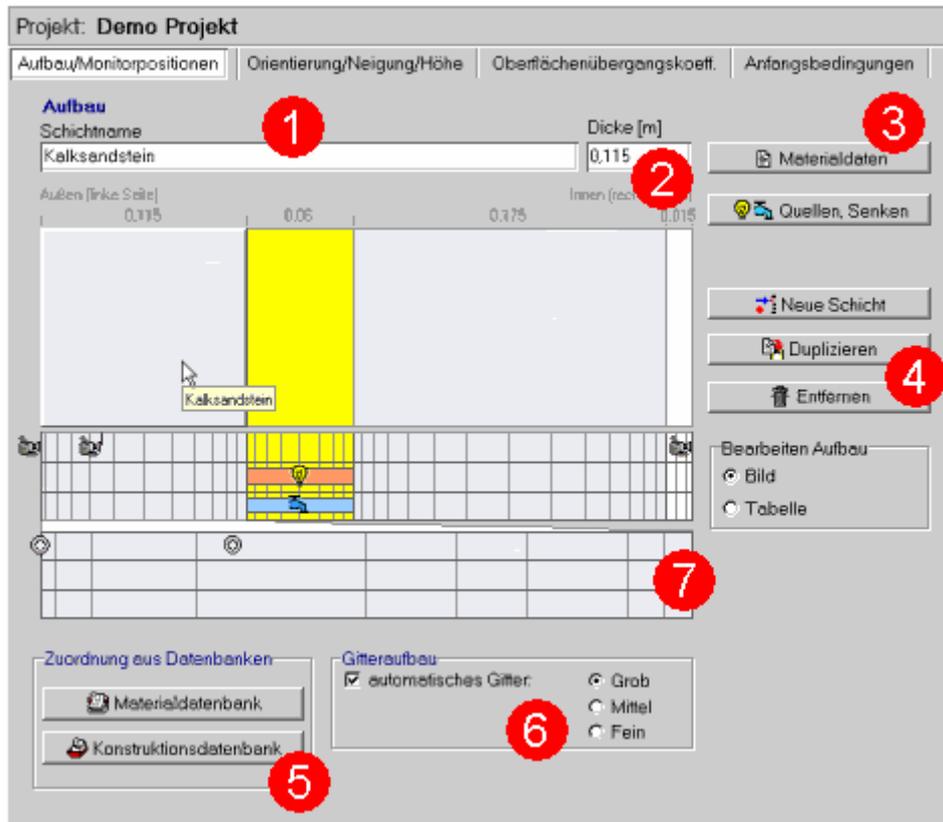
Versionsnotiz: in WUFI Pro können beliebig viele Varianten angelegt werden; in WUFI light ist die Zahl der Varianten auf zwei beschränkt.

Nächster Dialog: [Aufbau / Monitorpositionen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Aufbau / Monitorpositionen



Dies ist der zentrale Dialog, mit dessen Hilfe Sie den Aufbau des zu untersuchenden Bauteils definieren, d. h. die Abfolge der einzelnen Schichten, deren Dicke sowie die zugehörigen Materialkenndaten festlegen. Hier können Sie auch ein geeignetes numerisches Gitter auswählen, eine beliebige Anzahl an Monitorpositionen setzen und Wärme-, Feuchte- und Luftwechselquellen einfügen.

In der Mitte des Dialogfensters wird der Aufbau des Bauteils mit der Außenseite links und der Innenseite rechts grafisch dargestellt.

Eine neue Schicht erstellen Sie mit der Schaltfläche **"Neue Schicht"** (4) oder durch Kopieren einer bestehenden Schicht mit Hilfe der Schaltfläche **"Duplizieren"** (4). Anschließend ziehen Sie die neue Schicht mit der Maus an die gewünschte Stelle innerhalb des Aufbaus. Sie können nun entweder ein Material aus der **"Materialdatenbank"** (5) wählen und der aktuellen Schicht zuweisen oder die **"Kenndaten"** (3) des Materials direkt eingeben. Abschließend geben Sie der Schicht einen **"Schicht / Materialnamen"** (1) und legen ihre **Dicke** (2) fest. Wenn Sie alle benötigten Schichten erstellt haben, können Sie ggf. noch die Feinheit des numerischen **Gitters** (6) ändern, in das der Aufbau für die Berechnung unterteilt

```
# DialogAssembly
$ Dialog: Aufbau / Monitorpositionen
+ 5040
K
```

Aufbau;Bauteilaufbau;Monitorposition;Bauteil;Konstruktion;Bauteilgeometrie;Schicht; Schichtabfolge;Schichtdicke;Materialdaten;Materialkenndaten;Gitter;Materialdatenbank;Konstruktionsdatenbank

wird.

Innerhalb des Aufbaus können Sie gegebenenfalls Wärme-, Feuchte- und Luftwechselquellen (7) einfügen.

Bei Bedarf können Sie im Aufbau beliebig viele **Monitorpositionen (7)** setzen, um an diesen Stellen die Verläufe von Temperatur und relativer Feuchte zu erhalten.

Anstelle der grafischen können Sie auch die tabellarische Aufbaudarstellung (s.u.) verwenden, um die oben genannten Einstellungen vorzunehmen.

"Schichtname" (1):

Der Schichtname. Üblicherweise steht hier der Name des verwendeten Materials.

"Dicke" (2):

Die Dicke der Schicht in Metern.

Hinweis: Die in der [Materialdatenbank](#) enthaltenen [Folien](#) müssen immer mit einer Schichtdicke von 1 mm verwendet werden, da deren Kenndaten genau für diese Dicke angepaßt wurden.

"Kenndaten" (3):

Verwenden Sie diese Schaltfläche, um den [Dialog Material / Schichtkenndaten](#) zu öffnen, mit dessen Hilfe Sie die Materialkenndaten der aktuellen Schicht ansehen, eingeben oder ändern können. Anstelle einer Eingabe der Daten von Hand ist auch die Übernahme eines kompletten Datensatzes aus der [Materialdatenbank \(5\)](#) möglich.

Tip: Wenn Sie die rechte Maustaste drücken, während sich der Cursor über einer der Schichten befindet, öffnet sich ein kleines Fenster mit den wichtigsten Materialdaten der jeweiligen Schicht.

"Neue Schicht, Duplizieren, Entfernen" (4):

Mit diesen Schaltflächen können Sie die Schichtenfolge Ihres Aufbaus bearbeiten.

Sie können eine **"Neue Schicht"** erstellen, die immer an der Innenseite des Aufbaus eingefügt wird, und sie anschließend mit der Maus an die gewünschte Stelle ziehen.

Es ist auch möglich, mit **"Duplizieren"** die gerade markierte Schicht zu kopieren oder diese mit **"Entfernen"** zu löschen.

Versionsnotiz: WUFI-Pro erlaubt maximal 120 Schichten, WUFI light 10.

"Zuordnung aus Datenbanken" (5):

"Materialdatenbank":

Mit dieser Schaltfläche öffnen Sie den Dialog [Materialdatenbank](#). Hier finden Sie eine Liste mit den Kenndaten zahlreicher Materialien, die nach Quellen und Katalogen geordnet sind. Sie können bei Bedarf über die Auswahl von "**Quelle**" und "**Katalog**" die Anzahl der Materialien in der Liste einschränken und dann das gewünschte Material (ggf. zusammen mit einer vorgegebenen Schichtdicke) über die Schaltfläche "**Verwenden**" in die aktuelle Schicht übernehmen.

Es ist nicht möglich, die in der WUFI-Datenbank mitgelieferten Materialdatensätze zu ändern. Sie können jedoch mit Hilfe des Dialogs [Datenbank: Materialien](#) eigene Materialien mit entsprechend angepaßten Kenndaten zur Datenbank hinzufügen.

"Konstruktionsdatenbank":

Mit dieser Schaltfläche öffnen Sie den Dialog [Konstruktionsdatenbank](#). Diese Datenbank enthält einige Standardkonstruktionen bzw. Teile von Standardkonstruktionen.

Wie bei der Materialdatenbank können Sie auch hier zunächst über "**Quelle**" und "**Katalog**" eine Vorauswahl treffen und dann mit der Schaltfläche "**Verwenden**" den Aufbau der aktuellen Variante durch die ausgewählte Konstruktion ersetzen. Diese ist im Anschluß beliebig veränderbar.

Es ist nicht möglich, die in der WUFI-Datenbank mitgelieferten Konstruktionen zu ändern. Sie können jedoch mit Hilfe des Dialogs [Datenbank: Konstruktionen](#) der Datenbank eigene Konstruktionen hinzufügen.

"Gitter" (6):

Sobald für alle Schichten eines Aufbaus die Dicken definiert sind, erzeugt WUFI automatisch ein **Gitter**, das für die numerische Lösung der Wärme- und Feuchtetransportgleichungen benötigt wird.

Sie können ein grobes, mittleres oder feines Gitter vorwählen. Das Gitter sollte so fein gewählt werden, daß die berechneten Wärme- und Feuchteverteilungen mit angemessener Auflösung dargestellt werden können. Dies ist insbesondere dort erforderlich, wo in den Wärme- und Feuchteprofilen steile Gradienten oder ausgeprägte Krümmungen auftreten. Das Auftreten solcher Gradienten oder Krümmungen ist abhängig vom Bauteilaufbau, den Materialeigenschaften und den Randbedingungen. Wählen Sie im Zweifelsfall zunächst die Gittereinstellung **Mittel**, betrachten Sie während einer Testrechnung den **Film** und halten Sie in den Temperatur- und Feuchteprofilen Ausschau nach Knicken infolge einer zu groben Auflösung. Falls diese auftreten, wählen Sie Gittereinstellung **Fein** für eine erneute Berechnung.

Ist der Verlauf der Profile dagegen sehr glatt, können Sie Gittereinstellung **Grob** wählen, um die Rechenzeit zu verkürzen.

Im Normalfall ist die Verwendung der Option "**automatisches Gitter**" ausreichend. In [Ausnahmefällen](#) (beispielsweise bei starker Kondensation an Schichtgrenzen innerhalb des Bauteils oder steilen Temperaturgradienten über Materialschichten mit niedrigem Diffusionswiderstand bei hohem Feuchtegehalt, wie z. B. nasser Mineralwolle) kann jedoch eine differenziertere

Gitterstruktur erforderlich werden. Dazu ermöglicht der manuelle **Gitter-Editor** das Erstellen eines genau auf den jeweiligen Fall zugeschnittenen Gitters (Beschreibung siehe unten).

"Quellen, Senken" (7):

Sobald WUFI genug Informationen über die Geometrie des Aufbaus hat, um das automatische Gitter erzeugen zu können, wird dieses unterhalb des Bauteilaufbaus angezeigt. Die obere Darstellung stellt das Gitter über die ganze Breite des Aufbaus dar, die untere zeigt vergrößert das Gitter der markierten Schicht.

Klicken Sie in den mittleren oder unteren Bereich des vergrößerten Gitters oder klicken Sie auf den Button "**Quellen, Senken**", um einen Dialog aufzurufen, in welchem Sie Wärme-, Feuchte- oder Luftwechselquellen in der markierten Schicht anlegen können.

Versionsnotiz: in WUFI light können keine Quellen/Senken verwendet werden.

"Monitorpositionen" (7):

Sie können beliebig viele **Monitorpositionen** (7) setzen, um die **Verläufe** von Temperatur und relativer Feuchte an den jeweiligen Stellen zu erhalten. Dies ist insbesondere dann nützlich, wenn Sie die hygrothermischen Bedingungen innerhalb eines Bauteils untersuchen wollen.

WUFI setzt automatisch je eine Monitorposition an Außen- und Innenoberfläche eines Bauteils. Sie können diesen beiden weitere hinzufügen, indem Sie mit der Maus auf ein Gitterelement im oberen Teil der vergrößerten Darstellung der gerade markierten Schicht klicken. Durch nochmaliges Anklicken wird die Monitorposition wieder entfernt.

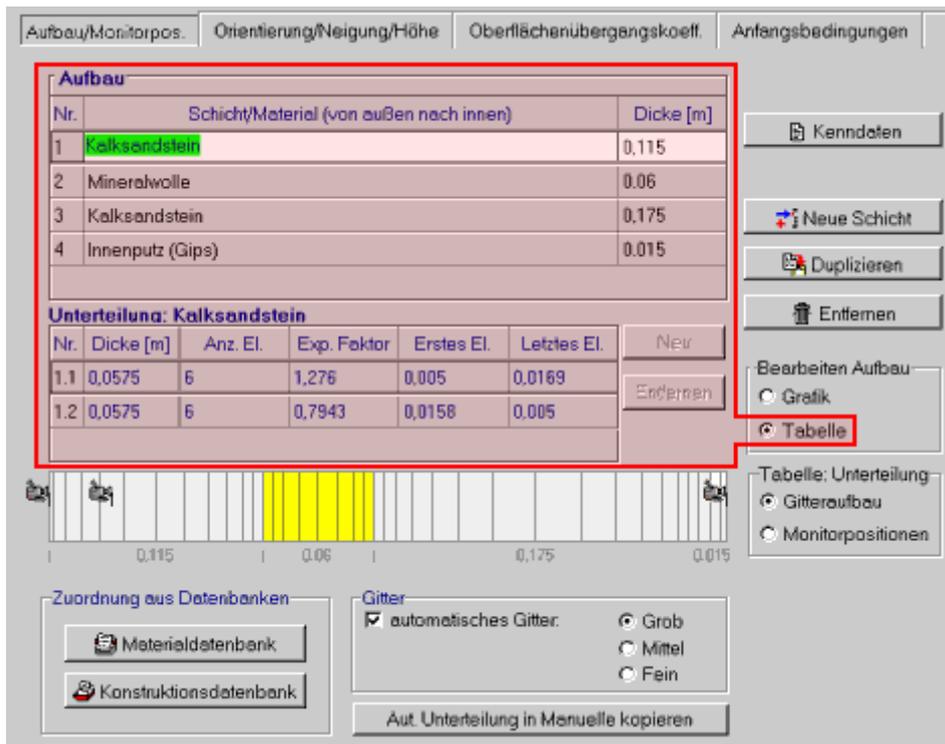
Versionsnotiz: nur WUFI Pro erlaubt beliebig viele Monitorpositionen. WUFI light ist beschränkt auf die beiden Bauteiloberflächen.

"Bearbeiten Aufbau:" (8)

Anstelle der grafischen Darstellung können Sie zur Bearbeitung des Bauteils ohne funktionale Einschränkungen auch die tabellarische Darstellung verwenden.

• • •

Eingabe des Aufbaus über die tabellarische Darstellung



Mit der Auswahl der Option **"Tabelle"** in **"Bearbeiten Aufbau"** wechseln Sie von der *grafischen* in die *tabellarische* Darstellung des Aufbaus.

Hier können Sie in gleicher Weise wie bei der grafischen Darstellung eine **"Neue Schicht"** erstellen, Schichten **"Duplizieren"**, **"Entfernen"** und benennen sowie die **"Dicke"** festlegen.

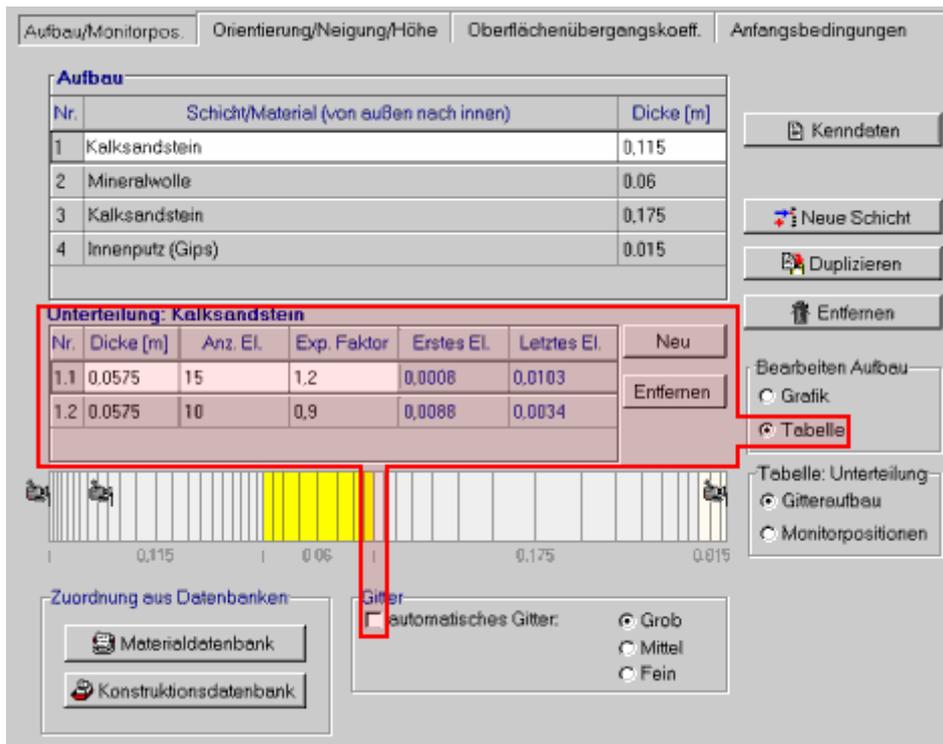
Die außenseitige Schicht muß in der Tabelle **"Aufbau"** in der ersten Zeile, die innenseitige Schicht in der letzten Zeile eingegeben werden.

Die untere Tabelle zeigt eine mögliche **"Unterteilung"** der markierten Schicht an. Die Einträge in dieser Tabelle definieren das numerische Gitter. Solange die Option **"Automatisches Gitter"** ausgewählt ist, werden diese Einträge von WUFI automatisch erstellt und können nicht geändert werden. Wie Sie diese Tabelle manuell bearbeiten können, wird im Anschluß beschrieben.

...

Manuelle Erstellung des numerischen Gitters

Versionsnotiz: die manuelle Gittererstellung ist nur in WUFI Pro möglich.



In einigen Fällen kann es notwendig werden, das automatische Gitter von WUFI abzuschalten und ein manuelles Gitter zu erstellen. Wie Sie solche Fälle erkennen können, wird in "Dialog: Letzer Rechenlauf" beschrieben. Kriterien für die Wahl eines geeigneten Gitters sind in [Details / WUFI](#) erläutert.

Zur Erstellung eines manuellen Gitter wählen Sie zunächst unter "**Bearbeiten Aufbau**" die Option "**Tabelle**". Die grafische Darstellung des Aufbaus wird durch die tabellarische ersetzt. Schalten Sie unter "**Gitter**" das automatische Gitter aus. Jetzt können Sie die Tabelle "**Unterteilung**" manuell bearbeiten.

Das numerische Gitter

Die Transportgleichungen können nicht analytisch gelöst werden. Um eine numerische Lösung zu ermöglichen, muß das Bauteil in diskrete Gitterelemente unterteilt werden.

Bei der Diskretisierung werden die Werte der berechneten Variablen in jedem Gitterelement als räumlich konstant angenommen. Daher sollte die Größe der einzelnen Elemente den lokalen Bedingungen gemäß so gewählt werden, dass diese Annahme hinreichend gut erfüllt ist. Die Elemente sollten also dort, wo große Temperatur- oder Feuchtgradienten zu erwarten sind, kleiner gewählt werden, während sie in ruhigeren Regionen größer sein dürfen, um Rechenaufwand zu sparen.

Im Allgemeinen wird man steile Gradienten in der Nähe der Oberfläche einer Schicht erwarten, d.h. an den Innen- bzw. Außenoberflächen des Bauteils wegen äußerer Klimaeinwirkungen oder an inneren Materialgrenzflächen wegen Kondensationsvorgängen. In der Mitte einer Schicht werden dagegen eher flache Gradienten vorkommen.

WUFI erlaubt eine flexible Gitterdefinition, die den jeweiligen Erfordernissen eines Falles angepaßt werden kann. In jeder Schicht kann die Größe der einzelnen Gitterelemente entweder konstant gehalten oder über einen Expansionsfaktor kontinuierlich expandiert oder kontrahiert werden. Indem Sie eine Schicht in zwei oder mehr Teilschichten mit identischen Materialkennwerten aber verschiedenen Expansionsfaktoren (>1 , <1) unterteilen, können Sie eine gleichmäßige, nicht unbedingt symmetrische Expansion und darauffolgende Kontraktion der Gitterelemente erreichen. Damit ist eine sehr genaue

Anpassung des Gitters an die Erfordernisse in den verschiedenen Schichten möglich.

Jede Zeile der Tabelle "**Unterteilung**" stellt eine Teilschicht der in der Tabelle: "**Aufbau**" markierten Schicht dar.

"Dicke [m]":

Dicke der Teilschicht in Metern.

Die Summe der Teilschichtdicken muß die Gesamtdicke der Schicht ergeben; abgesehen davon ist die Wahl der Dicken beliebig.

"Anz. El.":

Anzahl der Gitterelemente, aus denen die Teilschicht für die Berechnung zusammengesetzt wird.

Je kleiner die Elemente sind, desto kleiner bleibt der durch die Diskretisierung bedingte Fehler. Allerdings führt die größere Anzahl an Elementen auch zu einer Verlangsamung der Rechnung. Normalerweise sollten Sie kleinere Elemente in erster Linie dort einsetzen, wo größere Temperatur- und Feuchtegradienten zu erwarten sind.

Jede Teilschicht muß mindestens zwei, das gesamte Bauteil darf nicht mehr als 100 Gitterelemente enthalten.

"Exp. Faktor":

Das Dickenverhältnis zweier aneinandergrenzender Gitterelemente.

Es ist sinnvoll, innerhalb einer Schicht, entsprechend den unterschiedlichen lokalen Bedingungen, unterschiedlich dicke Gitterelemente zu verwenden. So sind an der Außenseite der äußersten Schicht große Temperatur- und Feuchtegradienten zu erwarten, welche die Verwendung von eher kleinen Gitterelementen erfordern. Im Gegensatz dazu werden in der Mitte einer ausreichend dicken Schicht nur schwache Gradienten auftreten, so daß hier die Zuordnung größerer Gitterelemente möglich ist.

Der Expansionsfaktor gibt an, um welchen Faktor ein Gitterelement dicker ist als das nächstäußere Element. Die Dicken der einzelnen Elemente einer Teilschicht stellen daher eine geometrische Folge dar.

Da normalerweise die Gradienten in der Mitte einer Schicht kleiner sind als an deren Rändern, sollten dickere Schichten in zwei Teilschichten mit verschiedenen Expansionsfaktoren unterteilt werden. In der ersten Teilschicht wird ein Expansionsfaktor > 1 gewählt, so daß die Dicke der Gitterelemente zunimmt, in der zweiten Teilschicht dagegen ein Expansionsfaktor < 1 , der eine Abnahme der Elementdicke zur Folge hat.

Sollten zwei Teilschichten für die Beschreibung eines angemessenen Gitters nicht ausreichend sein, ist das Erzeugen beliebig vieler weiterer Teilschichten möglich. Falls Sie dagegen ein Gitter mit konstanten Elementbreiten erstellen wollen, ist die Definition einer einzelnen Teilschicht mit Expansionsfaktor 1

ausreichend.

"Erstes El., Letztes El.":

WUFI zeigt automatisch die Dicken des jeweils ersten und letzten Gitterelements einer Teilschicht an. Sie sollten darauf achten, daß diese Dicken nicht zu weit von den Dicken der Grenzelemente der benachbarten Teilschichten abweichen. Ein fließender Übergang zwischen den einzelnen Schichten ist aus numerischen Gründen vorteilhaft.

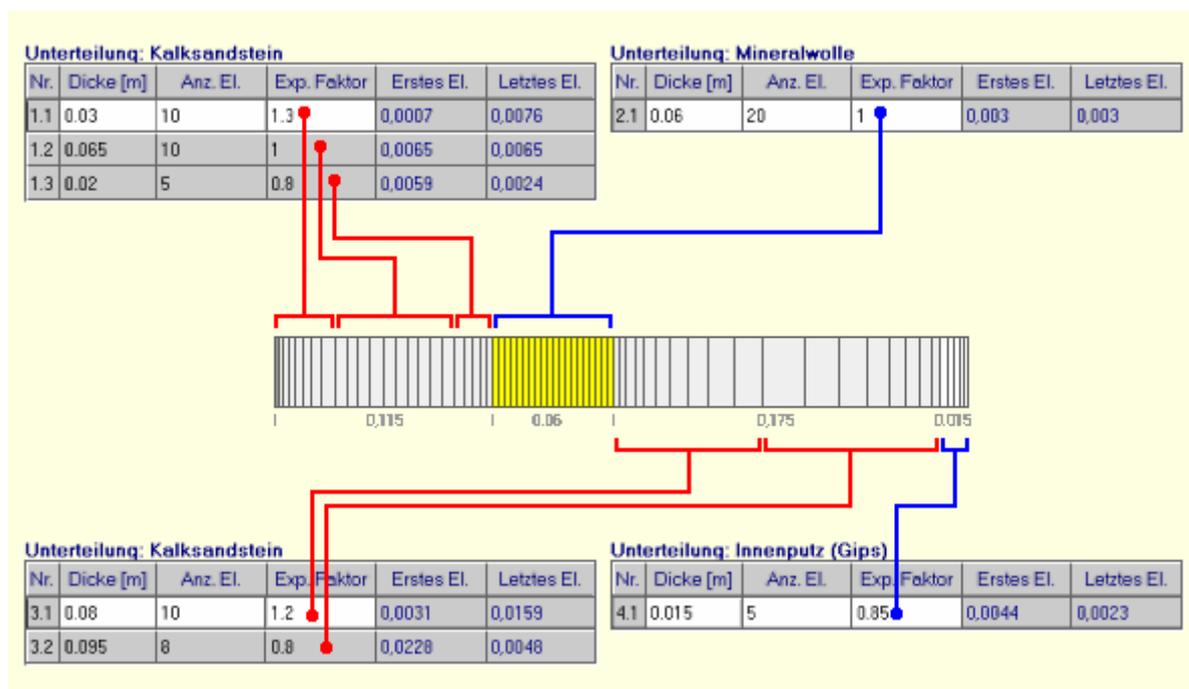
Das folgende **Beispiel** zeigt eine mögliche Einstellung für ein manuelles Gitter.

Die Außenschale des zweischaligen Mauerwerks ist in drei Teilschichten mit zunehmender, gleichbleibender und abnehmender Gitterelementbreite unterteilt (solch ein aufwendiger Gitteraufbau wird nur in den seltensten Fällen notwendig sein).

Die Mineralwollschicht umfaßt lediglich eine einzige Teilschicht mit konstantem Gitter (hierbei wird angenommen, daß bei Testrechnungen in der Dämmschicht keine Kondensation und daher auch keine größeren Gradienten im Feuchteprofil aufgetreten sind).

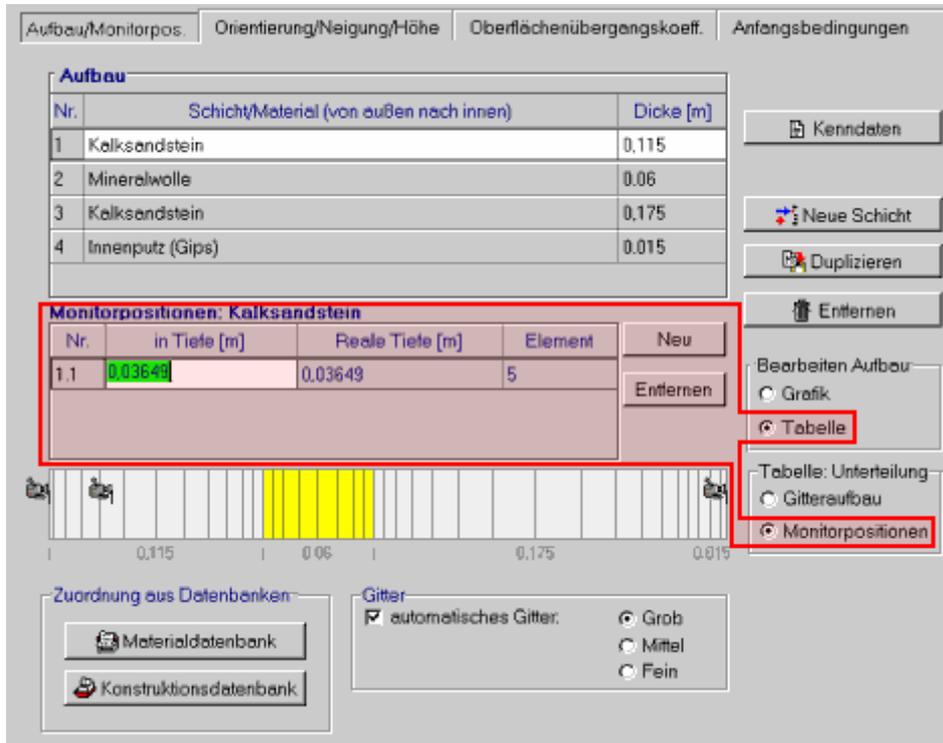
Die Innenschale besteht aus zwei Teilschichten mit zunehmender und abnehmender Gitterelementbreite (dies ist der Standardfall einer Schichtunterteilung, der auch beim automatischen Gitter angewendet wird).

Die Innenputzschicht umfaßt einfach eine Teilschicht mit leicht abnehmender Gitterelementbreite.



...

Festlegung von Monitorpositionen in der "Monitorpositionen"-Tabelle



In der grafischen Aufbaudarstellung können Sie **Monitorpositionen** sehr leicht durch Klicken mit der linken Maustaste auf das gewünschte Gitterelement setzen. Wenn Sie jedoch eine Monitorposition in einer genau bestimmten Tiefe des Bauteils definieren wollen, ist dies über die Wahl eines Gitterelementes eher schwierig, da nicht ohne weiteres zu erkennen ist, welches Gitterelement welcher Tiefe entspricht. In der tabellarischen Darstellung dagegen können Sie einfach numerisch die gewünschte Tiefe der Monitorposition eingeben.

Um eine Monitorposition numerisch einzugeben wählen Sie zunächst unter "**Bearbeiten Aufbau**" die Option "**Tabelle**". Damit wechseln Sie von der grafischen in die tabellarische Aufbaudarstellung. Anschließend wählen Sie aus "**Tabelle: Unterteilung**" die Option "**Monitorpositionen**", um die Tabelle "**Monitorpositionen**" anzuzeigen.

Das Erstellen neuer bzw. das Löschen vorhandener Monitorpositionen erfolgt über die Schaltflächen "**Neu**" und "**Entfernen**".

"In Tiefe [m]:"

Geben Sie hier die gewünschte Tiefe der Monitorposition innerhalb der aktuellen Schicht an.

"Reale Tiefe [m]:"

WUFI berechnet die hygrothermischen Größen jeweils für die Mitte der Gitterelemente. Daher können Werte auch nur für diese Stellen ausgegeben werden. Eine Übereinstimmung der von Ihnen eingegebenen gewünschten

Monitorposition mit einem dieser Mittelpunkte ist natürlich unwahrscheinlich. WUFI wählt daher für die tatsächliche Monitorposition den Ihrer gewünschten Position am nächsten liegenden Mittelpunkt und gibt im Feld "Reale Tiefe" diese Position an.

"Element":

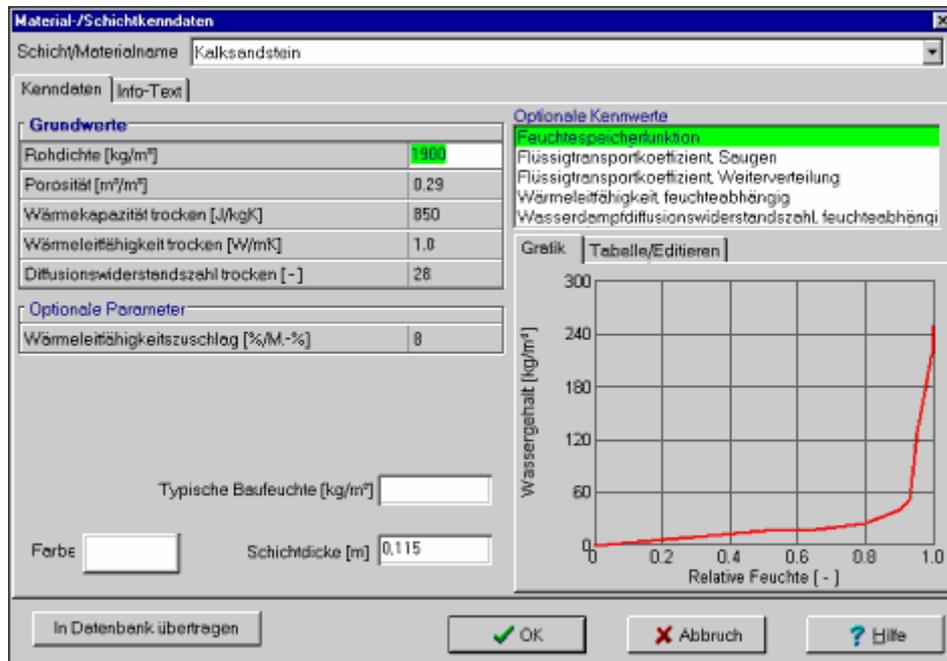
Das Gitterelement, in dem der Monitor positioniert ist.

Nächster Dialog: [Material- / Schichtkenndaten](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Material- / Schichtkenndaten



In diesem Unterdialog können Sie die Materialkenndaten der markierten Schicht ansehen, eingeben oder ändern.

Versionsnotiz: die Materialkenndaten sind nur in WUFI Pro editierbar.

Weitere Erläuterungen zu den Materialkenndaten finden Sie im Kapitel [Details: Materialkenndaten](#).

"Schicht- / Materialname":

Der Name des aktuellen Materials bzw. der aktuellen Schicht, wie er im Dialog [Aufbau](#) eingegeben wurde. Benutzen Sie die Drop-Down-Liste um in eine andere Schicht des aktuellen Aufbaus zu wechseln, ohne den Dialog schließen und neu öffnen zu müssen.

"Grundkennwerte"

"Rohdichte [kg/m³]",

"Porosität [m³/m³]",

"Wärmekapazität trocken [J/kgK]",

DialogMaterialData

\$ Dialog: Material- / Schichtkenndaten

+ 5050

K

Materialdaten;Materialkenndaten;Materialdatenbank;Rohdichte;Porosität;Wärmekapazität;Wärmeleitfähigkeit;Wärmeleitfähigkeitszuschlag;Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl;Diffusionswiderstandszahl;Feuchtespeicherfunktion;Sorptionsisotherme;approximieren;Flüssigtransportkoeffizient;Saugen;Weiterverteilen;Weiterverteilung;Wasseraufnahmekoeffizient;w-Wert;generieren

**"Wärmeleitfähigkeit trocken [W/mK]",
"Diffusionswiderstandszahl trocken [-]":**

Diese [Grundkennwerte](#) werden als minimale Berechnungsgrundlage benötigt.

"Optionale Parameter":

Einige der Kennwerte aus dem folgenden Abschnitt "Optionale Kennwerte" können alternativ zur direkten Eingabe auch mit Hilfe einfacher zu bestimmender Materialparameter approximiert oder generiert werden. In Abhängigkeit von den Einstellungen im Dialog "Optionale Kennwerte" werden die dafür benötigten Parameter dann in der Tabelle "**Optionale Parameter**" aufgelistet.

Die Beschreibung eventuell benötigter optionaler Parameter ist in den jeweiligen Abschnitten des folgenden Kapitels "Optionale Kennwerte" enthalten:

"Optionale Kennwerte":

Falls erforderlich können Sie in diese Tabelle über die Grundkennwerte hinausgehende, optionale Materialkennwerte eingeben.

Die optionalen Kennwerte umfassen die Feuchtespeicherfunktion, die feuchteabhängigen Transportkoeffizienten sowie die feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl.

Die Eingabe der optionalen Kennwerte erfolgt direkt in den jeweiligen Tabellen oder alternativ über die Eingabe von anderen einschlägigen Kenndaten, mit deren Hilfe die Tabellenwerte erzeugt werden.

"Feuchtespeicherfunktion":

Geben Sie hier die Werte für die [Feuchtespeicherfunktion](#) des Materials ein, d.h. den Wassergehalt [kg/m^3] der sich bei Kontakt des Materials mit Luft der jeweiligen relativen Luftfeuchte (0...1) einstellt.

Wenn detaillierte Tabellenwerte nicht zur Verfügung stehen, die Feuchtespeicherfunktion des Materials jedoch durch eine [Approximationsfunktion](#) angemessen wiedergegeben werden kann, wählen Sie die Option "**Approximieren**" und geben Sie

- den Sorptionsfeuchtegehalt des Materials bei 0.8 relativer Luftfeuchte, w_{80} ("**Bezugsfeuchtegehalt [kg/m^3]**", Bestimmung gemäß DIN 52620) sowie
- die "**Freie Wassersättigung [kg/m^3]**" w_f

in die zusätzlich angezeigte Tabelle "**Optionale Parameter**" ein. WUFI legt dann eine analytische Feuchtespeicherfunktion durch diese beiden Werte und den Nullpunkt.

Bei nicht-hygrokopischen Materialien können Sie die Tabelle für die Feuchtespeicherfunktion einfach unausgefüllt lassen. Da WUFI für die

numerische Berechnung aber eine definierte Feuchtespeicherfunktion benötigt, wird in einem solchen Fall intern eine [Ersatz-Feuchtespeicherfunktion](#) verwendet, die auf die sehr niedrigen Sorptionsgehalte in nicht-hygroskopischen Materialien ausgelegt ist. Weitere Erläuterungen zu dieser Ersatz-Feuchtespeicherfunktion finden Sie im Kapitel [Fragen & Antworten](#).

"Flüssigtransportkoeffizient, Saugen"

"Flüssigtransportkoeffizient, Weiterverteilung":

Geben Sie in diese Tabellen die [Flüssigtransportkoeffizienten](#) ein - getrennt für Saugen und Weiterverteilung.

Wenn die Flüssigtransportkoeffizienten eines verwendeten Materials nicht bekannt sind, können deren Werte auch von WUFI automatisch mit Hilfe des [Wasseraufnahmekoeffizienten](#) (w-Wert) generiert werden, der für die meisten Materialien entweder bekannt oder leicht messbar ist.

Dazu wählen Sie die Option "**Generieren**" und geben den w-Wert in die zusätzlich angezeigte Tabelle "**Optionale Parameter**" ein (*in $[kg/m^2\sqrt{s}]$; in der einschlägigen deutschen Norm wird die Einheit $[kg/m^2\sqrt{h}]$ verwendet. Letztere Werte werden durch Division mit 60 in SI-Einheiten umgerechnet*). WUFI erzeugt automatisch eine dreizeilige Tabelle mit den zugehörigen abgeschätzten Flüssigtransportkoeffizienten.

Beachten Sie, dass mit Hilfe der Generierung nur eine grobe Abschätzung der Koeffizienten möglich ist. Diese hat sich zwar in vielen Fällen als gut geeignet erwiesen, eine generelle Übertragbarkeit auf alle Materialien kann jedoch nicht vorausgesetzt werden. Insbesondere sind Ungenauigkeiten in der *Form* der Saugprofile zu erwarten. Die Generierung ist also in erster Linie als Unterstützung bzw. Vereinfachung gedacht und Sie sollten sich nicht blind auf ihre Korrektheit verlassen. In künftigen WUFI-Versionen ist der Einbau differenzierterer Methoden zur Generierung der Flüssigtransportkoeffizienten vorgesehen.

Hinweise zur Generierung:

Die [Abschätzung](#) der Flüssigtransportkoeffizienten aus dem w-Wert erfolgt unter Einbeziehung der Sorptionsfeuchtegehalte [w₈₀](#) und [w_f](#). Wenn bereits die Feuchtespeicherfunktion aus diesen beiden Werten approximiert wurde, wird die dortige Eingabe direkt übernommen, ansonsten werden die Werte aus der entsprechenden Tabelle – falls erforderlich auch über Interpolation – berechnet.

Solange keine Feuchtespeicherfunktion definiert ist, können die Transportkoeffizienten nicht generiert werden – die Tabelle bleibt leer (die Eingabe des w-Werts ist trotzdem möglich).

Wird die Feuchtespeicherfunktion nach Generierung der Transportkoeffizienten geändert, erfolgt auch eine automatische Anpassung der generierten Werte. Beachten Sie also, daß Sie durch das Ändern einer Materialeigenschaft ggf. als Nebeneffekt auch andere Materialeigenschaften mit verändern, unter Umständen ohne dies direkt zu beabsichtigen oder zu bemerken.

Bei Generierung beider Koeffiziententabellen – Saugen und Weiterverteilung – wird in beiden Fällen der w-Wert aus dem gemeinsam genutzten Eintrag in "Optionale Parameter" verwendet. Die Änderung nur einer Tabelle über eine Anpassung des w-Werts ist somit nicht ohne entsprechenden Einfluss auch auf die andere Tabelle möglich (wird nur eine der Tabellen generiert, die andere dagegen von Hand erstellt, bleibt die nicht-generierte von einer Veränderung des w-Werts selbstverständlich unberührt).

"Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig":

Es ist möglich, die [Wärmeleitfähigkeit](#) als Funktion des Materialfeuchtegehalts anzugeben, wenn Sie dies berücksichtigen wollen.

Falls Ihnen dabei eine lineare Abhängigkeit als ausreichend genau erscheint, kann WUFI aus Ihrer Eingabe zum [Wärmeleitfähigkeitszuschlag](#) eine entsprechende zweizeilige Tabelle generieren.

Wählen Sie dazu die Option **"Generieren"** und geben Sie in der Tabelle **"Optionale Parameter"** den Wärmeleitfähigkeitszuschlag (in [%/M.-%]) ein. WUFI generiert dann automatisch eine Tabelle mit den Werten der Wärmeleitfähigkeit jeweils in trockenem Zustand und bei maximalem Wassergehalt des Baustoffs. Die Zwischenwerte für die übrigen Wassergehalte werden bei der Berechnung linear interpoliert.

Hinweise zur Generierung:

Zur [Abschätzung](#) der Wärmeleitfähigkeit des Materials bei maximalem Wassergehalt verwendet WUFI die Grundkennwerte Rohdichte, Porosität und Wärmeleitfähigkeit trocken. Werden diese Werte nach der Generierung geändert, erfolgt auch automatisch eine Anpassung der Tabellenwerte der feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeit. Beachten Sie also, dass Sie durch das Ändern einer Materialeigenschaft ggf. als Nebeneffekt auch andere Materialeigenschaften mit verändern, unter Umständen ohne dies direkt zu beabsichtigen oder zu bemerken.

Solange nicht alle der benötigten Grundkennwerte eingegeben sind, kann WUFI die Generierung nicht durchführen – die Tabelle bleibt leer (die Eingabe des Wärmeleitfähigkeitszuschlags ist trotzdem möglich).

"Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig":

Geben Sie die [Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl](#) des Materials als Funktion des Materialfeuchtegehalts an, wenn Sie diese Feuchteabhängigkeit berücksichtigen wollen.

Allgemeine Hinweise zum [Approximieren](#) und [Generieren](#):

Für alle Optionalen Kennwerte – mit Ausnahme der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl - hält WUFI ständig zwei verschiedene Tabellen im Speicher: eine von Hand erstellte (bearbeitbare) und eine generierte (nicht bearbeitbare). Sie können parallel mit beiden Tabellen arbeiten; welche der Tabellen dann für die Berechnung verwendet wird hängt davon ab, ob die Option **"Approximieren"** bzw. **"Generieren"** bei Berechnungsstart gewählt ist oder nicht.

Indem Sie diese Option aktivieren bzw. deaktivieren, können Sie zwischen den beiden Tabellen wechseln. Die gerade nicht aktivierte Tabelle bleibt im Hintergrund gespeichert.

Mit der Schaltfläche **"Kopieren"** können Sie die generierte Tabelle zeilenweise in die von Hand erstellte Tabelle übertragen und dort weiterbearbeiten.

"Typische Baufeuchte [kg/m³]":

Ein typisches Anwendungsbeispiel für WUFI stellt die Berechnung der Austrocknungsdauer einer neu errichteten Wandkonstruktion dar. Wenn für das aktuelle Material ein typischer Baufeuchtegehalt bekannt ist, können Sie ihn hier eingeben. Eine Zuordnung der typischen Baufeuchte als Anfangsbedingung für die Berechnung erfolgt dann mit einem einzigen Klick im Dialog ["Anfangsbedingungen"](#).

"Farbe":

Wählen Sie die Farbe, mit der das Material in der [grafischen Aufbaudarstellung](#) angezeigt werden soll.

"Schichtdicke [m]":

Ermöglicht die schnelle Änderung der Dicke der aktuellen Schicht, ohne in den [Dialog: Aufbau](#) zurückkehren zu müssen.

"In Datenbank übertragen":

Öffnet den Dialog ["Neues Material"](#) aus der [Materialdatenbank](#) mit Hilfe dessen Sie das aktuelle Material in die Datenbank übertragen können, damit es in anderen Aufbauten schnell und einfach zur Verfügung steht.

Nächster Dialog: [Materialdatenbank](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Materialdatenbank

The screenshot shows the 'WUFI: Datenbank Materialien' dialog box. It features a table of materials with columns for Name, Dichte [kg/m³], Poro. [m³/m³], Wärmekap. [J/(kgK)], and Wärme. The first row, 'Beumberger Sandstein', is highlighted in green. To the right, there is a section titled 'Optionale Kennwerte' which lists various material properties and a table with 8 rows of data for relative humidity and water content. Below this is a graph showing 'Wassergehalt [kg/m³]' on the y-axis (0 to 250) versus 'Relative Feuchte [-]' on the x-axis (0 to 1.0). A red curve shows the relationship between the two. At the bottom right, there are buttons for 'Verwenden', 'Hilfe', and 'Schließen'.

In diesem Dialog können Sie aus der Datenbank ein Material für die im Aufbau markierte Schicht auswählen.

Die Materialien sind nach **Quellen** und **Katalogen** (1) geordnet.

Als Quelle werden dabei die Institutionen bezeichnet, die die Daten liefern. Sie können sich entweder die Daten aller Quellen ansehen oder eine einzelne Quelle auswählen, falls Sie nur deren Daten verwenden wollen. Die Daten jeder Quelle sind zudem in Kataloge einsortiert, die jeweils eine bestimmte Baustoffkategorie (z.B. "Putze und Mörtel", "Dämmstoffe", usw.) enthalten. Wählen Sie "Alle Kataloge", um alle Materialien der ausgewählten Quelle anzuzeigen.

Die in den ausgewählten Quellen und Katalogen enthaltenen Materialien werden in der **Materialliste** (2) angezeigt. Sie können die Materialien mit der entsprechenden Auswahl im Feld "**Sortierung**" entweder nach deren Namen oder nach einem der **Grundkennwerte** sortieren lassen.

DialogMaterialDatabase

\$ Dialog: Materialdatenbank

+ 5060

K Materialdaten;Materialkennwerte;Materialdatenbank;Quelle (Datenbank);Katalog (Datenbank)

Die folgenden Daten werden für jedes Material dargestellt:

- Die **Grundkennwerte** sind in der Liste selbst dargestellt
- Für manche Materialien sind typische Einbaudicken in einer kleinen Extraliste rechts unten angegeben.
- Das große Anzeigefeld rechts im Bildschirm (3) zeigt die **Optionalen Kennwerte** des markierten Materials an, vollständig mit Tabelle und grafischen Kurven. Wenn Sie die Auswahl "**Optionale Kennwerte zeigen**" aufheben, wird dieses Anzeigefeld ausgeblendet und die Darstellung der Materialliste entsprechend vergrößert – dies ist insbesondere dann nützlich, wenn Sie einen kleineren Bildschirm benutzen.

Die Übertragung der Materialdaten des markierten Materials in die aktuelle Schicht des **Aufbaus** erfolgt entweder mit der Schaltfläche "**Verwenden**" (4) oder mit Doppelklick auf das Material.

Weitere Erläuterungen zu den einzelnen Materialdaten finden Sie im Kapitel [Details / Materialkenndaten](#).

Die mit WUFI mitgelieferten Materialien in der Datenbank sind schreibgeschützt und können nicht geändert werden. Sie können jedoch der Datenbank eigene Materialien [hinzufügen](#).

Bitte beachten Sie:

Die Materialdatenbank enthält typische Daten für typische Materialien, die daher in erster Linie für die Verwendung in Standardfällen geeignet sind.

Die weite Streuung der Materialeigenschaften bei verschiedenen Chargen desselben Materials bzw. bei vergleichbaren Materialien verschiedener Hersteller, der Einfluss unterschiedlicher Ausführungsstandards in verschiedenen Situationen etc. führen zu entsprechenden Abweichungen im hygrothermischen Verhalten der untersuchten Komponenten.

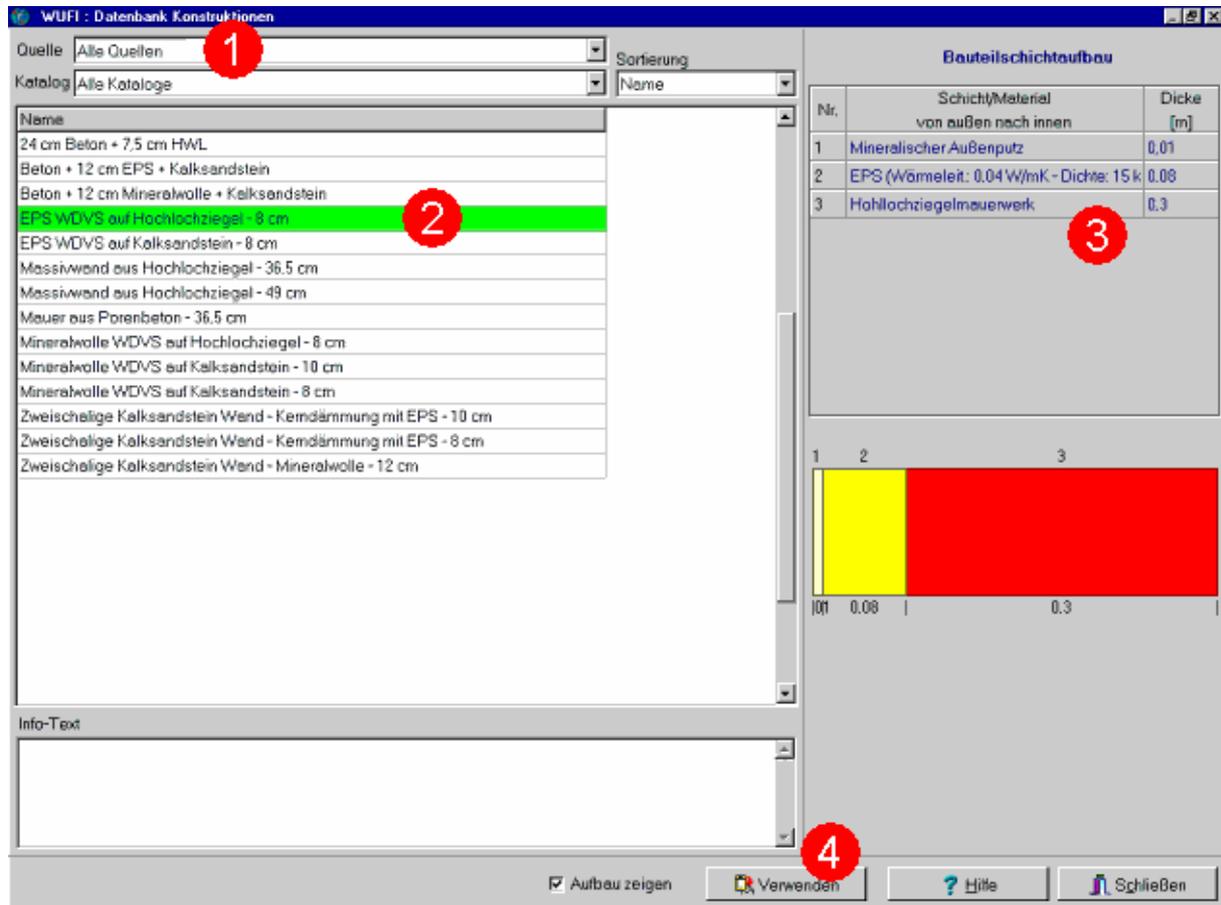
Wenn Sie daher Simulationen mit realen Fällen vergleichen oder aus Simulationen weitreichende (und ggf. teure) Schlüsse ziehen wollen, sollten Ihnen mögliche empfindliche Reaktionen der Ergebnisse auf Unsicherheiten oder Variationen bei den Eingabedaten bewusst sein. Es kann erforderlich sein, einige der Eingabedaten sehr genau zu bestimmen, um wirklich zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, während andere keinerlei erkennbaren Einfluss auf die Rechnung zeigen. Sie können mit WUFI natürlich eine Sensitivitätsanalyse durchführen und so überprüfen, wie empfindlich eine Berechnung auf die Variation der verschiedenen Eingabedaten reagiert.

Nächster Dialog: [Konstruktionsdatenbank](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Konstruktionsdatenbank



In diesem Dialog können Sie fertige Konstruktionen aus der Konstruktionsdatenbank auswählen und in den aktuellen **Aufbau** übertragen.

Die Konstruktionen sind nach **Quellen** und **Katalogen** (1) geordnet. Die Quelle bezeichnet die Institution, die das Konstruktionsbeispiel erstellt hat. Sie können sich entweder die Konstruktionen aller Quellen ansehen oder eine einzelne Quelle auswählen, falls Sie nur deren Konstruktionsbeispiele sehen wollen. Die Konstruktionen jeder Quelle sind zudem in Kataloge einsortiert, die jeweils eine bestimmte Bauteilkategorie (z.B. "Außenwände", "Kerndämmung", usw.) enthalten. Wählen Sie "Alle Kataloge", um alle Konstruktionsbeispiele der ausgewählten Quelle anzuzeigen.

Die in den ausgewählten Quellen und Katalogen enthaltenen Konstruktionen werden in der **Konstruktionenliste** (2) angezeigt. Sie können die Konstruktionen nach Namen **sortieren** lassen.

DialogConstructionDataBase

\$ Dialog: Konstruktionsdatenbank

+ 5070

K Konstruktion;Bauteil;Quelle (Datenbank);Katalog (Datenbank)

Das große Anzeigefeld rechts auf dem Bildschirm **(3)** zeigt den detaillierten Aufbau der markierten Konstruktion sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Darstellung. Wenn Sie die Option **"Aufbau zeigen"** aufheben, wird dieses Anzeigefeld ausgeblendet und die Darstellung der Konstruktionenliste entsprechend vergrößert – dies ist insbesondere dann nützlich, wenn Sie einen kleineren Bildschirm benutzen.

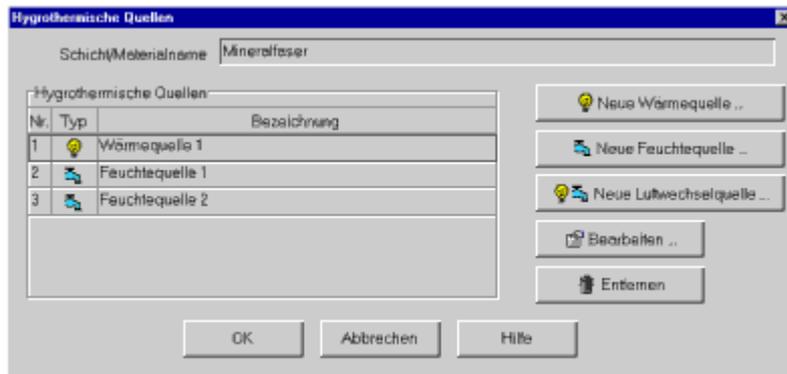
Die Übertragung der markierten Konstruktion in den aktuellen **Aufbau** erfolgt entweder mit der Schaltfläche **"Verwenden"** **(4)** oder mit Doppelklick auf die jeweilige Konstruktion.

Die mit WUFI mitgelieferten Konstruktionen in der Datenbank sind schreibgeschützt und können nicht geändert werden. Sie können jedoch der Datenbank eigene Konstruktionen [hinzufügen](#).

Nächster Dialog: [Hygrothermische Quellen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)
Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Hygrothermische Quellen



In der markierten Schicht können Sie **Wärmequellen**, **Feuchtequellen** und **Luftwechselquellen** bzw. die entsprechenden **-senken** definieren. Jeder Schicht ist eine Liste von Quellen/Senken zugeordnet, welche Sie in diesem Dialog bearbeiten können.

Um der Liste eine neue Quelle/Senke hinzuzufügen, klicken Sie je nach gewünschtem Typ auf den Button "**Neue Wärmequelle**", "**Neue Feuchtequelle**" oder "**Neue Luftwechselquelle**". Die Quelle/Senke wird in die Liste aufgenommen und es öffnet sich ein [Dialog](#), mit dem Sie die gewünschten Eigenschaften der Quelle/Senke bearbeiten können.

Wollen Sie die Eigenschaften einer bestehenden Quelle/Senke ändern, so markieren Sie sie in der Liste und öffnen Sie den [Bearbeitungsdialog](#) mit dem Button "**Bearbeiten**".

Überflüssige Quellen/Senken können mit dem Button "**Entfernen**" aus der Liste gelöscht werden.

Versionsnotiz: in WUFI light können keine Quellen/Senken verwendet werden.

Nächster Dialog: [Hygrothermische Quellen editieren](#)

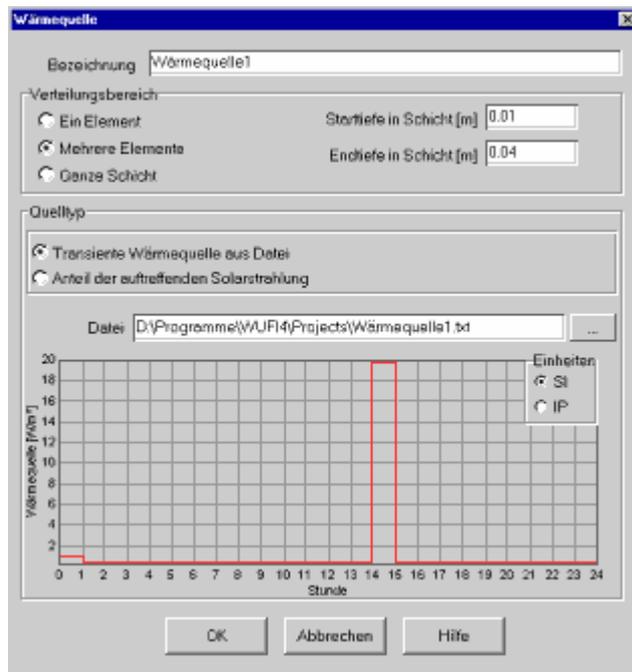
Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

DialogHygrothermischeQuellen
 \$ Dialog: Hygrothermische Quellen
 + 5074
 K

Hygrothermische
 Quellen;Quellen;Wärmequelle;Wärmequellen;Feuchtequelle;Feuchtequellen;Luftwech
 selquelle;Luftwechselquellen

Dialog: Hygrothermische Quellen editieren



In diesem Dialog können Sie Lage und Eigenschaften der einzelnen Quellen/Senken festlegen, die Sie zur aktuellen Schicht **hinzugefügt** haben. Eine Senke ist einfach eine Quelle mit negativer Quellstärke.

Zunächst sind **Lage und Ausdehnung** der Quelle festzulegen. Eine Quelle kann punktförmig oder ausgedehnt sein. Wählen Sie entsprechend aus, ob die Quelle sich über **ein Gitterelement**, **mehrere Gitterelemente** oder über die **ganze Schicht** erstrecken soll.

Geben Sie im ersten Fall an, wie tief die Quelle in der Schicht liegen soll, und im zweiten Fall, von welcher Starttiefe bis zu welcher Endtiefe sie sich erstrecken soll (jeweils in Metern, von der linken Oberfläche der Schicht aus gerechnet). WUFI weist die Quelle den jeweils nächstgelegenen Gitterelementen zu. Erstreckt sich die Quelle über die ganze Schicht, wird sie gleichmäßig auf alle Gitterelemente der Schicht verteilt.

Einer Schicht können mehrere Wärme- oder Feuchtequellen zugewiesen werden. Wärmequellen dürfen sich jedoch gegenseitig **nicht überlappen**, dasselbe gilt für Feuchtequellen. Eine Überlappung kann auch dann eintreten, wenn die von Ihnen gewünschten Tiefen sich zwar nicht überlappen, WUFI die Enden zweier benachbarter Quellen jedoch demselben Gitterelement zuweist (Fehlermeldung: **"Überschneidende Quellen"**). In diesem Fall müssen Sie die Lage der Quellen ein wenig anpassen.

DialogHygrothermischeQuellenEditieren
 \$ Dialog: Hygrothermische Quellen editieren
 + 5076
 K

Hygrothermische
 Quellen;Quellen;Senke;Senken;Wärmequelle;Wärmequellen;Feuchtequelle;Feuchte
 quellen;Luftwechselquelle;Luftwechselquellen;Gitterelemente;divergierende
 Ergebnisse;diverging results;überschneidende Quellen

Eine Luftwechselquelle beinhaltet eine Wärme- und Feuchtequelle und erstreckt sich grundsätzlich über die gesamte Schicht. Es sind daher in einer solchen Schicht keine weiteren Wärme-, Feuchte- oder Luftwechselquellen erlaubt.

Weiterhin ist der **zeitliche Verlauf der Quellstärke** festzulegen:

- Für **Wärmequellen** kann die Quellstärke aus einer Datei eingelesen oder als Anteil der auftreffenden Solarstrahlung aus den Wetterbedingungen abgeleitet werden.
- Für **Feuchtequellen** kann die Quellstärke aus einer Datei eingelesen oder als Anteil des auftreffenden Schlagregens aus den Wetterbedingungen abgeleitet werden.
- Für **Luftwechselquellen** wird der zeitliche Verlauf des Luftwechsels aus einer Datei gelesen. Eine Luftwechselquelle tauscht nach Maßgabe der Luftwechselzahl Luft an der betreffenden Stelle gegen Außenluft. Je nach Temperatur- und Feuchteverhältnissen im Bauteil und in der Außenluft können dadurch Wärme und Feuchte ins Bauteil oder aus dem Bauteil transportiert werden. Der Anhang am Ende dieses Hilfetemas beschreibt, wie WUFI die Quellstärke aus dem Luftwechsel bestimmt.

Dateien zur Steuerung der Quellstärke sind Textdateien mit einer Spalte für die Zeitachse (in h; Werte müssen aufsteigend sein) und einer Spalte für die Quellstärke (in W/m^2 für Wärmequellen, $kg/s\ m^2$ für Feuchtequellen und $1/h$ für Luftwechselquellen; als Dezimaltrennzeichen ist unabhängig von den Systemeinstellungen stets der Dezimalpunkt zu verwenden).

Die Zeitspalte gibt den Zeitpunkt an, bis zu dem die betreffende Quellstärke herrscht. So besagt z.B. eine Datei für eine Wärmequelle mit dem Inhalt

1	1
14	0.2
15	20
24	0.2

dass die Quellstärke zunächst eine Stunde lang $1\ W/m^2$ beträgt, dann 13 Stunden lang (bis zum Ende der Stunde 14) $0.2\ W/m^2$, dann eine Stunde lang (bis zum Ende der Stunde 15) $20\ W/m^2$ und schließlich 9 Stunden lang (bis zum Ende der Stunde 24) wieder $0.2\ W/m^2$. Dieser Verlauf ist im obigen Screenshot als Kurve dargestellt.

Die Datei wird bei Bedarf mehrfach hintereinander gelesen. Im Beispiel wird so eine tägliche Wiederholung des Ablaufs erreicht. Eine Datei kann jedoch auch z.B. nur zwei Stunden oder aber ein ganzes Jahr umfassen.

Hinweis: bei Feuchtequellen/senken kann es vorkommen, dass die Quelle versucht, in eine bereits maximal gefüllte Schicht weiteres Wasser zu drücken, oder aus einer bereits vollständig ausgetrockneten Schicht weiteres Wasser abzuziehen. Beides ist jedoch physikalisch nicht möglich und die Transportgleichungen werden unlösbar. WUFI bricht in solchen Fällen die Rechnung mit einem Hinweis auf **"divergierende Ergebnisse"** ab. Unter Umständen läßt sich das Problem vermeiden, indem Sie die Quelle auf einen größeren Bereich verteilen; ansonsten müssen Sie die Quell- oder Senkenstärke verringern.

Versionsnotiz: in WUFI light können keine Quellen/Senken verwendet werden.

Anhang: Berechnung der Quellstärken einer Luftwechselquelle

Die Quellstärke einer Wärme- oder Feuchtequelle wird vom Benutzer unmittelbar vorgegeben oder wird nach seinen Vorgaben direkt aus den Wetterbedingungen abgeleitet. Im Falle einer Luftwechselquelle gibt der Benutzer jedoch lediglich die Luftwechselzahl vor und WUFI bestimmt daraus und aus verschiedenen Randbedingungen die Wärme- und Feuchtequellstärken der Luftwechselquelle. Dies geschieht folgendermaßen:

Berechnung der Luftwechsel-Wärmequelle:

$$Q_t = \rho_{out} \cdot \frac{ACH}{3600} \cdot d_{cavity} \cdot C_{p,Air} \cdot (T_{out} - T_{cavity})$$

Q _t :	Wärmequellstärke [W/m ²]
ρ _{out} :	Dichte der Außenluft [kg/m ³]
ACH:	Luftwechselzahl der belüfteten Schicht [1/h]
d _{cavity} :	Dicke der belüfteten Schicht [m]
C _{p,Air} :	Spez. Wärmekapazität trockener Luft bei konstantem Druck [J/kg K] (Feuchteinfluss vernachlässigt)
T _{out} :	Temperatur der Außenluft [K]
T _{cavity} :	Temperatur der belüfteten Schicht [K] (Mittelwert aller betroffenen Gitterelemente)

Berechnung der Luftwechsel-Feuchtequelle:

$$Q_m = \frac{ACH}{3600} \cdot d_{cavity} \cdot (c_{out} - c_{cavity})$$

Q _m :	Feuchtequellstärke [kg/m ² s]
c _{out} :	Wasserdampfkonzentration in der Außenluft [kg/m ³]
c _{cavity} :	Wasserdampfkonzentration in der belüfteten Schicht [kg/m ³] (Mittelwert aller betroffenen Gitterelemente) Die Wasserdampfkonzentrationen werden jeweils aus Temperatur und relativer Feuchte der betreffenden Luft bestimmt.

Nächster Dialog: [Orientierung / Neigung / Höhe](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Orientierung / Neigung / Höhe

In diesem Dialog können Sie Orientierung, Neigung und Position des Bauteils eingeben.

Diese Angaben sind erforderlich, wenn die Randbedingungen für die **linke** Seite des Bauteils aus einer Wetterdatei vom Typ *.WET, *.TRY, *.DAT, *.WAC, *.IWC oder *.WBC gelesen werden. In allen anderen Fällen spielen entweder Strahlung und Regen keine Rolle, oder sie sind bereits auf die entsprechende Orientierung und Neigung umgerechnet. Der Dialog ist dann deaktiviert.

Die **Orientierung (1)** ist die Himmelsrichtung, in die die Bauteiloberfläche ausgerichtet ist. Diese Angabe wird benötigt, um die **Regen- und Strahlungslasten** auf die Oberfläche zu berechnen.

Sie können aus acht zur Auswahl stehenden Himmelsrichtungen auswählen:

Nord, Nord-Ost, Ost, Süd-Ost, Süd, Süd-West, West, Nord-West

Wählen Sie die Ausrichtung durch Klick auf die entsprechende Stelle auf dem Kompass oder durch Auswahl aus der Drop-Down-Liste.

Versionsnotiz: WUFI light erlaubt nur die vier Haupthimmelsrichtungen.

DialogOrientierung
 \$ Dialog: Orientierung / Neigung / Höhe
 + 5080
 K

Orientierung;Neigung;Höhe;Positionierung;Kompassrichtung;Regenkoeffizient;Regenlast;Schlagregenlast;Strahlungslast

Die **Neigung (2)** ist der Winkel, um den die Oberfläche zur Horizontalen geneigt ist. Diese Angabe wird benötigt, um die **Regen- und Strahlungslasten** auf die Oberfläche zu berechnen.

Sie können beliebige Neigungen von 90° (Mauer) bis 0° (Flachdach) eingeben, indem Sie

- das symbolisierte Bauteil mit der Maus bis zum gewünschten Winkel neigen,
- die gewünschte Neigung in das Textfeld eingeben oder
- die gewünschte Neigung mit den Pfeilen neben dem Textfeld einstellen.

Versionsnotiz: WUFI light erlaubt nur die Neigungen 0° und 90°.

Die **Schlagregenkoeffizienten (3)** dienen zur Abschätzung der **Schlagregenbelastung** des Bauteils. Die Regenbelastung einer Mauer wird vom Schlagregen bestimmt, nicht vom Normalregen. Es stehen zwei verschiedene Methoden zur Verfügung:

- Die **Schlagregenkoeffizienten R1 und R2** dienen zur Abschätzung der Schlagregenbelastung auf eine beliebig orientierte und geneigte Bauteiloberfläche. Dabei wird, unter Verwendung der Daten zu Normalregen, mittlerer Windgeschwindigkeit und -richtung (werden aus der jeweils ausgewählten **Außenklimadatei** gelesen), folgende Beziehung verwendet:

$$\text{Schlagregen} = \text{Regen} \cdot (R1 + R2 \cdot \text{Windgeschwindigkeit}),$$

wobei mit 'Regen' der Normalregen und mit 'Windgeschwindigkeit' die zur Bauteiloberfläche senkrechte Komponente der mittleren Windgeschwindigkeit (gemessen in freiem Gelände in einer Höhe von 10 m) gemeint ist. Diese Komponente wird aus der mittleren Windgeschwindigkeit und der mittleren Windrichtung errechnet.

R1 und R2 sind stark abhängig von der genauen Position an der Außenfassade. Für senkrecht stehende Flächen ist R1 null. R2 beträgt für von Gebäuden unbeeinflusste freistehende Positionen ca. 0.2 s/m, ist an weniger exponierten Stellen in der Mitte einer größeren Gebäudefassade deutlich kleiner (z.B. 0.07 s/m), an stärker exponierten (an Fassadenkanten oder -ecken) evtl. sogar größer.

Wenn Sie für das Bauteil eine Neigung von 90° ausgewählt haben, bietet WUFI Ihnen einige vordefinierte Schlagregenkoeffizienten-Sätze an: einen für ein niedriges Gebäude und drei für verschiedene **Höhen** an einem höheren Gebäude. Zur Bestimmung dieser Koeffizienten wurden von [Karagiozis und Hadjisophocleous, 1997] dreidimensionale strömungsdynamische Simulationen der Wassertropfenbewegung durchgeführt. Wählen Sie die gewünschten Koeffizienten aus der Drop-Down-Liste oder mit einem Mausklick auf die entsprechende grafische Gebäudedarstellung.

Es ist natürlich auch möglich, beliebige Regenkoeffizienten von Hand in die Textfelder einzugeben. Wenn für ein zu untersuchendes Bauteil aus Versuchen spezifische Werte vorliegen, können diese hier verwendet werden.

Wenn Sie für das Bauteil eine andere Neigung als 90° gewählt haben, wird die Situation zu komplex, als daß sie sich auf ein paar einfache Auswahlmöglichkeiten zurückführen ließe. In diesem Fall setzt WUFI die Regenkoeffizienten pauschal auf R1=1 und R2=0 (d.h. Regenbelastung =

Normalregen) zurück, und sie müssen selbst geeignete Regenkoeffizienten bestimmen und eingeben.

- Alternativ kann die Schlagregenbelastung auf eine senkrechte Wand nach **ASHRAE Standard 160P** "Design Criteria for Moisture Control in Buildings" (Draft July 2006) abgeschätzt werden:

Dies geschieht nach folgender Beziehung:

$$\text{Schlagregen} = \text{Regen} \cdot F_E \cdot F_D \cdot 0.2 \text{ s/m} \cdot \text{Windgeschwindigkeit},$$

wobei mit 'Regen' die Normalregenintensität in mm/h und mit 'Windgeschwindigkeit' die zur Bauteiloberfläche senkrechte Komponente der mittleren Windgeschwindigkeit (gemessen in freiem Gelände in einer Höhe von 10 m) gemeint ist. Diese Komponente wird aus der mittleren Windgeschwindigkeit und der mittleren Windrichtung errechnet.

Der Zahlenwert 0.2 s/m ist eine empirische Konstante. Der **Regenexpositionsfaktor F_E** hängt vom umgebenden Gelände und der Höhe des Gebäudes ab. Der ASHRAE Standard empfiehlt folgende Zahlenwerte:

Terrain:	offen	mittel	geschützt
Höhe < 10 m:	1.3	1.0	0.7
10 - 15 m:	1.3	1.1	0.8
15 - 20 m:	1.4	1.2	0.9
20 - 30 m:	1.5	1.3	1.1
30 - 40 m:	1.5	1.4	1.2
40 - 50 m:	1.5	1.5	1.3
>50 m:	1.5	1.5	1.5

Offenes Gelände schließt auch Hügelkuppen, Küstenregionen und durch die Trichterwirkung benachbarter hoher Gebäude verstärkten Wind ein. Geschützte Lagen umfassen unter anderem von Bäumen oder benachbarten Gebäuden geschützte Bereiche sowie Tallagen.

Der **Regendepositionsfaktor F_D** beschreibt Einflüsse des Gebäudes selbst. Der ASHRAE Standard gibt folgende Schätzwerte vor:

Wände von Gebäuden mit Steildach:	$F_D = 0.5$
Wände von Gebäuden mit Flachdach:	$F_D = 1$
ablaufendem Regenwasser ausgesetzte Wände:	$F_D = 2$

Ablaufendes Regenwasser kann von Dächern oder wasserundurchlässigen Oberflächen wie Fenstern auf den betrachteten Wandteil gelangen.

Hinweis: Da die meisten Bauteiloberflächen - mit Ausnahme von Sichtmauerwerk und Natursteinfassaden - eine nur mäßige kapillare Wasseraufnahmefähigkeit besitzen, können sie ohnehin nicht das ganze angebotene Wasser aufsaugen. In diesen Fällen ist eine genaue Kenntnis der quantitativen Schlagregenbelastung gar nicht so wesentlich (während die Regendauer durchaus von Bedeutung ist) und einigermaßen plausible Schätzungen des Schlagregens (wie im übrigen auch der Regenwasserabsorptionszahl) sind in der Regel ausreichend.

Versionsnotiz: In WUFI light können keine benutzerdefinierten Schlagregenkoeffizienten verwendet werden und die ASHRAE-Methode steht nicht zur Verfügung.

Nächster Dialog: [Oberflächenübergangskoeffizienten](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Oberflächenübergangskoeffizienten

Aufbau/Monitorpositionen	Orientierung/Neigung/Höhe	Oberflächenübergangskoeff.	Anfangsbedingungen
Außenoberfläche (linke Seite)			
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]	0.0588	Außenwand	
<input type="checkbox"/> Windabhängig		<input checked="" type="checkbox"/> Bauteil langwellige Strahlungsemitte	
Sd-Wert [m]	—	Keine Beschichtung	
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]	0.6	Benutzerdefiniert	
Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]	0		Erweitert >>
Regenwasserabsorptionszahl [-]	0.7	Benutzerdefiniert	
Innenoberfläche (rechte Seite)			
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]	0.125	(Außenwand)	
Sd-Wert [m]	2	Fliesen	

Die Oberflächenübergangskoeffizienten geben an, in welchem Umfang die Umgebungsbedingungen das Bauteil beeinflussen, insbesondere die Intensität der Wärme- und Feuchteströme durch die Bauteiloberflächen.

WUFI verwendet folgende Oberflächenübergangskoeffizienten:

"Außenoberfläche":

- Den "**Wärmewiderstand [m²K/W]** (entspricht dem Kehrwert des **Wärmeübergangskoeffizienten [W/m²K]**), er bestimmt den konvektiven und (langwelligen) strahlungsbedingten Wärmeaustausch zwischen Bauteil und Umgebung.

Sie können entweder einen konstanten (in den meisten Fällen ausreichend) oder einen windabhängigen Koeffizienten wählen.

Wenn Sie die Option "**Windabhängig**" aktiviert haben, verwendet WUFI abhängig vom Format der ausgewählten **Klimadatei** einen auf folgende Weise bestimmten Wärmeübergangskoeffizienten:

- **TRY- und IWC-Format:**

```
# DialogUebergangskoeff
$ Dialog: Oberflächenübergangskoeffizienten
+ 5090
K
```

Oberflächenübergangskoeffizienten; Übergangskoeffizienten; Innenoberfläche; Außenoberfläche; Wärmeübergangskoeffizient; Wärmeübergangswiderstand; diffusionsäquivalente Luftschichtdicke; sd-Wert; permeance; Beschichtung; Absorptivität; kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl; langwellige Strahlungsemissionszahl; Emissivität; Regenwasserabsorptionszahl

Wenn die **Neigung** des Bauteils größer als 10° und die Oberfläche des Bauteils von der mittleren Windrichtung **abgewandt** ist (d.h. es herrschen Lee-Bedingungen):

$$\alpha = 0.33 * v_{\text{Wind}} + 4.5 + 6.5 \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

Sonst (Luv-Bedingungen):

$$\alpha = 1.6 * v_{\text{Wind}} + 4.5 + 6.5 \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

Dabei ist 4.5 W/m²K der konvektive Wärmeübergangskoeffizient bei Windstille und 6.5 W/m²K der Strahlungsanteil.

° **DAT-Format:**

Wie TRY-Format, jedoch können hier auch umlaufende Winde auftreten (Windrichtung "999"). In diesem Fall wird der Mittelwert aus Luv und Lee verwendet.

° **WET-Format:**

In diesem Format stehen statt einer pauschalen mittleren Windrichtung Informationen über die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen während des stündlichen Meßintervalls zur Verfügung.

Wenn die **Neigung** des Bauteils kleiner als 10° ist (d.h. es herrschen stets Luv-Bedingungen):

$$\alpha = 1.6 * v_{\text{Wind}} + 4.5 + 6.5 \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

Sonst:

$$\alpha = \text{Gewichtungsfaktor}_{\text{Luv}} * (1.6 * v_{\text{Wind}} + 4.5 + 6.5) + \text{Gewichtungsfaktor}_{\text{Lee}} * (0.33 * v_{\text{Wind}} + 4.5 + 6.5) \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

Dabei bestimmt sich der Gewichtungsfaktor_{Luv} aus der Summe der nach Häufigkeit gewichteten senkrecht auf der Bauteiloberfläche stehenden Komponenten der einzelnen während des Messintervalls aufgetretenen Windrichtungen. Der Gewichtungsfaktor_{Lee} ist (1 – Gewichtungsfaktor_{Luv}).

4.5 W/m²K ist der konvektive Wärmeübergangskoeffizient bei Windstille und 6.5 W/m²K der Strahlungsanteil.

° **WAC- und WBC-Format:**

Wie TRY-Format, sofern die Datei Windrichtung und Windgeschwindigkeit (skalar oder vektoriell) enthält. Andernfalls ist eine windabhängige Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten nicht möglich und WUFI verwendet den Wert im Eingabefeld.

° **KLI-Format:**

In diesem Format sind keine Informationen über Windrichtungen und – geschwindigkeiten enthalten, so daß eine windabhängige Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten nicht möglich ist. WUFI verwendet dann den Wert im Eingabefeld.

Der Wärmewiderstand ist jeweils das Reziproke des so bestimmten Wärmeübergangskoeffizienten.

Hinweis: der zeitliche Verlauf des Wärmeübergangswiderstands kann als [ASCII-Export](#) oder als [Ergebniskurve](#) ausgegeben werden, so dass Sie auf die von WUFI jeweils verwendeten Werte zugreifen können.

"Beinhaltet langwellige Strahlungsanteile":

Mit Hilfe dieser Option können Sie WUFI mitteilen, ob der von Ihnen eingegebene benutzerdefinierte Wärmeübergangswiderstand einen [Strahlungsanteil](#) enthält oder nicht. Alle aus der Liste auswählbaren vordefinierten Koeffizienten enthalten den Strahlungsanteil. Diese Option spielt eine Rolle, wenn Sie mit expliziter Strahlungsbilanz rechnen wollen (und ist sonst auch nicht editierbar). Für Details siehe das [Hilfethema Langwelliger Strahlungsaustausch](#).

- Den "[S_d-Wert \[m\]](#)" einer evtl. vorhandenen Oberflächen'beschichtung' (z.B. Anstriche, Tapeten, [Folien](#)), welcher deren diffusionsverzögernde Wirkung zu berücksichtigen erlaubt, ohne dass die jeweiligen evtl. nur Millimeterbruchteile dicken Schichten extra in den [Bauteilaufbau](#) eingefügt werden müssen. Falls keine Beschichtung vorhanden ist, bzw. dafür doch bereits eine eigene Schicht in den [Bauteilaufbau](#) eingefügt wurde, wählen Sie "Keine Beschichtung". Der normale [Wasserdampfübergangswiderstand](#), der infolge der Luftgrenzschicht entsteht, wird von WUFI automatisch berücksichtigt und muss daher dem hier eingegebenen sd-Wert nicht mehr zugeschlagen werden. Die Verwendung dieser Option ist näher beschrieben in [Details / Oberflächenbeschichtungen](#).
- Die "[Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl \[-\]](#)", sie bestimmt den Anteil der (kurzwelligen) Gesamtstrahlung, der von dem Bauteil absorbiert wird.
- Die "[Langwellige Strahlungsemissionszahl \[-\]](#)", sie beschreibt die Intensität der (langwelligen) Strahlungsemission (Strahlungsverlust).

Der langwellige Strahlungsaustausch mit der Umgebung wird in bauphysikalischem Zusammenhang meist durch einen Zuschlag auf die [Wärmeübergangskoeffizienten](#) mit hinreichender Genauigkeit erfasst. Lediglich Details wie z.B. die nächtliche Strahlungskühlung mit ihren Folgen für Tauwasserausfall und Veralgungsrisiko sind auf diese Weise nicht beschreibbar. *Falls Sie auf die Berücksichtigung der nächtlichen Unterkühlung verzichten können, empfehlen wir, die langwellige Strahlungsemissionszahl auf Null zu setzen.*

Andernfalls geben Sie hier die Emissionszahl der Bauteiloberfläche ein, Sie müssen dann aber dafür Sorge tragen, WUFI im geeigneten Rechnungsmodus zu betreiben und geeignete Wetterdaten (insbesondere zum langwelligen Strahlungsaustausch) zu verwenden. Details hierzu siehe im [Hilfethema Langwelliger Strahlungsaustausch](#). Wegen der relativ großen Energiemengen, die

über langwellige Strahlung ausgetauscht werden, können sonst stark fehlerhafte Ergebnisse resultieren.

Falls Sie WUFI im Berechnungsmodus mit [expliziter Strahlungsbilanz](#) betreiben wollen, können Sie diesen Modus hier **einschalten** und einige Parameter setzen:

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-] 0.4 Benutzerdefiniert

Langwellige Strahlungsemissionszahl [-] 0.95 Erweitert <<

Explizite Strahlungsbilanz

Einschalten

Achtung: Die explizite Strahlungsbilanz erfordert Klimadaten mit hinreichend genauen Gegenstrahlungsdaten. Andernfalls können unrealistische Temperaturen an der Außenoberfläche resultieren.

Weitere Informationen entnehmen Sie bitte der Online Hilfe.

Terrestrischer kurzwelliger Reflexionsgrad [-]	0.20
Terrestrischer langwelliger Emissionsgrad [-]	0.90
Terrestrischer langwelliger Reflexionsgrad [-]	0.10
Bewölkungsgrad [-]	0.66

"Terrestrischer kurzwelliger Reflexionsgrad": gibt an, welcher Anteil der kurzwelligen Globalstrahlung von der terrestrischen Umgebung reflektiert wird; dient der Strahlungsumrechnung auf geneigte Flächen.

"Terrestrischer langwelliger Emissionsgrad": gibt den effektiven Emissionsgrad der terrestrischen Umgebung an; erlaubt die thermische Eigenemission der Umgebung zu berechnen.

"Terrestrischer langwelliger Reflexionsgrad": gibt den effektiven Reflexionsgrad der terrestrischen Umgebung an; erlaubt den von der Umgebung reflektierten Anteil der atmosphärischen Gegenstrahlung zu berechnen.

"Bewölkungsgrad": gibt den mit Wolken bedeckten Bruchteil des Himmels an; erlaubt die Abschätzung der atmosphärischen Gegenstrahlung, falls keine Messdaten vorhanden sind.

Bedeutung und Gebrauch dieser Parameter werden im Hilfethema [Langwelliger Strahlungsaustausch](#) näher beschrieben.

- Die **"Regenwasserabsorptionszahl [-]"**, welche berücksichtigt, dass ein Teil des auf die Bauteiloberfläche auftreffenden Regenwassers sofort wegspritzt und damit für den kapillaren Saugvorgang nicht mehr zur Verfügung steht. Für eine normale Wand verwendet WUFI den für die meisten Fälle geeigneten Wert von 0,7. Wenn die Fassade gegen Regen geschützt ist und keine Regenwasserabsorption stattfinden soll, können Sie "Keine Regenwasserabsorption" wählen.

"Innenoberfläche":

- Den **"Wärmewiderstand [m²K/W]"** (entspricht dem Kehrwert des [Wärmeübergangskoeffizienten](#) [W/m²K]), er bestimmt den konvektiven und (langwellig) strahlungsbedingten Wärmeaustausch zwischen Bauteil und Umgebung.
- Den **"S_d-Wert [m]"** einer evtl. vorhandenen Oberflächen'beschichtung' (z.B. Anstriche, Tapeten, [Folien](#)), welcher deren diffusionsverzögernde Wirkung zu berücksichtigen erlaubt, ohne dass die jeweiligen evtl. nur Millimeterbruchteile dicken Schichten extra in den [Bauteilaufbau](#) eingefügt werden müssen. Falls keine Beschichtung vorhanden ist, bzw. dafür doch bereits eine eigene Schicht in den [Bauteilaufbau](#) eingefügt wurde, wählen Sie "Keine Beschichtung". Der normale [Wasserdampfübergangswiderstand](#), der infolge der Luftgrenzschicht entsteht, wird von WUFI automatisch berücksichtigt und muss daher dem hier

eingeegebenen sd-Wert nicht mehr zugeschlagen werden.
Die Verwendung dieser Option ist näher beschrieben in [Details / Oberflächenbeschichtungen](#).

Für alle oben genannten Koeffizienten bietet WUFI vordefinierte Werte an, die Sie jeweils in einer Drop-Down-Liste auswählen können. Ebenso können Sie benutzerdefinierte Werte von Hand eingeben.

Wenn Sie für den Wärmewiderstand der Außenoberfläche ein bestimmtes Bauteil wählen, werden dadurch auch der innere Wärmewiderstand sowie die Regenwasserabsorptionszahl festgelegt.

Versionsnotiz: Benutzerdefinierte Eingaben sind nur in WUFI Pro möglich.

Die Verwendung des Wärmewiderstandes anstelle des bisher üblichen Wärmeübergangskoeffizienten entspricht der jüngsten Entwicklung bei der Nomenklatur der einschlägigen Normen.

Nächster Dialog: [Anfangsbedingungen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Anfangsbedingungen

In diesem Dialog können Sie die zu Beginn der Berechnung vorhandenen Temperatur- und Feuchteprofile festlegen (so daß Sie z.B. die Rechnung wahlweise mit einem trockenen oder einem baufeuchten Mauerwerk starten können).

Sie können folgende Anfangsverhältnisse wählen:

- eine **über das Bauteil gemittelte** konstante **relative Anfangsfeuchte** oder
- unterschiedliche **Anfangswassergehalte in den einzelnen Schichten** oder
- ein beliebiges Anfangsfeuchteprofil, z.B. verschiedene **Anfangswassergehalte** in den einzelnen **Gitterelementen**,
- eine **über das Bauteil gemittelte** konstante **Anfangstemperatur** oder
- ein beliebiges Anfangstemperaturprofil, z.B. verschiedene **Anfangstemperaturen** in den einzelnen **Gitterelementen**.

"Über das Bauteil gemittelt":

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Kalksandstein	0,115	25,0
2	Mineralfolle	0,06	0,0
3	Kalksandstein	0,175	25,0
4	Innenputz (Gips)	0,015	6,3

Sie können den gewünschten Wert für die "**relative Anfangsfeuchte**" in das Textfeld eingeben (beispielsweise 0,8 für den praktischen Feuchtegehalt, der der Gleichgewichtsfeuchte des Materials bei 80 % relativer Luftfeuchte entspricht). WUFI weist dann den einzelnen Schichten einen "**Wassergehalt**" zu, der unter

DialogAnfangsbed
\$ Dialog: Anfangsbedingungen
+ 5100

K Anfangsbedingungen;Anfangstemperatur;Temperatur (Anfangs-);Anfangsfeuchte;Feuchte (Anfangs-);INI

Verwendung der [Feuchtespeicherfunktion](#) des jeweiligen Schichtmaterials aus der angegebenen relativen Feuchte errechnet wird.

Beachten Sie, dass dies in Abhängigkeit von der jeweiligen Feuchtespeicherfunktion zu unterschiedlichen Wassergehalten in den verschiedenen Schichten führen kann. Dies ist jedoch eine durchaus realistische Anfangssituation, da es die *relative Feuchte* ist, die sich im Gleichgewichtszustand zwischen verschiedenen Schichten auszugleichen versucht, nicht der *Wassergehalt* (dies liegt an der eindeutigen Abhängigkeit der relativen Feuchte vom Kapillardruck, der seinerseits einen Gleichgewichtszustand anstrebt).

Die resultierenden Wassergehalte der einzelnen Schichten werden in der Aufbau-Tabelle in der unteren Hälfte des Dialogs angezeigt, können hier aber nicht bearbeitet werden.

Sie können den gewünschten Wert für die **"Anfangstemperatur im Bauteil"** in das Textfeld eingeben. Allen Gitterelementen wird beim Start der Berechnung der hier angegebene Wert zugewiesen. Diese Vorgehensweise wird in den meisten Fällen ausreichend genau sein, da sich das Temperaturprofil ohnehin innerhalb weniger Stunden an die Umgebungsbedingungen anpasst.

Versionsnotiz: benutzerdefinierte Eingaben für die Anfangswerte sind nur in WUFI-Pro möglich.

"In den einzelnen Schichten":

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Kalksandstein	0,115	100
2	Mineralfolle	0,06	0,0
3	Kalksandstein	0,175	100
4	Innenputz (Gips)	0,015	200

Als **"Anfangsfeuchte im Bauteil"** können Sie für jede einzelne Schicht des Aufbaus einen eigenen Wassergehalt angeben. Dazu geben Sie entsprechende Werte in die Textfelder der Aufbau-Tabelle in der unteren Hälfte des Dialogs ein. Dies ist insbesondere dann nützlich, wenn Sie Baufeuchtegehalte für verschiedene Schichten vorgeben wollen.

Wenn Sie bei der Definition der Materialien im Dialog [Material- / Schichtkenndaten](#) einen Wert für die **"Typische Baufeuchte"** eingegeben haben, können Sie diese Werte mit der Schaltfläche **"Typische Baufeuchte zuordnen"** als Anfangswassergehalte in die Tabelle übernehmen.

Für die **"Anfangstemperatur im Bauteil"** wird keine vergleichbare Eingabemöglichkeit angeboten, da sich die Temperatur im Bauteil innerhalb weniger Stunden an die Umgebungsbedingungen anpasst. Es hat daher keinen Sinn, ein stufenförmiges Temperaturprofil zu erstellen, das zum einen für eine detaillierte physikalische Betrachtung viel zu grob und zum anderen schon nach einigen Stunden wieder hinfällig ist. Wenn Sie ein differenzierteres Anfangstemperaturprofil verwenden wollen, können Sie die folgende Option nutzen.

Versionsnotiz: die Option "In den einzelnen Schichten" steht nur in WUFI Pro zur Verfügung.

"Aus Datei einlesen":

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m ³]
1	Kalksandstein	0.115	(aus Datei)
2	Mineralfolle	0.06	(aus Datei)
3	Kalksandstein	0.175	(aus Datei)
4	Innenputz (Gips)	0.015	(aus Datei)

Bei dieser Einstellung liest WUFI die **"Anfangsfeuchte im Bauteil"** aus einer Datei, die die Werte des gewünschten Anfangsfeuchteprofils enthält (z.B. gemessene oder in einer früheren WUFI-Berechnung ermittelte Werte).

Geben Sie den Namen der entsprechenden Datei in das Textfeld ein oder wählen Sie diese mit der Schaltfläche **"Datei"** aus einer Dateiliste.

Am Anfang der Berechnung liest WUFI das Anfangsfeuchteprofil aus der angegebenen ASCII-Datei. Diese Datei muss aus zwei Spalten bestehen: die erste enthält die x-Koordinaten in Metern, die zweite die zugehörigen Feuchtegehalte in kg/m³.

Beispiel:

0.0010 14.6

0.0022	14.8
0.0036	14.9
...	...

Die x-Werte müssen nicht äquidistant sein und auch nicht mit den x-Werten der Gitterelemente übereinstimmen. WUFI ermittelt den Feuchtegehalt für ein Element gegebenenfalls durch lineare Interpolation.

Diese Option erlaubt Ihnen auch, eine Rechnung mit einer anderen fortzusetzen, indem Sie das letzte berechnete Wassergehaltsprofil in eine ASCII-Datei [ausgeben](#) und als Anfangsfeuchteprofil für die nächste Rechnung verwenden.

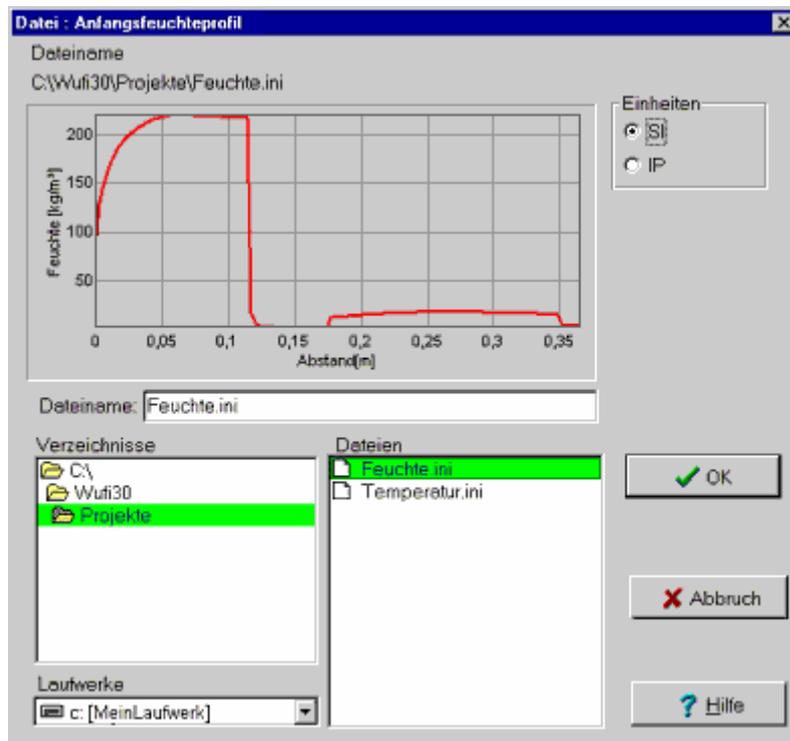
Die Verwendung eines Profils für die **"Anfangstemperatur im Bauteil"** erfolgt exakt genauso wie bei der Anfangsfeuchte.

Versionsnotiz: die Option "Aus Datei einlesen" steht nur in WUFI Pro zur Verfügung.

Nächster Dialog: [Anfangsfeuchteprofil](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)
Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Anfangsfeuchteprofil



Verwenden Sie diesen Dialog, um nach ASCII-Dateien zu suchen, die das [Anfangsfeuchteprofil](#) Ihres Bauteils enthalten.

Sobald Sie eine Datei aus der **"Dateien"**-Liste auswählen, wird diese von WUFI gelesen und das Profil dargestellt. Das erleichtert die Auswahl der richtigen Datei.

Hinweis: In diesem Dialog werden von WUFI nur Dateien mit der Erweiterung *.INI angezeigt. Wenn Sie eine Datei mit einer anderen Erweiterung verwenden wollen, können Sie den genauen Dateinamen und ggf. den zugehörigen Pfad direkt in das Textfeld im Dialog ["Anfangsbedingungen"](#) eingeben.

Nächster Dialog: [Anfangstemperaturprofil](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

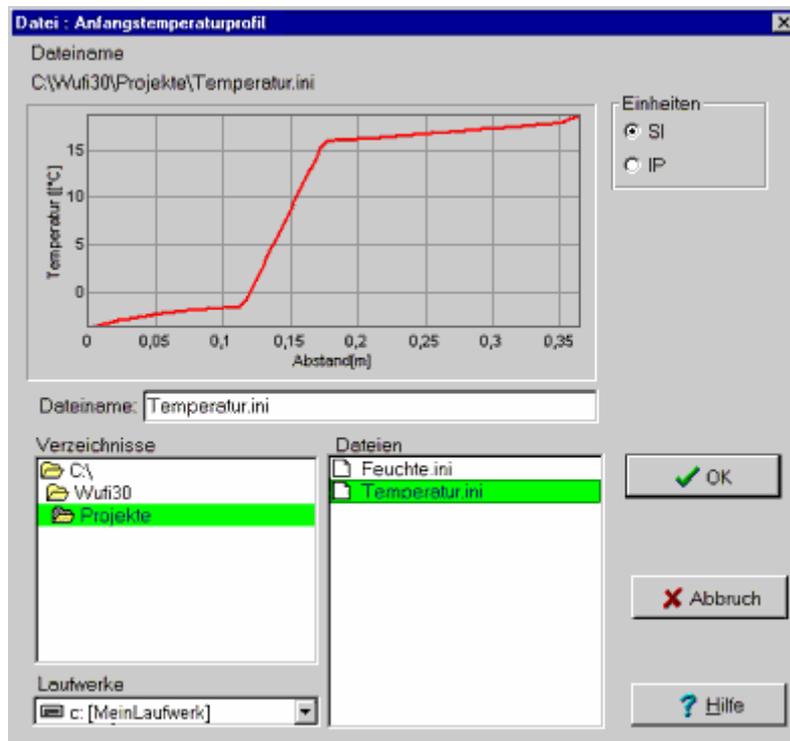
DialogInitialMoisture

\$ Dialog: Anfangsfeuchteprofil

+ 5110

K Anfangsfeuchte;Feuchte (Anfangs-);INI

Dialog: Anfangstemperaturprofil



Verwenden Sie diesen Dialog, um nach ASCII-Dateien zu suchen, die das [Anfangstemperaturprofil](#) Ihres Bauteils enthalten.

Sobald Sie eine Datei aus der **"Dateien"**-Liste auswählen, wird diese von WUFI gelesen und das Profil dargestellt. Das erleichtert die Auswahl der richtigen Datei.

Hinweis: In diesem Dialog werden von WUFI nur Dateien mit der Erweiterung *.INI angezeigt. Wenn Sie eine Datei mit einer anderen Erweiterung verwenden wollen, können Sie den genauen Dateinamen und ggf. den zugehörigen Pfad direkt in das Textfeld im Dialog ["Anfangsbedingungen"](#) eingeben.

Nächster Dialog: [Rechendauer / Profile](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

DialogInitialTemperature

\$ Dialog: Anfangstemperaturprofil

+ 5120

K Anfangstemperatur;Temperatur (Anfangs-);INI

Dialog: Rechendauer / Profile

Rechnung	Profile	Datum	Uhrzeit
Anfang	Profil 1	01.01.02	00:00:00
	Profil 2	01.03.02	14:00:00
	Profil 3	15.07.02	21:00:00
Ende	Profil 4	01.01.03	00:00:00

Rechenzeitschritt [h] 1

Hier geben Sie ein, über welchen Zeitraum WUFI eine Simulation durchführen soll (z. B.: die Simulation soll am 1. Juni beginnen und ein Jahr dauern).

Geben Sie das Datum von **"Anfang"** und **"Ende"** des Berechnungszeitraums direkt oder über die Drop-Down-Liste in die Tabelle ein.

WUFI berechnet die [Verläufe](#) für das Zeitintervall zwischen Start- und Enddatum. Jeweils für das Anfangs- und das Enddatum werden zusätzlich die [Profile](#) ausgegeben.

Wenn Sie weitere Profile für Zeitpunkte innerhalb des Berechnungsintervalls benötigen, können Sie diese durch Einfügen der entsprechenden Daten in die Zeittabelle erstellen lassen (im oben abgebildeten Screenshot sind dies die Profile 2 und 3).

Die meisten [Klimadateien](#) repräsentieren ein für die jeweiligen Orte typisches Klima und kein individuelles Kalenderjahr (wie z.B. "1995"). Daher können für die Berechnungen beliebige Jahreszahlen verwendet werden.

Falls das Berechnungsintervall über das Ende eines Kalenderjahres hinausgeht, beginnt WUFI die Klimadatei wieder von Anfang an zu lesen; dauert die Berechnung insgesamt länger als ein Jahr, wird dieselbe Klimadatei mehrfach gelesen.

Den **"Rechenzeitschritt"**, den WUFI während der Rechnung verwenden soll, können Sie beliebig festlegen, er kann nur nicht größer sein als das

DialogZeit_Profile

\$ Dialog: Rechendauer / Profile

+ 5130

K Berechnungsintervall;Profile;Anfangsdatum;Enddatum;Klimadaten;Zeitschritt

Klimadatenintervall.

Wenn Sie Klimadatensätze mit stündlichen Werten verwenden, ist ein Zeitschritt von einer Stunde naheliegend und ausreichend. Für die Berechnung von Feuchtetransportvorgängen in bauphysikalischem Zusammenhang sind je nach Problemstellung Zeitschritte zwischen ca. 10 Minuten und 24 Stunden sinnvoll. Wenn die Zeitschritte kleiner gewählt werden, führt dies zu einem deutlichen Anstieg der Rechendauer, von größeren Zeitschritten ist aufgrund der damit verbundenen zunehmenden Ungenauigkeit der Ergebnisse in der Regel abzuraten.

Die einfachste Wahl ist die Anpassung des Rechenzeitschritts an das Messintervall der Klimadatei. Wenn Sie von diesem Messintervall abweichen wollen, sollten Sie einen Zeitschritt wählen, der ein Messintervall exakt unterteilt. Ist dies nicht der Fall, wählt WUFI als Zeitschritt automatisch den dem eingegebenen Rechenzeitschritt am nächsten gelegenen Wert, der eine exakte Teilung ermöglicht (weitere Ausführungen hierzu finden Sie im Kapitel "[Details: Das *.KLI Format für Klimadaten](#)").

Allgemeine Erläuterungen zur Wahl eines geeigneten Rechenzeitschritts finden Sie in "[Details / WUFI](#)".

Versionsnotiz: Rechenbeginn, Rechendauer und Zeitschrittweite sind nur in WUFI Pro einstellbar. Zusätzliche Profile können nur von WUFI Pro ausgegeben werden. In WUFI light ist die Rechendauer auf zwei Jahre beschränkt.

Nächster Dialog: [Numerik](#)

[Zum Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Numerik

Die einzelnen Optionen dieses Dialogs erlauben Ihnen eine genauere Differenzierung des Berechnungsvorgangs

"Berechnungsart":

"Wärmetransportberechnung"

"Feuchttransportberechnung":

Wählen Sie, ob in der Berechnung der Wärme- und/oder der Feuchttransport berücksichtigt werden soll.

Normalerweise sind beide Optionen ausgewählt. Ein Beispiel, bei dem es sinnvoll ist, die Feuchttransportberechnung auszuschalten, ist die Bestimmung des Wärmedurchgangswiderstands eines Bauteils mit einem komplizierten gemessenen Feuchteprofil:

Speichern Sie das gemessene Feuchteprofil in einer *.INI-Datei und lesen Sie diese als **Anfangsfeuchte** des Bauteils ein. Deaktivieren Sie dann die Feuchttransportberechnung im aktuellen "Dialog: Numerik", um ein Auseinanderlaufen des Feuchteprofils zu verhindern.

Anschließend erstellen Sie eine *.KLI Datei mit einer geeigneten konstanten Temperaturdifferenz über dem Bauteil, starten die Berechnung und warten, bis stationäre Verhältnisse erreicht werden. Nach der Berechnung können Sie den Wärmedurchgangswiderstand aus dem sich einstellenden stationären Wärmestrom bestimmen.

```
# DialogNumerics
$ Dialog: Numerik
+ 5140
K
```

Numerik;Wärmetransport;Feuchttransport;Kapillarleitung;Verdunstungswärme;Schmelzwärme;Latentwärme;erhöhte Genauigkeit;Konvergenzverbesserung

"Hygrothermische Sondereinstellungen":

"Ohne Kapillarleitung":

Die Kapillarleitung kann getrennt ausgeschaltet werden, der Feuchtetransport erfolgt dann ausschließlich über die Dampfdiffusion. Auf diese Weise können Sie die Beiträge beider Transportmechanismen zum Gesamttransport untersuchen.

Falls die "**Feuchtetransportberechnung**" deaktiviert ist, gibt es, unabhängig von der Einstellung dieser Option, natürlich überhaupt keine Kapillarleitung.

"Ohne Latentwärme dampfförmig-flüssig", "Ohne Latentwärme flüssig-fest":

Wenn Sie sich für den Einfluss von Latentwärmeeffekten interessieren, können Sie diese hier abschalten und die Ergebnisse von Rechnungen mit und ohne Latentwärme vergleichen.

"Numerische Parameter":

"Erhöhte Genauigkeit", "Konvergenzverbesserung":

Sollten bei einer Rechnung numerische Probleme auftreten (erkennbar an einer [großen Zahl von Konvergenzfehlern](#) oder einer [schlechten Wasserbilanz](#)), die sich nicht mit Hilfe einer Gitteranpassung lösen lassen, so können Sie versuchen, die Ergebnisse mit Hilfe dieser Optionen zu verbessern. Die Wahl einer erhöhten Genauigkeit hat i.A. eine effektivere Wirkung als die Konvergenzverbesserung. Beide Optionen führen natürlich auch zu einer Verlängerung der Rechenzeit.

Bevor Sie diese Optionen nutzen, sollten Sie überprüfen, ob das verwendete [numerische Gitter](#) dem aktuellen Problem ausreichend angepasst ist. Weitere Erläuterungen zur Wahl des numerischen Gitters finden Sie in den Kapiteln "[Infos letzter Rechenlauf](#)" und "[Details / WUFI](#)".

Versionsnotiz: die numerischen Optionen sind nur in WUFI Pro vom Benutzer einstellbar.

Nächster Dialog: [Klima](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Klima

Das Bauteil ist an den Oberflächen den **klimatischen Randbedingungen** ausgesetzt, die sein hygrothermisches Verhalten maßgeblich mitbestimmen. Wie im Kapitel [Details / Klimadaten](#) erläutert, benötigt WUFI für jeden Zeitschritt Daten zur Regen- und Strahlungslast, zu den Außen- und Innentemperaturen sowie zur relativen Außen- und Innenfeuchte.

Ein eindimensionales Bauteil hat **zwei Oberflächen**: eine linke und eine rechte. Jeder der beiden Oberflächen müssen jeweils die betreffenden Randbedingungen zugewiesen werden:



Als Randbedingungen können die aus einer Wetterdatei gelesenen stündlichen Werte (als Außenklima) oder die aus einer Wetterdatei abgeleiteten Innenraumbedingungen (als Innenklima) oder pauschale jährliche Sinuskurven (als Außen- oder Innenklima) verwendet werden.

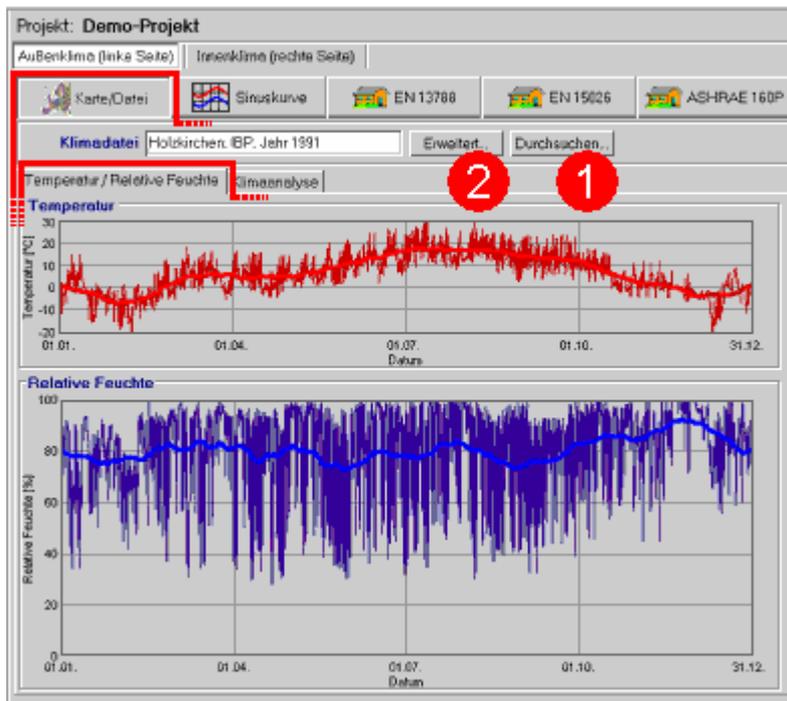
Außen- und/oder Innenklima können beliebig der linken oder rechten Seite zugewiesen werden (also z.B. auch auf beiden Seiten ein Außenklima oder auf beiden Seiten ein Innenklima). Die einzige **Einschränkung** ist: Klimadaten, die **Regen und Sonnenstrahlung** beinhalten, müssen der **linken Seite** zugewiesen werden.

Versionsnotiz: diese Austauschbarkeit besteht nur für WUFI Pro. In WUFI light können der linken Seite nur Wetterdateien und der rechten Seite nur Sinuskurven zugewiesen werden.

"Karte/Datei":

```
# F_Climate
$ Dialog: Klima
+ 5150
K
```

Klima;Klimadaten;Klimadatei;Wetter;Wetterdaten;Wetterdatei;Randbedingungen;Außenklima;Innenklima;Klimaanalyse;Strahlungsrose;Schlagregenrose;DIN EN ISO 13788;prEN 15026;Feuchtelast;Feuchteklasse;relative Feuchte;Temperatur;Sinuskurve;Regen;Schlagregen;Strahlung;Sonnenstrahlung



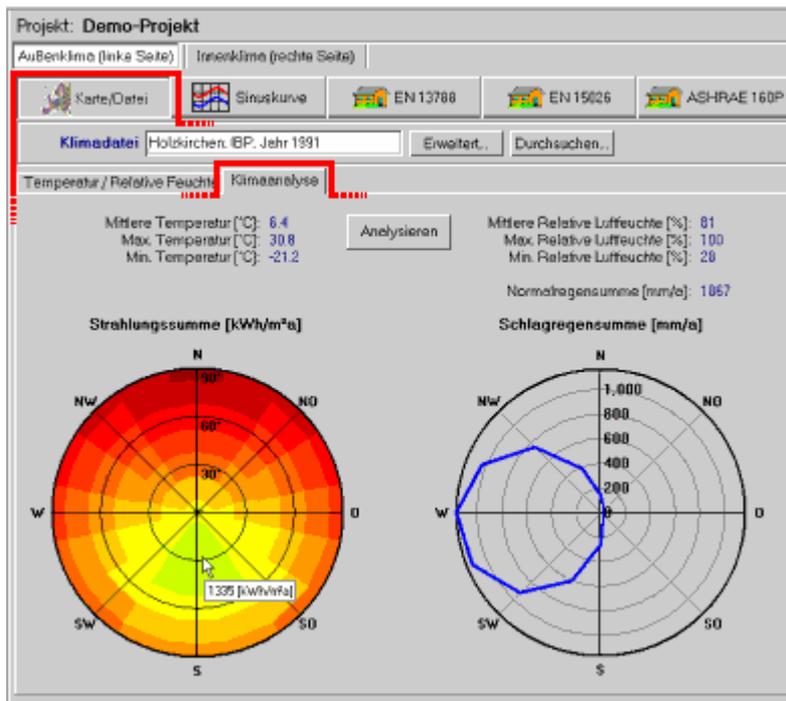
Wählen Sie diese Option, wenn die Randbedingungen aus einer **Wetterdatei** gelesen werden sollen.

Mit der Schaltfläche "**Durchsuchen...**" (1) öffnen Sie einen Dialog, mit dem Sie die gewünschte Klimadatei **auf einer Karte** oder über einen **Dateidialog** auswählen können.

Die Schaltfläche "**Erweitert...**" (2) öffnet ein Dialogfenster, in dem Ihnen je nach **Wetterdateiformat** gegebenenfalls **zusätzliche Auswahlmöglichkeiten** angeboten werden (z.B. die Verwendung gemessener Oberflächen- oder Erdreichtemperaturen etc.).

Sobald Sie eine Wetterdatei ausgewählt haben, werden die Jahresverläufe von Temperatur und relativer Feuchte graphisch dargestellt. Die dünne Kurve zeigt jeweils die aus der Wetterdatei gelesenen Daten, die dicke Kurve zur besseren Übersicht das gleitende zentrierte Monatsmittel.

Falls Sie die Klimadatei der linken Seite des Bauteils zugewiesen haben, welche auch Regen und Sonnenstrahlung aufnehmen kann, können Sie eine **Klimaanalyse** durchführen lassen.



Klicken Sie auf die Schaltfläche **"Analisieren"**, um die Auswertung zu starten. Sie erhalten dann Angaben zu den Minimal-, Maximal- und Mittelwerten von Temperatur und relativer Feuchte, zur Normalregensumme und zur Richtungsverteilung von Sonnenstrahlung und Schlagregen:

Die Strahlungsrose zeigt die Jahressumme der Globalstrahlung für Empfangsflächen verschiedener Orientierung und Neigung, die Schlagregenrose zeigt die jährliche Schlagregensumme für freistehende senkrechte Empfangsflächen ($R_2 = 0.2 \text{ s/m}$) mit verschiedenen Orientierungen.

Diese Daten sollen Ihnen einen Überblick über die wichtigsten Charakteristika des benutzten Jahres bieten. Insbesondere zeigen Strahlungs- und Schlagregenrose, aus welchen Richtungen die Fassade hauptsächlich mit Strahlung und Regen belastet wird.

*.**KLI**-Dateien können nicht analysiert werden, da die in ihnen enthaltenen Strahlungs- und Regendaten bereits auf eine feste Orientierung und Neigung bezogen sind.

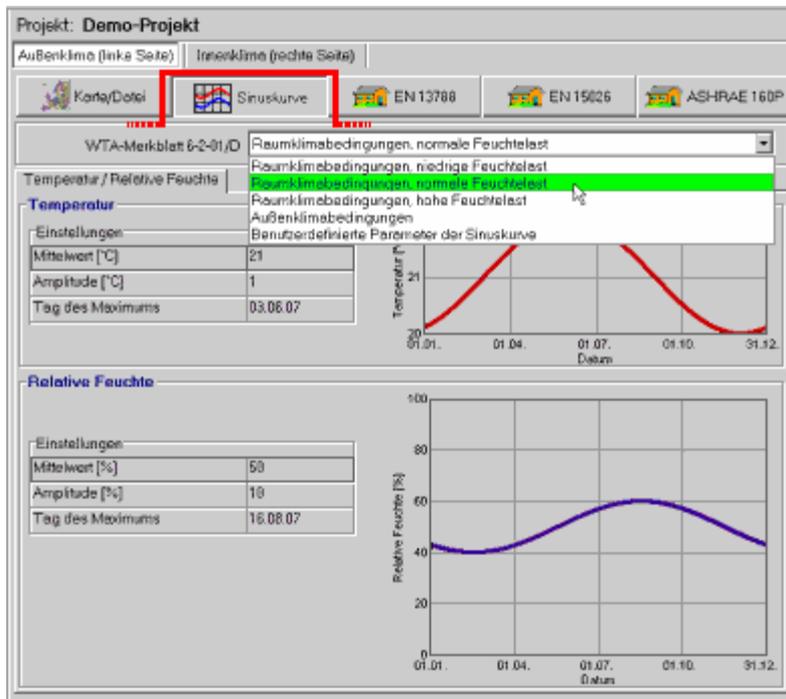
Die Analyse von *.**WET**-Dateien geschieht unabhängig von eventuell vorgenommenen **erweiterten** Einstellungen, d.h. der Temperatureauswertung liegt stets die Lufttemperatur zugrunde, der Strahlungsauswertung die Global- und Diffusstrahlung auf eine horizontale Fläche und der Schlagregenauswertung Normalregen sowie Windrichtung und -geschwindigkeit.

Wenn die Randbedingungen für die **linke** Seite des Bauteils aus einer Wetterdatei vom Typ *.**WET**, *.**TRY**, *.**DAT**, *.**WAC**, *.**IWC** oder *.**WBC** gelesen werden, müssen Sie auch Orientierung und Neigung des Bauteils im dafür zuständigen **Dialog** angeben, damit Regen und Sonnenstrahlung auf die entsprechende Richtung umgerechnet werden können. In allen anderen Fällen spielen entweder Strahlung und Regen keine Rolle, oder sie sind bereits auf die entsprechende Orientierung und Neigung umgerechnet (*.**KLI**).

Hinweis: falls der rechten Seite eine *.**KLI**-Datei zugewiesen ist, deren Zeitschrittweite nicht identisch mit der Zeitschrittweite des Klimas auf der linken Seite ist (und sei es nur aus Rundungsgründen, z.B. 0.1667 h und 0.167 h), so können sich Synchronisierungsprobleme zwischen beiden Seiten ergeben.

Lassen Sie in einem solchen Fall, sofern möglich, die Randbedingungen für beide Seiten aus *einer* *.KLI-Datei lesen.

"Sinuskurve":



In manchen Fällen ist es ausreichend, kurzfristige Änderungen der Randbedingungen zu ignorieren und nur den längerfristigen jährlichen Trend zu berücksichtigen (das setzt auch voraus, dass die rasch veränderlichen Größen Regen und Sonnenstrahlung keine Rolle spielen). Dann können für Temperatur und relative Feuchte eventuell einfache **Sinuskurven** mit jährlicher Periode oder gar **konstante** Werte verwendet werden.

Diese Voraussetzungen sind in der Regel für das **Innenklima** erfüllt: die täglichen Schwankungen der Innenraumtemperatur und -feuchte werden durch die Wärmekapazität und Sorptionsfähigkeit der Inneneinrichtung stark gedämpft; die übrigbleibenden Schwankungen haben eine geringe Eindringtiefe und beeinflussen das hygrothermische Verhalten des Bauteils nicht merklich. Falls Regen und Sonnenstrahlung keine Rolle spielen und die hygrothermische Trägheit des Bauteils groß genug ist, kann eventuell auch das **Außenklima** in dieser vereinfachten Form dargestellt werden.

WUFI generiert die **Temperatur** als Sinuskurve mit einjähriger Periode aus den Benutzereingaben zum Jahres**mittelwert** und zur **Amplitude** der Temperatur.

Die für Raumklimabedingungen vorgeschlagenen Werte (mittlere Temperatur: 20°C, Amplitude: 1°C) entsprechen dem durch Messung ermittelten durchschnittlichen Temperaturverlauf in Wohnhäusern [1].

Die für Außenklimabedingungen vorgeschlagenen Werte (mittlere Temperatur: 9°C, Amplitude: 9°C) entsprechen typischen Verhältnissen in Deutschland [1].

Versionsnotiz: Vorgabewerte für Außenklimabedingungen stehen nur in WUFI Pro zur Verfügung.

WUFI erzeugt die **relative Feuchte** als eine Sinuskurve mit einjähriger Periode aus den Benutzereingaben zum Jahres**mittelwert** und zur **Amplitude** der relativen Feuchte

Die vorgeschlagenen Werte für Raumklimabedingungen entsprechen dem durch Messung ermittelten durchschnittlichen Verlauf der relativen Feuchte in Wohnhäusern bei niedriger, normaler oder hoher Feuchtelast [1].

Die Feuchtelast ist die Differenz zwischen den Wasserdampfkonzentrationen der inneren und der äußeren Umgebungsluft. Sie ist abhängig von der inneren Feuchteproduktion und der Luftwechselrate.

$$\text{Feuchtelast [g/m}^3\text{]} = \text{Feuchteproduktion [g/m}^3\text{h]} / \text{Luftwechselrate [1/h]}.$$

Die für Außenklimabedingungen vorgeschlagenen Werte (Mittelwert: 80%, Amplitude: 8%) entsprechen typischen Verhältnissen für Deutschland [1].

Möchten Sie andere als die vorgeschlagenen Werte verwenden, wählen Sie "**Benutzerdefinierte Parameter der Sinuskurve**" aus der Drop-Down-Liste und geben Sie die gewünschten Werte in die editierbar gewordenen Eingabefelder ein. Wenn Sie einfach mit konstanten Werten rechnen wollen, können Sie durch Anklicken der Option "**konstant**" die Eingabefelder für die Amplitude und den Maximumszeitpunkt ausblenden.

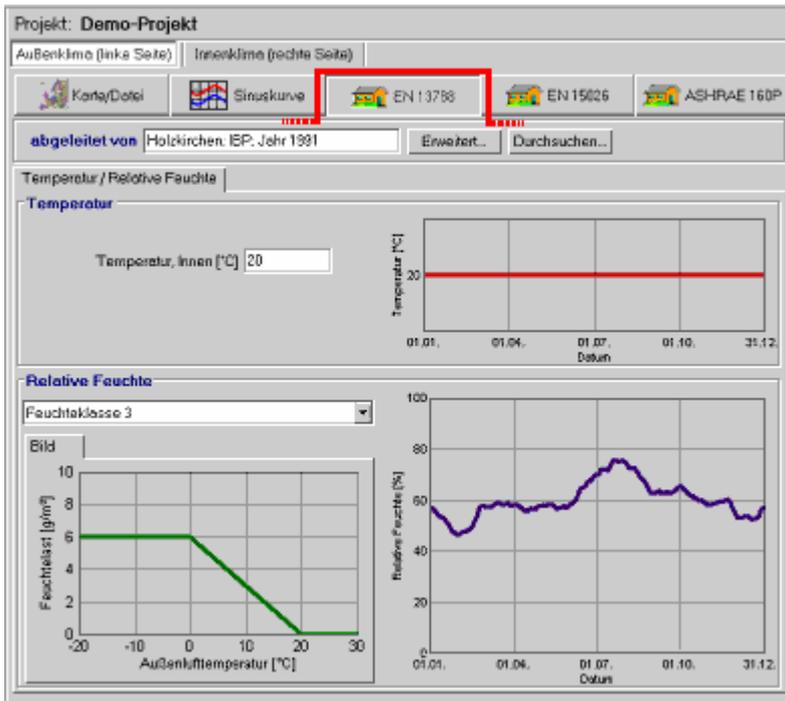
Versionsnotiz: benutzerdefinierte Eingaben für die Sinusparameter sind nur in WUFI Pro möglich.

Bei Wahl dieser Option für die Randbedingungen der **linken** Bauteilseite erübrigen sich Angaben zu **Orientierung und Neigung** des Bauteils, da Regen und Sonnenstrahlung dann keine Rolle spielen.

Literatur:

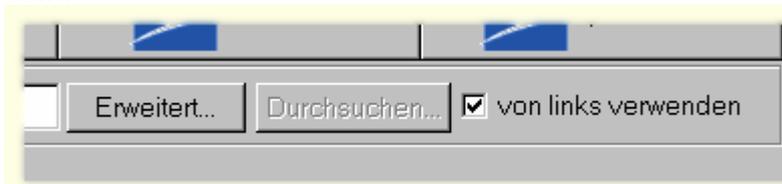
[1] WTA-Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse.

"EN 13788":



Hier können Sie ein Innenklima vorgeben, wie es sich nach **DIN EN ISO 13788** in Abhängigkeit vom jeweiligen Aussenklima einstellt.

Wenn dieses Innenklima der rechten Seite des Bauteils zugewiesen ist und Sie der linken Seite bereits ein Außenklima aus einer Wetterdatei zugewiesen haben, so können Sie durch Anklicken der Option **"von links verwenden"** das Innenklima von jenem Außenklima ableiten lassen; dies wird der Standardfall sein:



Bei Bedarf können Sie auch das Innenklima nicht aus den auf der linken Seite anliegenden Wetterdaten sondern aus einer völlig unabhängigen Wetterdatei ableiten lassen. Deaktivieren Sie dazu die Option "von links verwenden" und wählen Sie die gewünschte Wetterdatei über die Schaltfläche **"Durchsuchen..."** aus. Inwiefern dies sinnvoll sein kann, müssen Sie selbst entscheiden.

Ist das abzuleitende Innenklima der linken Seite des Bauteils zugewiesen, muß die Wetterdatei, aus der es abgeleitet werden soll, stets explizit über **"Durchsuchen..."** ausgewählt werden.

Für die Bestimmung der relativen Feuchte stehen Ihnen in einer Drop-Down-Liste vier vordefinierte **Feuchtklassen** zur Verfügung. Sie können auch eine eigene Feuchtelastfunktion eingeben, indem Sie aus der Drop-Down-Liste den Eintrag **"Benutzerdefiniert"** auswählen und in der daraufhin zugänglich gemachten Tabelle entsprechende Stützpunkte für die Funktion eingeben.

Berechnungsgrundlagen:

Die relative Feuchte für das Innenklima wird aus der (konstanten) Innenlufttemperatur und der absoluten Feuchte der Innenluft N_i bestimmt. Für N_i gilt:

$$N_i = N_a + \delta N$$

N_i : absolute Luftfeuchte innen,

N_a : absolute Luftfeuchte aussen,

δN : Luftfeuchtezuschlag, über die Feuchtelastfunktion N_a aus θ_a bestimmt.

$$N_a = \varphi_a \cdot \text{Sättigungsfuchte}(\theta_a)$$

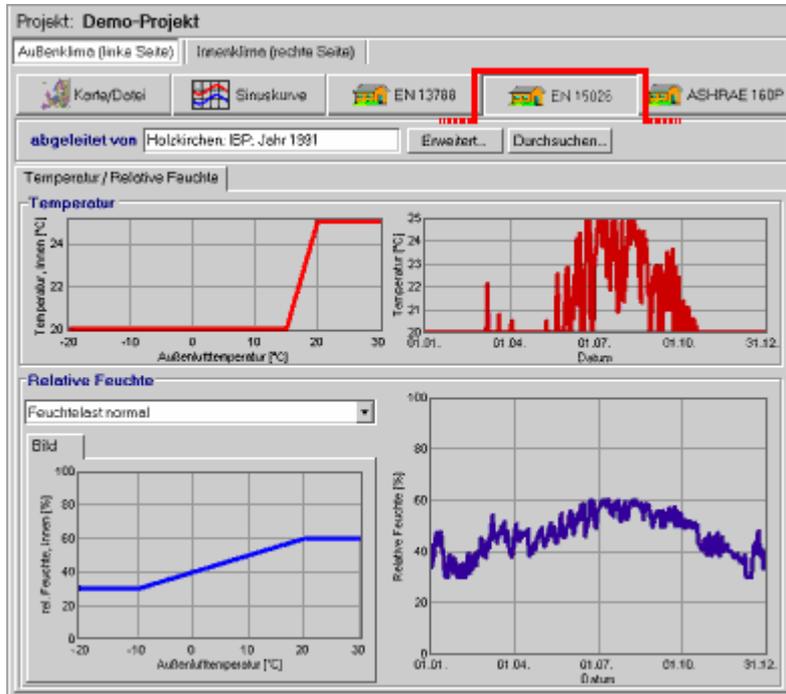
θ_a : gleitendes zentriertes Monatsmittel der Außentemperatur

φ_a : gleitendes zentriertes Monatsmittel der Außenluftfeuchte

Bei Wahl dieser Option für die Randbedingungen der **linken** Bauteilseite erübrigen sich Angaben zu **Orientierung und Neigung** des Bauteils, da Regen und Sonnenstrahlung dann keine Rolle spielen.

Versionsnotiz: diese Option ist nur in WUFI Pro verfügbar.

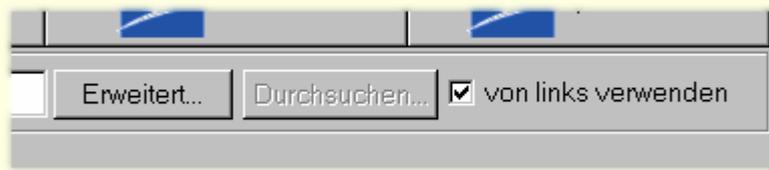
"prEN 15026":



Hier können Sie ein Innenklima vorgeben, wie es sich nach **prEN 15026** in Abhängigkeit vom jeweiligen Aussenklima einstellt.

Wenn das Innenklima der rechten Seite des Bauteils zugewiesen ist und Sie der linken Seite bereits ein Außenklima aus einer Wetterdatei zugewiesen haben, so können Sie durch Anklicken der Option "**von links verwenden**" das Innenklima

von jenem Außenklima ableiten lassen; dies wird der Standardfall sein:



Bei Bedarf können Sie auch das Innenklima nicht aus den auf der linken Seite anliegenden Wetterdaten sondern aus einer völlig unabhängigen Wetterdatei ableiten lassen. Deaktivieren Sie dazu die Option "von links verwenden" und wählen Sie die gewünschte Wetterdatei über die Schaltfläche "**Durchsuchen...**" aus. Inwiefern dies sinnvoll sein kann, müssen Sie selbst entscheiden.

Ist das Innenklima der linken Seite des Bauteils zugewiesen, muß die Wetterdatei, aus der es abgeleitet werden soll, stets explizit über "**Durchsuchen...**" ausgewählt werden.

Der Verlauf der Innenlufttemperatur wird über die vorgegebene Übertragungsfunktion aus der Außenlufttemperatur bestimmt; der Verlauf der Innenluftfeuchte wird über die vorgegebene Übertragungsfunktion ebenfalls aus der Außenlufttemperatur bestimmt:

θ_i = Temperaturfunktion(θ_a),
 ϕ_i = Feuchtefunktion(θ_a).

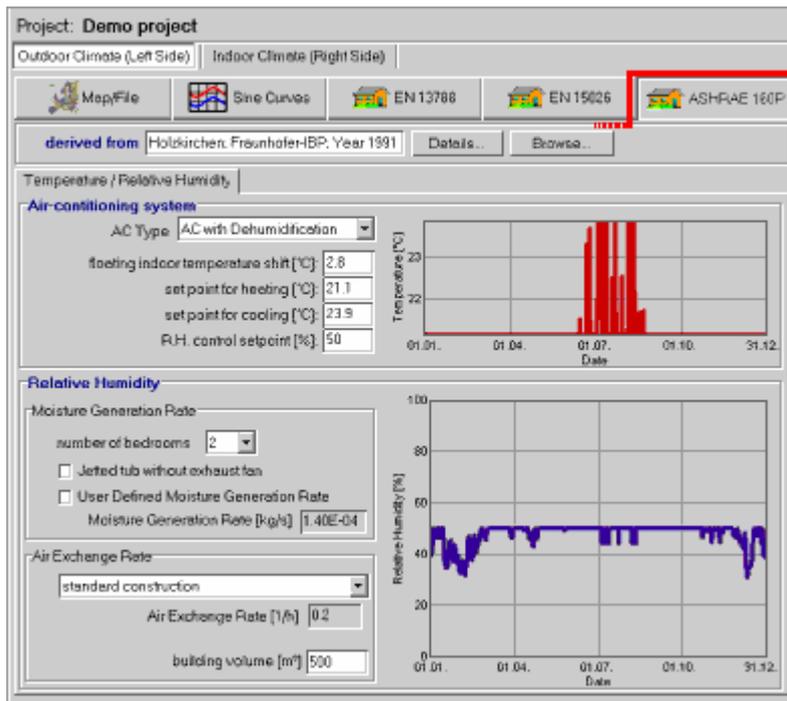
θ_i : Innenlufttemperatur,
 ϕ_i : Innenluftfeuchte,
 θ_a : gleitendes zentriertes Tagesmittel der Außentemperatur

Für die Bestimmung der relativen Feuchte stehen Ihnen in einer Drop-Down-Liste die vordefinierte **Feuchtelasten** "normal" und "hoch" zur Verfügung.

Bei Wahl dieser Option für die Randbedingungen der **linken** Bauteilseite erübrigen sich Angaben zu **Orientierung und Neigung** des Bauteils, da Regen und Sonnenstrahlung dann keine Rolle spielen.

Versionsnotiz: diese Option ist nur in WUFI Pro verfügbar.

"ASHRAE 160P"



Hier können Sie ein Innenklima vorgeben, wie es sich nach **ASHRAE Standard 160P** in Abhängigkeit vom jeweiligen Aussenklima einstellt.

Für nähere Einzelheiten wird verwiesen an: ASHRAE Standard 160P, "Design Criteria for Moisture Control in Buildings" (Draft July 2006). WUFI bestimmt das Innenklima nach der Rechenvorschrift in "Flowchart 3. Indoor design humidity, intermediate method".

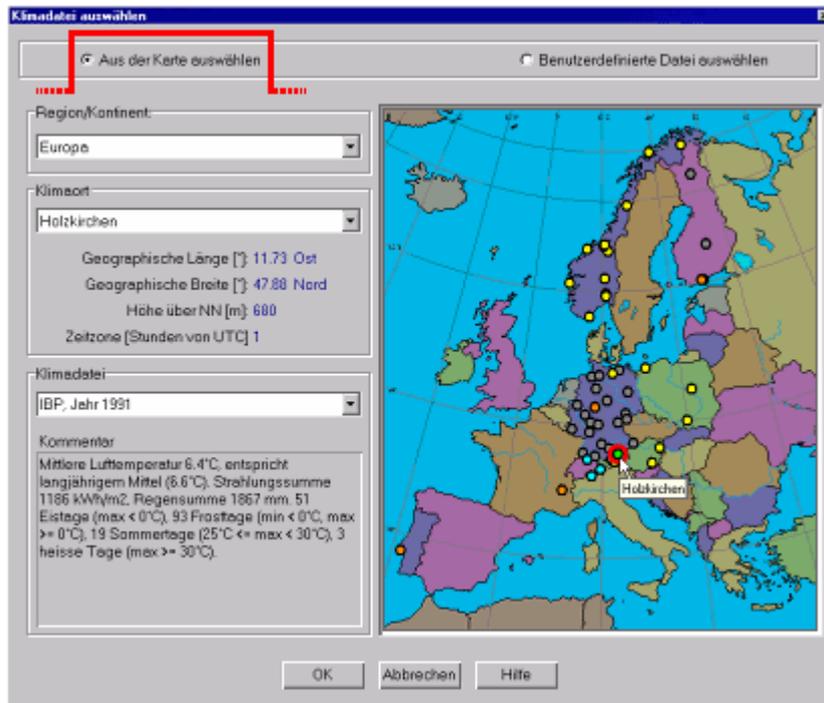
Versionsnotiz: diese Option ist in WUFI light nicht verfügbar.

Nächster Dialog: [Dialog: Klimadatei auswählen \(Karte\)](#)

[Zum Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Klimadatei auswählen (Karte)



Die Orte, für die sich Wetterdateien im Lieferumfang von WUFI befinden, sowie einige vordefinierte Orte, für die Wetterdaten aus anderen [Quellen](#) erhältlich sind, können auf den **Landkarten** dieses Dialogs durch Anklicken ausgewählt werden. Für selbst erstellte oder [anderweitig bezogene](#) Wetterdateien benutzen Sie die Option "**Benutzerdefinierte Datei auswählen**".

Sie können in die Karten **zoomen**, indem Sie mit dem Mauszeiger an der gewünschten Stelle einen Zoomrahmen von links oben nach rechts unten aufziehen. Sie können eine gezoomte Karte mit gedrückter rechter Maustaste hin und **herschieben**. Sie können wieder herauszoomen, indem Sie einen Zoomrahmen von rechts unten nach links oben aufziehen.

"Region/Kontinent":

Wählen Sie hier die gewünschte Karte aus. Zur Zeit stehen Europa, Nordamerika und Japan zur Verfügung.

"Klimaort":

Die hier angebotene Drop-Down-Liste enthält sämtliche auf der Karte vorhandenen Orte in alphabetischer Reihenfolge und stellt eine alternative

F_ClimateFileSelectMap
 \$ Dialog: Klimadatei auswählen (Karte)
 + 5160
 K Klima;Wetter;Klimadatei;Wetterdatei;Karte

Auswahlmöglichkeit dar

"Klimadatei",

Falls für einen Klimaort mehrere Dateien zur Verfügung stehen (z.B. ein warmes und ein kaltes Jahr), müssen Sie hier die gewünschte Datei auswählen.

"Kommentar":

Sofern für die ausgewählte Klimadatei Kommentare, Bemerkungen etc. zur Verfügung stehen, können sie hier angezeigt werden.

*

Zur Zeit sind folgende Klimadateien im Lieferumfang von WUFI enthalten:

- Holzkirchen (1991),
- Kassel,
- Wien, Graz, Innsbruck,
- Zürich, Davos, Locarno (jeweils ein 'warmes' und ein 'kaltes' Jahr),
- Warschau, Krakau, Kolbrzeg,
- Grenoble
- Lissabon
- Espoo (in der finnischen Pro-Version außerdem Helsinki, Jyväskylä und Sodankylä)
- 12 norwegische Städte
- 55 US-amerikanische Städte (jeweils das 10%-kälteste und 10%-wärmste aus 30 Jahren),
- 9 kanadische Städte (teilweise mit jeweils einem warmen und einem kalten Jahr)
- 7 japanische Städte.

Versionsnotiz: nur WUFI Pro enthält alle Klimadateien; WUFI light enthält eine je nach Sprache unterschiedliche Teilmenge; WUFI ORNL/IBP enthält die nordamerikanischen Orte.

Die Holzkirchner Wetterdaten stammen vom IBP, andere Daten wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Mr. William Seaton, ASHRAE (USA und Kanada), Dr. K. Krec, Büro für Bauphysik (Österreich), Dr. Ghazi Wakili, EMPA (Schweiz), Dr. W. Haupt, Uni GH Kassel (Kassel), dem CSTB (Grenoble), der FEUP, Uni Porto (Lissabon), dem VTT (Finnland), dem NBI/NTNU (Norwegen), der TU Lodz (Polen) und dem Architectural Institute of Japan (AMeDAS-Daten für Japan).

Die Farben der zur Auswahl stehenden Orte zeigen das Dateiformat der betreffenden Wetterdaten an. Vordefinierte Orte, für die Wetterdaten separat erworben werden können, sind zunächst grau. Kopieren Sie Dateien für diese Orte in WUFIs `Climate`-Verzeichnis; beim nächsten Start wird WUFI die Datei erkennen und den Ort farbig darstellen.

WUFI ist vorbereitet für die Benutzung der Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes und zwar sowohl der 'alten' (Blümel et al., 1986, *.TRY; nicht mehr erhältlich) wie auch der 'neuen' Testreferenzjahre (Christoffer et al., 2004, *.DAT).

Vordefiniert sind ferner 842 Orte für Japan, wovon je nach WUFI-Version ein Ort oder sieben Orte im Lieferumfang enthalten sind.

Für Bezugsquellen solcher Wetterdateien siehe [Details / Quellen für Klimadaten](#).

Die zur Zeit mit WUFI mitgelieferte Klimadatei für Holzkirchen enthält die Messdaten

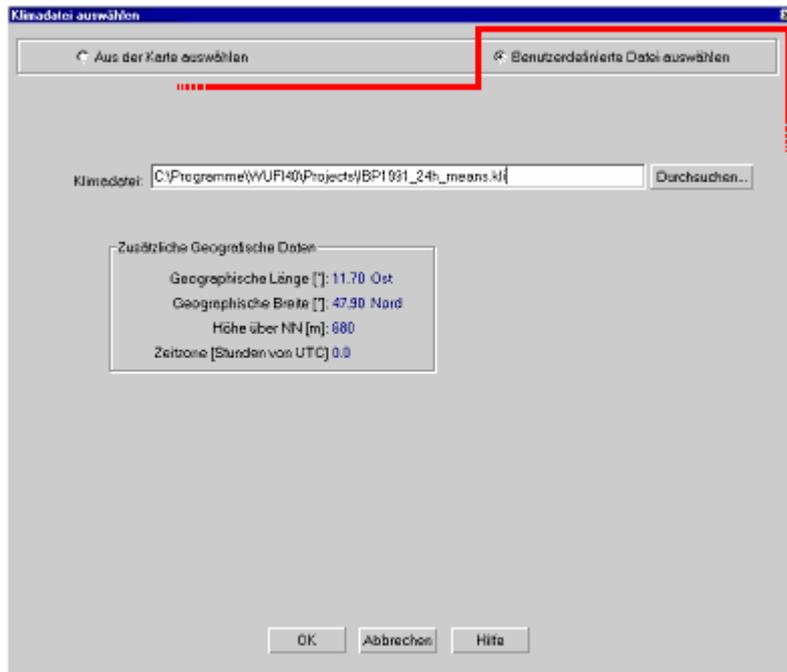
des für Holzkirchen typischen Jahres 1991. Künftige WUFI-Versionen werden mit zwei Hygrothermischen Referenzjahren für zwei unterschiedliche hygrothermische Belastungssituationen von Bauteilen ausgestattet.

Nächster Dialog: [Klimadatei auswählen \(Dateibrowser\)](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Klimadatei auswählen (Dateibrowser)



Dieser Dialog dient dazu, eine benutzerdefinierte Klimadatei für die Rechnung auszuwählen. Die im Lieferumfang von WUFI enthaltenen Dateien können auf [Landkarten](#) ausgewählt werden.

Versionsnotiz: dieser Dialog ist nur in WUFI Pro verfügbar.

"Durchsuchen...":

Mit dieser Schaltfläche öffnen Sie einen Dateidialog, mit dem Sie die gewünschte Datei aussuchen können.

"Zusätzliche geographische Daten":

Zur Umrechnung der in der Klimadatei enthaltenen Strahlungsdaten auf eine bestimmte Neigung und Orientierung der Empfangsfläche muß WUFI den jeweiligen Sonnenstand bestimmen und braucht dazu Angaben zur geographischen Lage und Zeitzone des Klimaorts.

Da die Formate der meisten Klimadateien solche Informationen nicht vorsehen, müssen diese Angaben WUFI anderweitig zur Verfügung gestellt werden. Für die im Lieferumfang enthaltenen Dateien sind sie in der Datenbank abgelegt. Für benutzerdefinierte Dateien muß vom Benutzer für jede Klimadatei eine zusätzliche *.AGD-Datei angelegt werden

F_ClimateFileSelectFile
\$ Dialog: Klimadatei auswählen (Dateibrowser)
+ 5170
K Klima;Wetter;Klimadatei;Wetterdatei;AGD

Hinweis: Wir empfehlen, Klimadateien stets mit vollem Pfad anzugeben, da sonst Mehrdeutigkeiten entstehen könnten, insbesondere wenn zur Klimadatei noch eine *.AGD-Datei gehört.

Nächster Dialog: [Klima: Erweiterte Einstellungen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Klima: Erweiterte Einstellungen

Bei einigen Klimaformaten stehen noch zusätzliche Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung.

*.WET-Dateien:



*.WET-Dateien enthalten zusätzliche Meßdaten, welche für eine hygrothermische Simulation nützlich sein können:

"Temperatur":

*.WET-Dateien enthalten mehrere Spalten mit Temperaturmessdaten. Üblicherweise liest WUFI für eine Rechnung die Lufttemperatur. Es stehen aber auch die Oberflächentemperaturen einer weißen und einer schwarzen Fassadenoberfläche und Erdoberflächentemperaturen in verschiedenen Tiefen zur Verfügung.

**"Schwarze Oberfläche",
"Weiße Oberfläche":**

```
# F_ClimateFileDetails
$ Dialog: Klima | Erweiterte Einstellungen
+ 5180
K
```

Klima;Wetter;Klimadatei;Wetterdatei;Lufttemperatur;Oberflächentemperatur;Erdoberfläche;Erdoberflächentemperatur;Erdoberflächentemperatur



Eine *.WET-Datei für den Standort Holzkirchen enthält die **gemessenen Oberflächentemperaturen** eines einem Wärmedämmverbundsystem entsprechenden 'weissen' ($a_s \approx 0.4$) bzw. 'schwarzen' ($a_s \approx 0.9$) westorientierten Fassadenausschnitts. Wollen Sie Ihr Bauteil denselben Oberflächentemperaturen aussetzen, wählen Sie in diesem Dialog die entsprechende Option und setzen Sie den **Wärmeübergangswiderstand** für die Außenoberfläche auf Null. WUFI liest dann die betreffende Temperatur aus der Datei und benutzt sie während der Rechnung als 'Außenlufttemperatur'; der auf Null gesetzte Wärmeübergangswiderstand bewirkt, dass die Oberfläche dieselbe Temperatur annimmt.

Die Verwendung gemessener Oberflächentemperaturen verlangt auch eine entsprechende Behandlung anderer Klimagrößen:

"Relative Feuchte":

Die in der Klimadatei enthaltene Feuchte bezieht sich auf die in der Spalte 'Außentemperatur' enthaltene Lufttemperatur. Wird stattdessen eine der Oberflächentemperaturen als 'Lufttemperatur' benutzt, so resultieren aus dieser Kombination falsche Wasserdampfpartialdrücke an der Bauteiloberfläche. Die Option "**rel. Luftfeuchte angleichen**" rechnet die aus der Datei gelesene Feuchte so um, dass sich die richtigen Partialdrücke ergeben.

"Strahlung":

Wenn Sie die Oberflächentemperatur des Bauteils auf die gemessenen Oberflächentemperaturen setzen, darf "**Keine Strahlung**" in der Rechnung berücksichtigt werden, da die Sonnenstrahlung ja bereits in den gemessenen Temperaturen steckt.

"Erdoberfläche":

Für Berechnung der Wärmeausbreitung im Erdreich mag es nützlich sein, die **gemessenen Temperaturen der Erdoberfläche** als Randbedingungen anzusetzen. Wählen Sie dazu diese Option und setzen Sie den **Wärmeübergangswiderstand** für die Außenoberfläche auf Null. WUFI liest dann die betreffende Temperatur aus der Datei und benutzt sie während der Rechnung als 'Außenlufttemperatur'; der auf Null gesetzte Wärmeübergangswiderstand bewirkt, dass die Oberfläche dieselbe Temperatur annimmt.

Die am Standort Holzkirchen erfassten Erdoberflächentemperaturen werden einige Zentimeter unter der Oberfläche gemessen.

Die Verwendung gemessener Erdoberflächentemperaturen verlangt auch eine entsprechende Behandlung anderer Klimagrößen:

"Relative Feuchte":

Die in der Klimadatei enthaltene Feuchte bezieht sich auf die in der Spalte 'Außentemperatur' enthaltene Lufttemperatur. Wird stattdessen die Erdoberflächentemperatur als 'Lufttemperatur' benutzt, so resultieren aus

dieser Kombination falsche Wasserdampfpartialdrücke an der Oberfläche. Die Option "**rel. Luftfeuchte angleichen**" rechnet die aus der Datei gelesene Feuchte so um, dass sich die richtigen Partialdrücke ergeben.

**"50 cm unter Erdoberfläche",
"1 m unter Erdoberfläche":**

Für die hygrothermische Berechnung eines erdberührten Bauteils (z.B. einer Kellerwand) mag es nützlich sein, **gemessene Erdreichtemperaturen** als Randbedingungen anzusetzen. Wählen Sie dazu die entsprechende Option und setzen Sie den **Wärmeübergangswiderstand** für die Außenoberfläche auf Null. WUFI liest dann die betreffende Temperatur aus der Datei und benutzt sie während der Rechnung als 'Außenlufttemperatur'; der auf Null gesetzte Wärmeübergangswiderstand bewirkt dann, dass die Oberfläche dieselbe Temperatur annimmt.

Wenn Sie die thermische Rückwirkung des Gebäudes auf die Erdreichtemperatur berücksichtigen wollen, fügen Sie vor dem Bauteil noch eine hinreichend dicke Erdschicht ein und setzen Sie deren 'Außenoberfläche' auf die gemessenen Temperaturen.

Die Verwendung gemessener Erdreichtemperaturen verlangt auch eine entsprechende Behandlung anderer Klimagrößen:

"Relative Feuchte":

Im Erdreich herrscht in der Regel eine ziemlich "**konstante rel. Luftfeuchte**"; bei Pflanzenbewuchs beträgt die Feuchte mindestens ca. 99%, da die Pflanzen sonst aus dem Boden gegen dessen kapillare Saugspannung kein Wasser aufnehmen könnten. WUFI benutzt daher für Rechnungen mit erdberührten Bauteilen eine konstante relative Feuchte als Randbedingung, deren Zahlenwert Sie nach Bedarf eingeben können.

"Strahlung":

Da im Erdreich "**Keine Strahlung**" herrscht, werden die Sonnenstrahlungsdaten aus der Klimadatei ignoriert.

"Regen":

Da im Erdreich "**Kein Regen**" vorkommt, werden die Regendaten aus der Klimadatei ignoriert. Sollten Sie das Aufsaugen von (nicht drückendem) Grundwasser berechnen wollen, empfiehlt sich die Verwendung einer entsprechend erstellten ***.KLI-Datei**.

"Relative Feuchte":

Je nach gewählter Temperatur-Option (siehe oben), kann es notwendig sein, die relative Feuchte auf ein anderes Temperaturniveau umzurechnen oder konstant zu setzen.

"Strahlung":

Je nach gewählter Temperatur-Option (siehe oben), kann es notwendig sein, die Sonnenstrahlung zu unterdrücken.

Andernfalls haben Sie die Möglichkeit, die sonst übliche Umrechnung der

Sonnenstrahlung auf die spezifisch geneigte und orientierte Fassade zu umgehen, und die auf einer Fassade gemessene Strahlung (z.B. Weststrahlung) direkt einzulesen und zu verwenden, falls vorhanden.

"Regen":

Je nach gewählter Temperatur-Option (siehe oben), kann es notwendig sein, den Regen zu unterdrücken.

Andernfalls haben Sie die Möglichkeit, die sonst übliche Umrechnung von Normalregen auf Schlagregen zu umgehen und die an einer Fassade gemessene Schlagregenmenge direkt einzulesen und zu verwenden, falls vorhanden. Setzen Sie in diesem Fall die [Regenkoeffizienten](#) auf $R1=1$ und $R2=0$.

Siehe hierzu auch die Erläuterungen in [Details / Das *.WET-Format für Klimadaten](#).

*.KLI-Dateien:



*.KLI-Dateien enthalten Daten zum **Außenklima** (Regen, Strahlung, Lufttemperatur, relative Feuchte) und zum **Innenklima** (Lufttemperatur, relative Feuchte). Wenn Sie eine *.KLI-Datei der linken Seite des Bauteils zuweisen, liest WUFI üblicherweise die Außenklimadaten aus der Datei; wenn Sie eine *.KLI-Datei der rechten Seite zuweisen, liest WUFI die Innenklimadaten. In diesem Dialog können Sie eine davon abweichende Wahl treffen. Regen und Strahlung werden dann ignoriert.

*.TRY-, *.DAT-, *.WAC-, *.IWC-, *.WBC-Dateien:

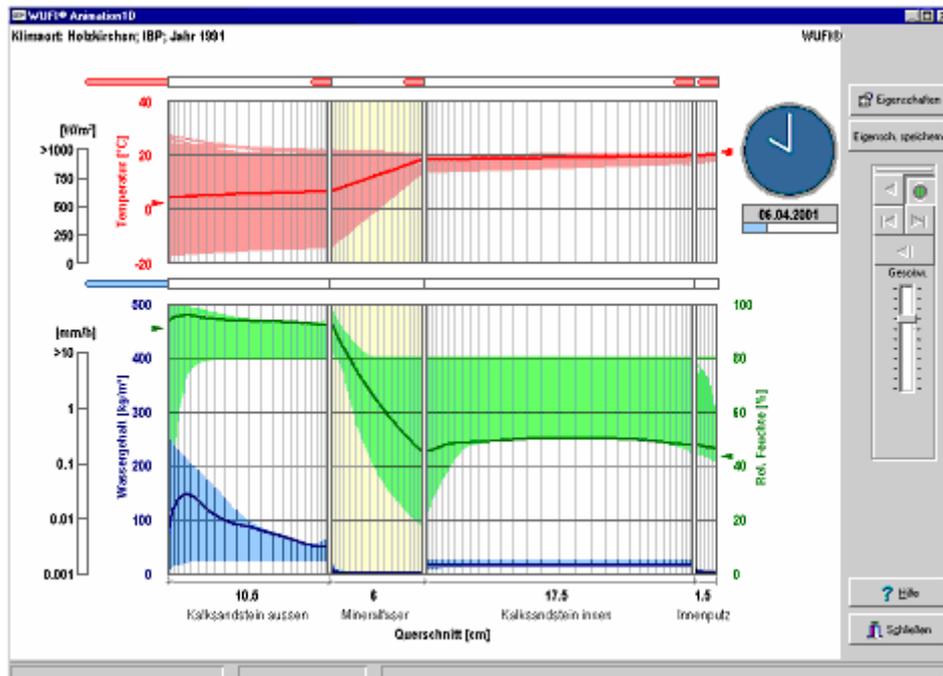


Für diese Dateitypen stehen keine erweiterten Einstellungen zur Verfügung.

Nächster Dialog: [Rechnen mit Filmdarstellung](#)

[Zum Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)
[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Rechnen mit Filmdarstellung



Öffnen Sie diesen bildschirmfüllenden Dialog, um die Berechnung zu starten und schon während der Rechnung die thermischen und hygrischen Vorgänge im Bauteil (als 'Film') zu sehen.

Mit den **Kontrollschaltflächen** können Sie die Berechnung



starten,



unterbrechen und wieder fortsetzen,



im Einzelschrittmodus ablaufen lassen.

Nach Beendigung der Rechnung steht Ihnen zum nochmaligen Abspielen des Films unter dem Menüpunkt Ausgabe | Filmdarstellung ein Filmbetrachter zur Verfügung, welcher zusätzliche Bedien- und Auswertemöglichkeiten bietet.

Der **Geschwindigkeitsregler** ermöglicht eine Reduzierung der Rechengeschwindigkeit (z.B. für Präsentationszwecke). Ziehen Sie dazu den Regler

F_Film

\$ Dialog: Rechnen mit Filmdarstellung

+ 5190

K Rechnung;Simulation;Film;Rechnung starten;Rechnung unterbrechen;Rechnung fortsetzen;Temperatur;Wassergehalt;Feuchtegehalt;relative Feuchte;Dampfdruck;Randbedingungen;Innenklima;Außenklima;Sonnenstrahlung;Regen;Wärmestrom;Feuchtestrom;Wärmestromdichte;Feuchtestromdichte;Massenstromdichte;Massenprozent

mit der Maus an die gewünschte Stelle oder nehmen Sie die Einstellung mit den Pfeiltasten, den Bildlauf-tasten oder den Pos1/Ende-Tasten vor.
Bei zu hoch eingestellter Geschwindigkeit kann es vorkommen, dass einzelne 'Filmbilder' in der Darstellung verschluckt werden.

Uhr und **Kalender** zeigen Ihnen den aktuell bei der Berechnung erreichten Zeitpunkt.

In der linken Bildschirmhälfte wird die zeitliche Abfolge der stündlich berechneten Profile für Temperatur, relative Feuchte / Dampfdruck und Wassergehalt als **Film** dargestellt. Die Auswahl der darzustellenden Kurven, die Skalierung der Achsen sowie die Einstellung weiterer Optionen erfolgt in einem Unterdialog, der über die Schaltfläche "**Eigenschaften**" aufgerufen wird.

Die **Temperatur** (rot) wird in einem eigenen Diagramm oben im Bildschirm, der **Wassergehalt** (blau) und die **relative Feuchte** / der **Dampfdruck** (grün) werden gemeinsam im unteren Diagramm dargestellt. Dabei ist die linke Y-Achse dem Wassergehalt, die rechte der relativen Feuchte / dem Dampfdruck zugeordnet.

Sie können in den Bauteilaufbau hinein**zoomen**, indem Sie an der betreffenden Stelle einen Zoomrahmen von links oben nach rechts unten aufziehen. Um wieder herauszuzoomen, ziehen Sie einen Zoomrahmen von rechts unten nach links oben auf.

Zeigen Sie mit dem Cursor auf eine Kurve, um sich in der Statuszeile die **x-Koordinate** und den **Kurvenwert anzeigen** zu lassen.

Die aktuellen **Umgebungsbedingungen** (Lufttemperaturen und relative Feuchten / Dampfdrücke) werden durch rote und grüne Pfeile links und rechts neben dem Bauteil dargestellt. Das linke Klima enthält zudem ggf. Strahlung und Regen, deren Intensitäten durch Balkenanzeigen dargestellt werden.

Jeweils über den Diagrammen werden die **Wärme- und Feuchteströme** über die zwei Bauteiloberflächen sowie die inneren Schichtgrenzen als Pfeile dargestellt, deren Längen von der Stärke der jeweiligen Ströme abhängen (weitere Erläuterungen finden Sie im Hilfetext zum Dialog "**Eigenschaften**").

Zeigen Sie mit dem Cursor auf den Fußpunkt eines Pfeils, um sich in der Statuszeile den Zahlenwert des betreffenden Stroms anzeigen zu lassen.

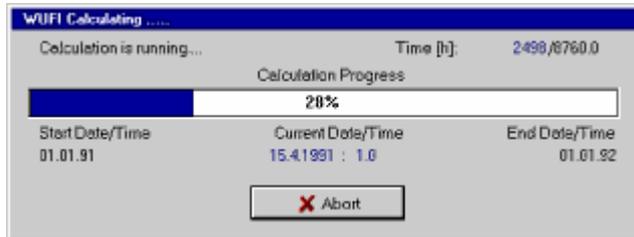
Der durch den Pfeil dargestellte Wärmestrom über die Außenoberfläche enthält, wie vom Betrachter üblicherweise erwartet, die auftreffende Sonneneinstrahlung.

Beachten Sie jedoch, dass elektromagnetische Strahlung genaugenommen keinen Wärmestrom darstellt und dass daher in den **Ergebnisgrafiken** nur die reinen Wärmeströme dargestellt werden. Die auftreffende Solarstrahlung erzeugt einen langen Wärmestrom-Pfeil in positiver X-Richtung in das Bauteil hinein. In Wirklichkeit wird dagegen die Strahlung im Material absorbiert und in Wärme umgewandelt, wobei ein Großteil dieser Wärme sofort als *eigentlicher* Wärmestrom in negativer X-Richtung aus dem Bauteil heraustransportiert wird.

Dies wird im Kapitel **Fragen und Antworten** näher erläutert.

Der Feuchtestrom ist die Summe von Diffusionsstrom und Kapillarstrom.

Sie können die Rechengeschwindigkeit erhöhen, indem Sie die Berechnung ohne Filmdarstellung durchführen. Wählen Sie dazu "Rechnen | Rechnung starten" anstelle von "Rechnen | Rechnung mit Filmdarstellung starten". WUFI zeigt dann lediglich einen Fortschrittsbalken an:



Nächster Dialog: [Film: Eigenschaften](#)

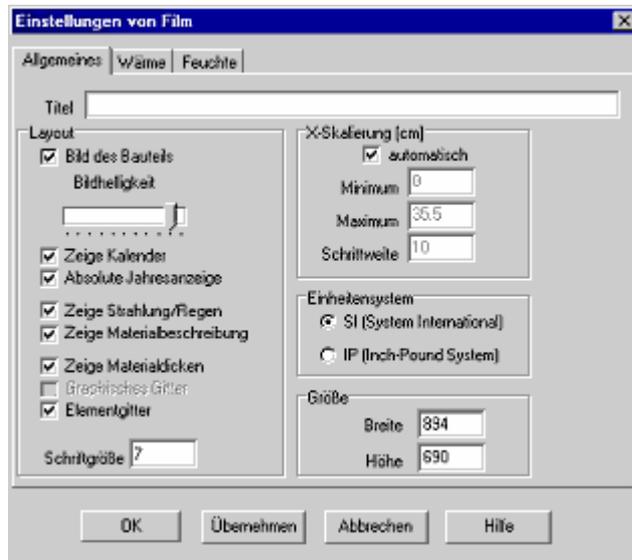
Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Film: Eigenschaften

Mit Hilfe dieses Unterdialogs können Sie die [Filmdarstellung](#) konfigurieren.

"Allgemeines":



"Titel":

Vergeben Sie einen Titel, der in der [Filmdarstellung](#) über dem Bauteil angezeigt wird.

"Layout":

"Bild des Bauteils":

Aktivieren Sie diese Option, um die graphische Darstellung des Bauteilaufbaus mit den [Materialfarben](#) der einzelnen Schichten zu hinterlegen. Mit dem Schieberegler "Bildhelligkeit" stellen Sie die Farbsättigung ein.

"Zeige Kalender":

Sie können Uhr und Kalender ein- oder ausblenden.

"Absolute Jahresanzeige":

Deaktivieren Sie diese Option, um die Jahre im Kalender nur in einer relativen Zählung als "1, 2, 3,..." anzeigen zu lassen, auch wenn Sie für die [Rechendauer](#) konkrete Jahre (z.B. von 2004 bis 2012) angegeben haben.

"Zeige Strahlung/Regen":

Wählen Sie hier, ob die Balkenanzeigen für Sonnenstrahlung und Regen dargestellt werden sollen oder nicht.

F_FilmProperties

\$ Film: Eigenschaften

+ 5200

K

Temperatur;Wassergehalt;Feuchtegehalt;relative Feuchte;Dampfdruck;Rechnung;Film;Wärmestrom;Wärmestromdichte;Feuchtestrom; Feuchtestromdichte;Massenstromdichte

"Zeige Materialbeschreibung":

Wählen Sie hier, ob in der graphischen Bauteildarstellung unter jeder Schicht der zugehörige **Materialname** angezeigt werden soll.

"Zeige Materialdicken":

Wählen Sie hier, ob in der graphischen Bauteildarstellung unter jeder Schicht die zugehörige **Schichtdicke** angezeigt werden soll.

"Elementgitter":

Wählen Sie hier, ob das **numerische Gitter** angezeigt werden soll.

"Schriftgröße":

Stellen Sie hier die Größe für die Beschriftungen in der Grafik ein.

"X-Skalierung [cm]":

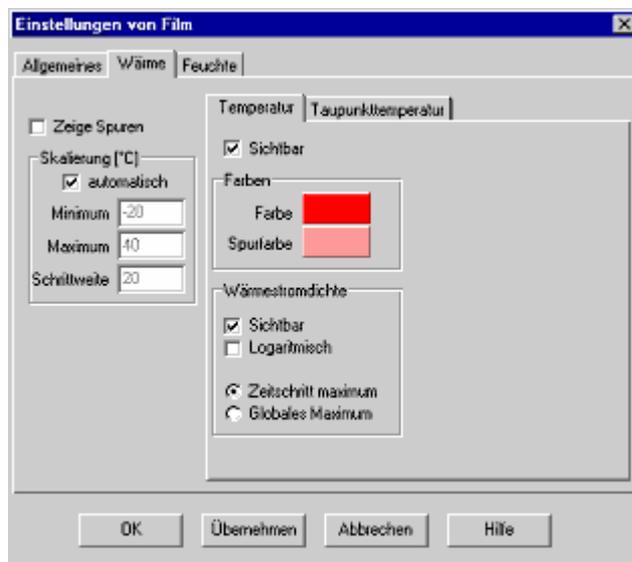
Sie können die Skalierung der x-Achse automatisch vornehmen lassen oder selbst spezifizieren.

"Einheitensystem":

Sie können zwischen SI-Einheiten und IP-Einheiten umschalten.

"Größe":

Sie können die gewünschte Größe des Filmfensters in Pixeln angeben.

"Wärme":**"Zeige Spuren":**

Wählen Sie, ob der von den Kurven überstrichene Bereich farbig hervorgehoben werden soll. Dies läßt sofort die an verschiedenen Orten im Bauteil aufgetretenen Extremwerte erkennen.

"Skalierung [°C]:"

Sie können die Skalierung der y-Achse automatisch vornehmen lassen oder selbst spezifizieren.

"Temperatur":

"Sichtbar":

Sie können die Darstellung der Temperaturkurve an- oder abschalten.

"Farben":

Wählen Sie die Farben, mit denen die Temperaturkurve und ggf. ihre Spur dargestellt werden sollen.

"Wärmestromdichte":

"Sichtbar":

Sie können die Pfeile an- und abschalten, die über der graphischen Darstellung des Bauteilaufbaus die Wärmestromdichten an den Schichtgrenzen anzeigen.

"Logarithmisch":

Wenn die Wärmestromdichten von sehr unterschiedlicher Größe sind, sehen Sie in linearer Darstellung nur jeweils den größten Pfeil. Die logarithmische Darstellung dämpft diese Unterschiede.

"Zeitschritt-Maximum",

"Globales Maximum":

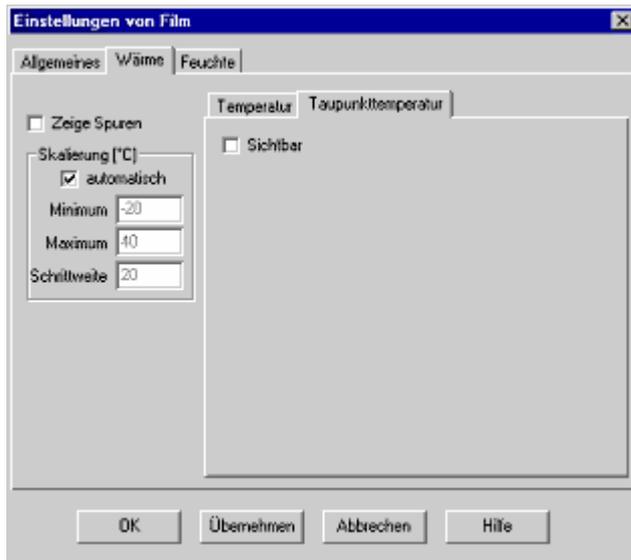
Da die Intensität der Ströme innerhalb eines Bauteils über mehrere Größenordnungen reichen kann, ist die Vorab-Definition einer Längenskala für die Flusspfeile nicht möglich.

Die Option **"Zeitschritt-Maximum"** setzt das Maximum der Pfeillänge auf den größten im aktuellen Zeitschritt auftretenden Wert (d.h. bei jedem Zeitschritt tritt mindestens ein Pfeil mit maximaler Länge auf).

Die Option **"Globales Maximum"** setzt das Maximum der Pfeillänge auf den größten bislang im Bauteil aufgetretenen Wert.

Die Option "Global" erleichtert einen Vergleich der Ströme zu verschiedenen Zeitpunkten der Simulation (es sei denn, ein neu auftretendes Maximum erfordert zwischenzeitlich eine Neuskalierung), allerdings kann die Darstellung kleinerer Ströme nach Auftreten eines großen Stroms so klein ausfallen, dass diese in der auf den großen Wert angepassten Skalierung nicht mehr sichtbar sind. Die Option "Zeitschritt" gewährleistet eine Skalenlänge, die immer den aktuell im Bauteil auftretenden Prozessen angepasst ist.

"Taupunkttemperatur":



"Sichtbar":

Sie können die Darstellung der Taupunktskurve an- oder abschalten.

"Farben":

Wählen Sie die Farben, mit der die Taupunktskurve und ggf. ihre Spur dargestellt werden sollen.

"Feuchte":



"Zeige Spuren":

Wählen Sie, ob der von den Kurven überstrichene Bereich farbig hervorgehoben werden soll. Dies läßt sofort die an verschiedenen Orten im Bauteil aufgetretenen Extremwerte erkennen.

"Wassergehalt":

"Sichtbar":

Sie können die Darstellung der Wassergehaltskurve an- oder abschalten.

"Farben":

Wählen Sie die Farben, mit denen die Wassergehaltskurve und ggf. ihre Spur dargestellt werden sollen.

"Massenstromdichte":**"Sichtbar":**

Sie können die Pfeile an- und abschalten, die über der graphischen Darstellung des Bauteilaufbaus die Massenstromdichten an den Schichtgrenzen anzeigen.

"Logarithmisch":

Wenn die Massenstromdichten von sehr unterschiedlicher Größe sind, sehen Sie in linearer Darstellung nur jeweils den größten Pfeil. Die logarithmische Darstellung dämpft diese Unterschiede.

"Zeitschritt-Maximum",**"Globales Maximum":**

Da die Intensität der Ströme innerhalb eines Bauteils über mehrere Größenordnungen reichen kann, ist die Vorab-Definition einer Längenskala für die Flusspfeile nicht möglich.

Die Option **"Zeitschritt-Maximum"** setzt das Maximum der Pfeillänge auf den größten im aktuellen Zeitschritt auftretenden Wert (d. h. bei jedem Zeitschritt tritt mindestens ein Pfeil mit maximaler Länge auf).

Die Option **"Globales Maximum"** setzt das Maximum der Pfeillänge auf den größten bislang im Bauteil aufgetretenen Wert.

Die Option "Global" erleichtert einen Vergleich der Ströme zu verschiedenen Zeitpunkten der Simulation (es sei denn, ein neu auftretendes Maximum erfordert zwischenzeitlich eine Neuskalierung), allerdings kann die Darstellung kleinerer Ströme nach Auftreten eines großen Stroms so klein ausfallen, dass diese in der auf den großen Wert angepassten Skalierung nicht mehr sichtbar sind. Die Option "Zeitschritt" gewährleistet eine Skalenlänge, die immer den aktuell im Bauteil auftretenden Prozessen angepasst ist.

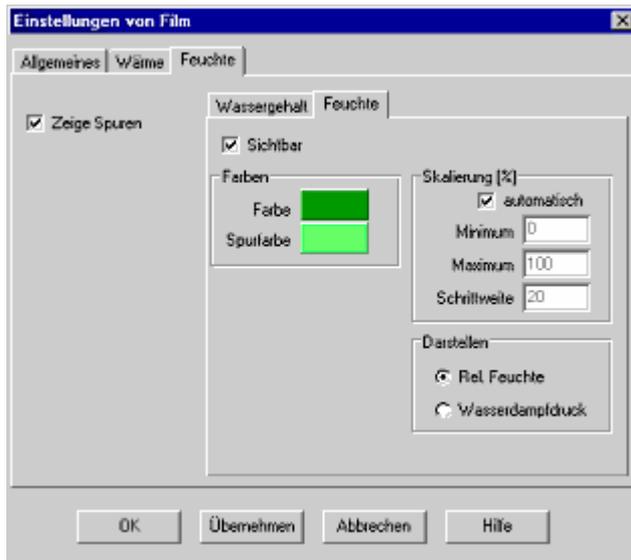
"Skalierung [kg/m³]":

Sie können die Skalierung der y-Achse automatisch vornehmen lassen oder selbst spezifizieren.

"Darstellen":

Sie können den Wassergehalt wahlweise in kg/m³ oder Massenprozent darstellen lassen.

"Feuchte":



"Sichtbar":

Sie können die Darstellung der relativen Feuchte an- oder abschalten.

"Farben":

Wählen Sie die Farben, mit denen die relative Feuchte und ggf. ihre Spur dargestellt werden sollen.

"Skalierung [%]":

Sie können die Skalierung der y-Achse automatisch vornehmen lassen oder selbst spezifizieren.

"Darstellen":

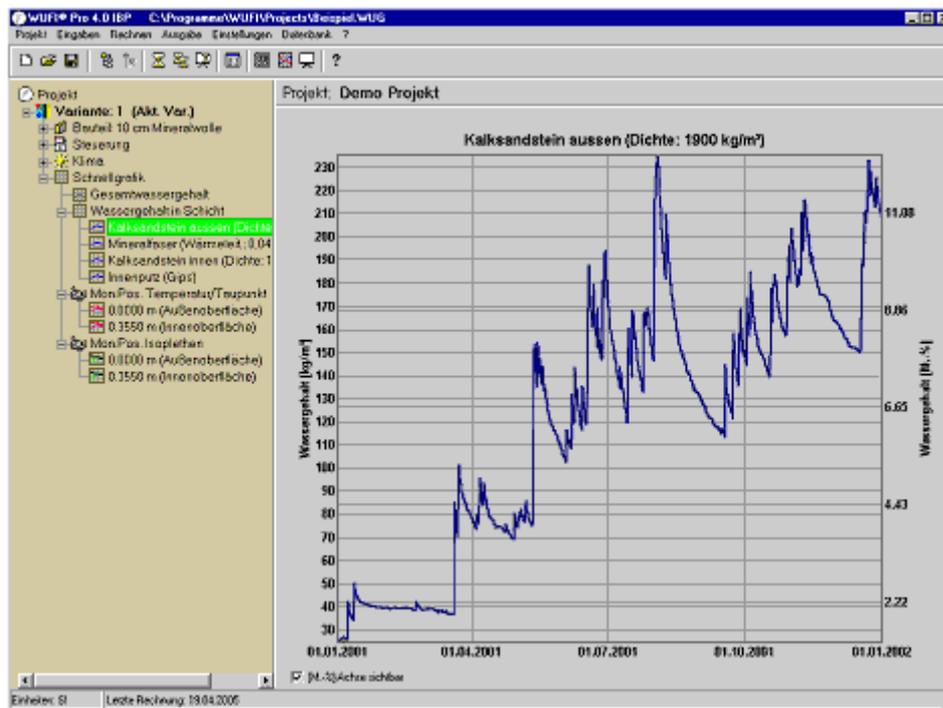
Sie können wahlweise die relative Feuchte oder den Wasserdampfpartialdruck darstellen lassen.

Nächster Dialog: [Schnellgrafik](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Schnellgrafik



Nach Beendigung der Rechnung können Sie über den Projekt-Explorer auf die Schnellgrafiken zugreifen. Diese sollen Ihnen ohne Wartezeit einen Überblick über die Rechenergebnisse liefern (als schön formatierte und editierbare aber etwas langsamere Alternative stehen Ihnen die [Ergebnisgrafiken](#) zur Verfügung).

Mit gedrückter rechter Maustaste können Sie die Grafiken **hin und herschieben**.

Sie können in die Grafik hineinzoomen, indem Sie an der gewünschten Stelle mit der linken Maustaste von links oben nach rechts unten einen Zoomrahmen aufziehen. Sie können wieder herauszoomen, indem Sie einen Zoomrahmen von rechts unten nach links oben aufziehen.

Mit der rechten Maustaste können Sie ein Popup-Menü aufrufen:



"Zoom alles":

F_KurzGrafik

\$ Dialog: Schnellgrafik

+ 5210

K Schnellgrafik;Isoplethen;Schimmel;Schimmelpilzwachstum

Zoomen Sie die Grafik wieder auf Originalgröße zurück.

"Drucken...":

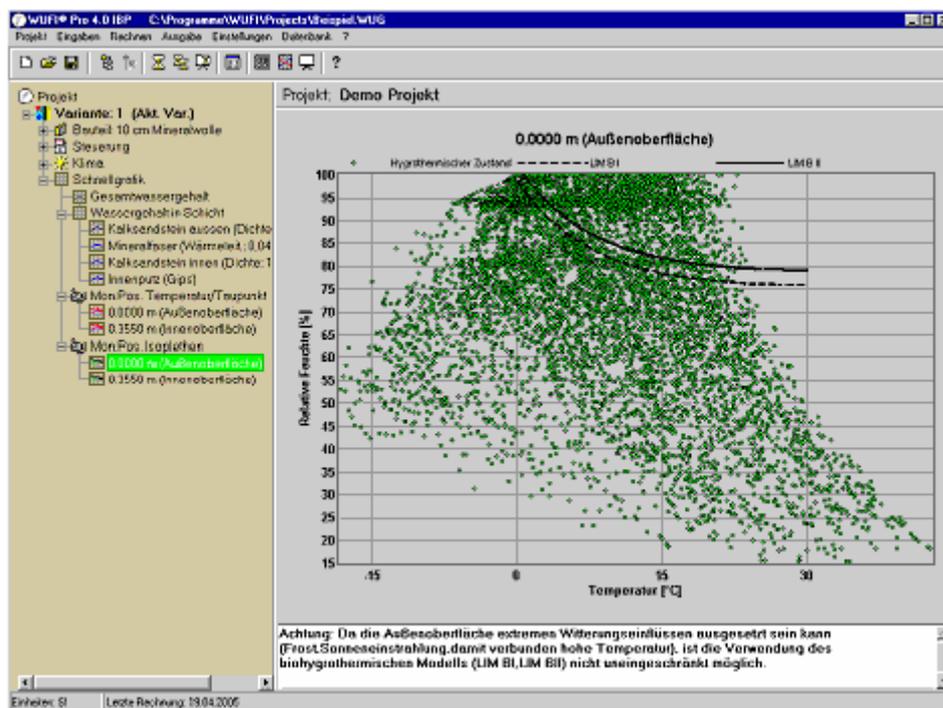
Drucken Sie die Grafik.

"Exportieren":

Exportieren Sie die Grafik in eine ASCII-Datei oder als Bild ins Bitmap- oder Metafile-Format.

Versionsnotiz: diese Exportoptionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

Als Besonderheit bietet Ihnen die Schnellgrafik eine Darstellung der Oberflächentemperaturen für jeden Zeitschritt, aufgetragen gegen die zugehörige relative Feuchte:



Jeder Punkt in dieser Grafik stellt den hygrothermischen Zustand der linken bzw. rechten Bauteiloberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt dar.

Ebenfalls eingetragen sind die **Grenzisoplethen** für Baustoffe, LIM B I und LIM B II, unterhalb welcher in der Regel nicht mit **Schimmelpilzwachstum** zu rechnen ist [1]. Liegt der Zustand längere Zeit oberhalb der Grenzisoplethe, ist Schimmelpilzwachstum möglich, eine genauere Aussage ist aber nur unter Hinzuziehung weiterer Kriterien möglich. Dies gilt vor allem auch für die Außenoberfläche, an der Witterungseinflüsse Schimmelpilzwachstum wirksam unterbinden können (Keimtötung durch starke Erwärmung oder UV-Strahlung; Abwaschen von Schimmelsporen bei Regen etc.), obwohl nach dem einfachen Isoplethenmodell Wachstum möglich wäre.

Diese graphische Darstellung erlaubt also eine schnelle Beurteilung, ob Schimmelpilzwachstum unwahrscheinlich ist (Zustände stets unterhalb des entsprechenden LIM), oder ob genauere Untersuchungen zur Abklärung nötig sind (Zustände längere Zeit oberhalb des entsprechenden LIM).

LIM B I: biologisch verwertbare Substrate, z.B. Tapeten, Produkte aus abbaubaren

Rohstoffen, Material für dauerelastische Fugen, etc.

LIM B II: Substrate mit porigem Gefüge, z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer, Dämmstoffe, die nicht unter I fallen, etc. Bei starker Verschmutzung sind diese Baustoffe in Kategorie I einzuordnen.

Literatur:

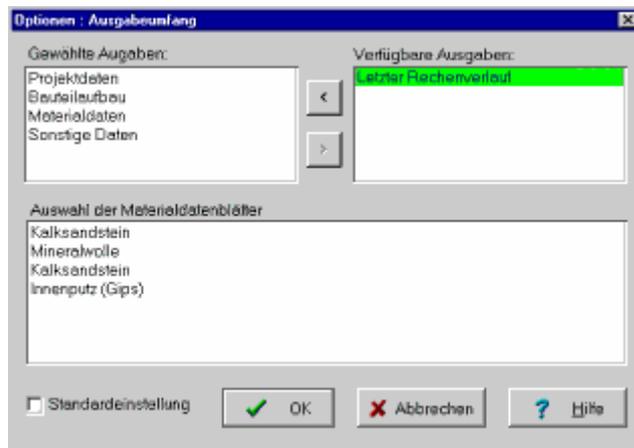
[1] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen; Dissertation, Uni Stuttgart, 2001

Nächster Dialog: [Eingabedaten Übersicht - Optionen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Eingabedaten Übersicht - Optionen



Verwenden Sie diesen Dialog, um die Daten auszuwählen, die in der Eingabedaten-Übersicht aufgeführt werden sollen.

"Verfügbare Ausgaben":

Markieren Sie in dieser Liste die Daten, die in der Eingabedaten-Übersicht aufgeführt werden sollen. Verwenden Sie dann die Schaltfläche "<", um die markierten Daten in die Liste "Gewählte Ausgaben" zu übertragen.

"Gewählte Ausgaben":

Die in dieser Liste enthaltenen Daten werden auf den Übersichtsseiten dargestellt.

Zum Entfernen eines Eintrags aus der Liste markieren Sie diesen und übertragen ihn mit der Schaltfläche ">" in die Liste "Verfügbare Ausgaben".

Sie können auch die Reihenfolge der Datenausgabe ändern, indem Sie die einzelnen Listeneinträge mit der Maus an die gewünschte Stelle in der Liste ziehen.

"Auswahl der Materialdatenblätter":

Diese Liste enthält die verschiedenen [Materialien](#), die im [Bauteilaufbau](#) enthalten sind. Markieren Sie die Materialien, für die in der Übersicht Datenblätter ausgegeben werden sollen (Voraussetzung ist natürlich, daß Sie überhaupt die "Materialdaten" zur Ausgabe ausgewählt haben).

"Standard":

Wählen Sie diese Option, um die getroffene Auswahl für das aktuelle Projekt als Standard zu speichern.

Versionsnotiz: diese Optionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

Nächster Dialog: [Infos: Letzter Rechenlauf](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Infos: Letzter Rechenlauf

Schicht/Material	Anfang Rech.	Ende Rech.	Min.	Max.
Kalksandstein	25,00	203,07	24,79	223,43
Mineralwolle	1,79	1,81	0,99	8,88
Kalksandstein	25,00	15,82	15,82	25,00
Innenputz (Gips)	6,30	2,82	2,41	6,30

Datum/Zeit der Rechnung	30.08.01 21:28:50
Rechenzeit	14 min, 30 sec.
Anzahl der Konvergenzfehler	2
Anzahl der Regenaufnahmefehler	0
Ströme a (ka,da)	44,08 -24,18
Ströme i (ki,di)	9E-8 1,18
Bilanz1 [kg/m²]	18,74
Bilanz2 [kg/m²]	18,74

Rechnung gesperrt

OK Hilfe

Dieser Dialog zeigt eine kurze Zusammenfassung der Rechenergebnisse.

"Wassergehalt" (1):

WUFI gibt für jede Schicht den Anfangs- und Endwassergehalt sowie den im Lauf der Berechnung aufgetretenen maximalen und minimalen Wassergehalt des Materials an.

Damit erhalten Sie die Möglichkeit einer ersten schnellen Einschätzung, wie sich das Bauteil in der Simulation verhält (beispielsweise, ob es austrocknet oder Feuchte aufnimmt).

"Rechenverlauf":

"Datum/Zeit der Rechnung" (2):

```
# DialogStatusOfLastCalculation
$ Dialog: Infos: Letzter Rechenlauf
+ 5230
K
```

Rechenverlauf;Wassergehalt;Feuchtegehalt;Rechenzeit;Konvergenzfehler;Regenaufnahmefehler;Wasserbilanz;Bilanz

Datum und Zeitpunkt, zu dem die Berechnung durchgeführt wurde.

"Rechenzeit" (2):

Die Dauer, die WUFI benötigte, um die Berechnung durchzuführen.

"Anzahl der Konvergenzfehler" (3):

WUFI benutzt ein iteratives Verfahren zur Lösung der Transportgleichungen. Manchmal erfolgt die Konvergenz nur sehr langsam und WUFI erreicht die maximal erlaubte Anzahl an Iterationsschritten, ohne dass die Zwischenlösungen das Abbruchkriterium erfüllen.

In diesem Fall wird die Iteration abgebrochen und das bis dahin erreichte Ergebnis mit etwas weniger strengen Kriterien verglichen. Wenn diese erfüllt sind, akzeptiert WUFI das Ergebnis und fährt mit dem nächsten Zeitschritt fort. Wenn die Kriterien nicht erfüllt sind, akzeptiert WUFI das Ergebnis auch und führt auch die Rechnung fort, erhöht aber den Zähler für die Konvergenzfehler um eins.

Die Gesamtzahl an Konvergenzfehlern ist ein erster Hinweis bezüglich der Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Der Umstand, dass ein Konvergenzfehler registriert wurde, sagt jedoch nichts darüber aus, wie groß der Restfehler bei Abbruch der Iteration war.

Es ist möglich, dass die Abbruchkriterien nur knapp verfehlt wurden und der Konvergenzfehler daher belanglos ist; dies ist meistens der Fall.

Es ist aber gelegentlich auch möglich, dass sich eine numerische Instabilität entwickelt hat und die Iterationsschritte sich immer weiter von der tatsächlichen Lösung entfernen. Der Zustand bei Abbruch der Iterationen ist dann i.A. nur eine schlechte (in seltenen Fällen sehr schlechte) Näherung für die Lösung der Transportgleichungen. Oft macht sich dies dadurch bemerkbar, dass mitten im Bauteil Wasser erscheint oder verschwindet, ohne dass die Randbedingungen dies veranlassen hätten. Das Ergebnis sind unmotiviert Sprünge in den Wassergehaltsverläufen und eine schlechte Wasserbilanz (siehe weiter unten).

Die Kriterien für Konvergenzfehler sind ziemlich empfindlich eingestellt. Erfahrungsgemäß schaden einige wenige Konvergenzfehler in der Regel nicht. Wenn Sie über ein Jahr gerechnet haben, sind zwei oder drei Konvergenzfehler i.A. kein Grund zur Sorge. Numerische Instabilitäten gehen meist mit einer allgemein erhöhten Zahl von Konvergenzfehlern einher. Fünfzig Konvergenzfehler pro Jahr sind unter Umständen (aber nicht immer) Hinweis auf ein Problem.

Eine bessere Einschätzung der Güte der Ergebnisse erlaubt die Wasserbilanz (siehe weiter unten).

"Anzahl der Regenaufnahmefehler" (3):

WUFI benutzt ein iteratives Verfahren zur Bestimmung der bei Regen absorbierten Wassermenge, denn es kann eine geringere Regenmenge auf das Bauteil auftreffen als von

diesem innerhalb eines Zeitschritts theoretisch absorbiert werden kann. Diese aus der Regenmenge resultierende Begrenzung muss berücksichtigt werden, aber die tatsächlich aufgenommene Feuchtemenge kann in einem solchen Fall nur iterativ bestimmt werden; vgl. Frage 16 im Kapitel [Fragen und Antworten](#)).

Auch hier kann es manchmal vorkommen, dass die Konvergenz zu langsam ist und WUFI die maximal erlaubte Anzahl an Iterationsschritten erreicht, ohne dass die Zwischenlösungen das Abbruchkriterium erfüllen.

In diesem Fall stoppt WUFI die Iteration, akzeptiert das Ergebnis und fährt mit dem nächsten Zeitschritt fort, erhöht aber den Zähler für die Regenaufnahmefehler um eins.

Dies ist normalerweise kein Grund zur Sorge, da ein Regenaufnahmefehler kein stark verfälschtes Rechenschrittergebnis bedeutet, sondern lediglich, dass die ohnehin etwas willkürlichen Konvergenzkriterien nicht erreicht wurden. Das Ergebnis des Rechenschritts liegt etwa im Rahmen der übrigen zahlreichen Vereinfachungen und Annäherungen, die bei bauphysikalischen Simulationsmodellen üblich sind.

**"Ströme a (ka, da)",
"Ströme i (ki, di)" (4):**

Die Gesamtwassermenge, die während der Berechnung in das Bauteil hinein oder aus dem Bauteil heraus transportiert wird.

ka : durch Kapillartransport an der Außenoberfläche,
da : durch Dampftransport an der Außenoberfläche,
ki : durch Kapillartransport an der Innenoberfläche,
di : durch Dampftransport an der Innenoberfläche (*).

positiv : in Richtung Innenraum (positive X-Richtung),
negativ : in Richtung Fassade (negative X-Richtung).

Diese Feuchteströme dienen zur Berechnung der Wasserbilanz (siehe weiter unten).

Beachten Sie, dass es sich nicht jeweils um den Feuchtestrom *durch* die Oberfläche handelt, sondern um den Strom von der Oberfläche ins Innere. Es kann vorkommen, dass an einer kalten Oberfläche Wasser in solchen Mengen kondensiert, dass es die Aufnahmefähigkeit des Baustoffs übersteigt und an der Oberfläche abläuft. Dieses ablaufende Wasser fällt aus der Berechnung heraus, so dass die aus der Umgebung an die Oberfläche tretende Wassermenge nicht immer identisch ist mit der von der Oberfläche ins Bauteil eintretenden.

Die oben angegebenen Ströme werden daher nicht an den Oberflächen, sondern an den Elementgrenzen vom ersten ins zweite, bzw. vom vorletzten ins letzte Gitterelement ausgewertet. Das ist bei der Interpretation obiger Werte vor allem dann zu beachten, wenn das erste oder das letzte Element von größerer Dicke ist.

(*) Dies ist auch der Grund, warum bei der obigen Definition die relativ vage Formulierung "an der Oberfläche" anstelle von "durch die Oberfläche"

verwendet wird.

Wundern Sie sich also nicht, wenn Sie z.B. an der Innenoberfläche einen Kapillarstrom k_i ungleich null erhalten, obwohl es dort sicher nie regnet. Es handelt sich um einen Kapillarstrom knapp (ein halbes Element) unter der Oberfläche.

"Bilanz 1 [kg/m²]",
"Bilanz 2 [kg/m²]" (4):

Die Änderung des 'Gesamtwassergehalts' während der Berechnung und die Summe der 'Oberflächenströme' ($k_a + d_a - k_i - d_i$, siehe oben).

Idealerweise sollten diese beiden Werte identisch sein, da jede Änderung des Gesamtwassergehalts aus dem Feuchtetransport durch die Oberfläche resultiert. Rundungsfehler und Konvergenzprobleme können jedoch Abweichungen verursachen.

Bei einem zu großen Unterschied sollten Sie die Rechnung mit geeigneten Änderungen (siehe weiter unten) nochmals durchführen.

Beachten Sie, dass aus den oben genannten Gründen hier bei der Berechnung des 'Gesamtwassergehalts' das erste und das letzte Gitterelement nicht berücksichtigt werden, so dass dieser kleiner ist als der Gesamtwassergehalt, den Sie als Rechenergebnis erhalten. Daher kann auch die Änderung des Gesamtwassergehalts von dem abweichen, den Sie aus den Rechenergebnissen erhalten, vor allem wenn das erste oder das letzte Element von größerer Dicke ist.

Es ist hier nur eine Konsistenzüberprüfung des numerischen Rechenablaufs beabsichtigt. Auswertungen des Wassergehalts und der Ströme sollten Sie nur anhand der Rechenergebnisse selbst vornehmen.

Wenn Sie zu viele Konvergenzfehler oder eine unbefriedigende Wasserbilanz haben, sollten Sie zunächst überprüfen, ob Ihre Wahl des numerischen Gitters dem vorliegenden Fall tatsächlich angemessen ist. Ein typisches Problem sind z.B. Kondensationsvorgänge an einer Schichtgrenze oder Oberfläche, so daß steile Wassergehaltsgradienten auftreten, die mit zu grober Gitterauflösung nicht adäquat dargestellt werden können. Sie müssen ggf. die Gittereinstellung 'fein' verwenden oder das Gitter manuell [anpassen](#).

Weitere Erläuterungen hierzu finden Sie in den Kapiteln [Details / WUFI](#), [Aufbau / Monitorpositionen](#), [Numerik](#) und [Fragen & Antworten](#).

"Rechnung gesperrt" (5):

Wenn Sie nach Beendigung einer Rechnung versehentlich die Rechnung noch einmal starten, werden die bestehenden Ergebnisdaten überschrieben und sind verloren. Es gibt zwar eine Sicherheitsabfrage, aber wenn Sie kein Risiko eingehen wollen, dann sperren Sie hier die Rechnung und speichern die Projektdatei nochmals ab (um sie auch permanent zu sperren).

Dies ist besonders zu empfehlen, wenn die Ergebnisse langwieriger Rechnungen in einer hektischen Umgebung vorgeführt werden sollen...

Nächster Dialog: [Ergebnisgrafiken](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Ergebnisgrafiken

Nach der Rechnung wollen Sie natürlich etwas von den Ergebnissen sehen. Neben der Möglichkeit der Filmdarstellung bietet Ihnen WUFI auch die traditionelle Darstellung der Ergebnisse in Kurvenform als **Verläufe** und **Profile**. Diese Diagramme sind bereits für den Ausdruck vorbereitet.

Sie können die berechneten Verläufe und Profile sowie die Randbedingungen als Grafiken betrachten, bearbeiten und ausdrucken.

Die Grafiken werden dazu auf mehrere **Blätter** verteilt, auf die dann jeweils ein oder mehrere **Bilder** enthalten. Jedes Bild wiederum enthält eine oder mehrere **Kurven**.

WUFI fügt automatisch die wichtigsten Kurven in passender Zusammenstellung in die Bilder ein und stellt die Bilder in geeigneten Gruppen auf den Blättern dar (zur Anzeige weiterer Kurven siehe unten). Sie brauchen also nichts weiter zu tun als den vorliegenden Dialog **"Ergebnisgrafiken"** zu öffnen und die jeweiligen Ergebnisse mit einem Mausklick auf die zugehörigen Einträge in den Listen

```
# DialogResultGraphs
$ Dialog: Ergebnisgrafiken
+ 5240
K
```

Ergebnisse;Ergebnisgrafiken;Film;Verläufe;Profile;Klimadaten;Blätter;Bilder;Kurven; Ausgabeumfang;Vergrößerung;Zwischenablage;Metafile;EMF

anzeigen zu lassen. Sie können folgende Auswahl treffen:

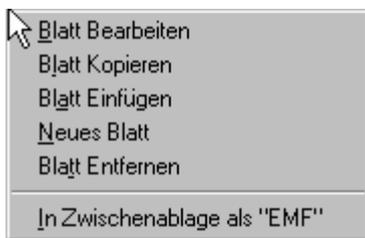
"Blätter" (1):

Diese Liste enthält alle verfügbaren Blätter.

Markieren Sie das Blatt, das Sie betrachten oder bearbeiten wollen. Es wird von WUFI sofort auf der rechten Bildschirmhälfte dargestellt (4).

Mit einem Doppelklick auf einen Blattnamen in der Liste öffnen Sie den Unterdialog [Blatt Einstellen](#), mit dem Sie den Namen des Blattes ändern können.

Ein Klick mit der rechten Maustaste auf eine beliebige Stelle der Blätter-Liste öffnet folgendes Kontextmenü, mit dessen Hilfe Sie den Inhalt der Blätter-Liste bearbeiten können:



"Blatt Bearbeiten":

Öffnet den Unterdialog [Blatt Einstellen](#), mit dem Sie den Namen des Blattes ändern können.

"Blatt Kopieren":

Kopiert das markierte Blatt in die WUFI-interne Zwischenablage (nicht in die von Windows).

"Blatt Einfügen":

Fügt das in der internen Zwischenablage befindliche Blatt vor dem aktuell markierten Blatt in die Liste ein. So können Sie die Reihenfolge der Blätter in der Liste ändern oder eine Kopie eines Blattes erstellen.

Tip: Wenn Sie ein Blatt am Ende der Liste einfügen wollen, können Sie es vor einem temporär angelegten neuen Blatt einfügen. Ein neues Blatt wird immer am Ende der Liste erzeugt.

"Neues Blatt":

Erzeugt am Ende der Liste ein neues, leeres Blatt.

"Blatt Entfernen":

Löscht das markierte Blatt.

"In Zwischenablage als EMF":

Kopiert das markierte Blatt oder Bild (abhängig von der Einstellung im Feld "Ausgabeumfang") im *.EMF-Format in die Windows-Zwischenablage. Von hier können Sie es in ein beliebiges Grafikprogramm (beispielsweise Paintshop Pro, Photoshop etc.) importieren und weiterbearbeiten.

Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

"Bilder" (2):

Diese Liste enthält alle Bilder des markierten Blattes.

Markieren Sie das Bild, das Sie betrachten oder bearbeiten wollen. Es wird von WUFI sofort auf der rechten Bildschirmhälfte dargestellt (4) (falls bei "Ausgabeumfang" die Option "Bild" gewählt ist, ansonsten werden einfach alle Bilder des Blattes gezeigt)

Mit einem Doppelklick auf einen Bildnamen in der Liste oder auf das Bild selbst (4) öffnen Sie den Unterdialog (entweder [Bildeinstellungen: Verläufe](#) oder [Bildeinstellungen: Profile](#)), mit dem Sie die Bildeinstellungen bearbeiten können.

Ein Klick mit der rechten Maustaste auf eine beliebige Stelle der Bilder-Liste öffnet folgendes Kontextmenü, mit dessen Hilfe Sie den Inhalt der Bilder-Liste ändern können:



"Bild Bearbeiten:"

Öffnet den Unterdialog (entweder [Bildeinstellungen: Verläufe](#) oder [Bildeinstellungen: Profile](#)), mit dem Sie die Bildeinstellungen bearbeiten können.

"Bild Kopieren":

Kopiert das markierte Bild in die WUFI-interne Zwischenablage (nicht in die von Windows).

"Bild Einfügen":

Fügt das in der internen Zwischenablage befindliche Bild vor dem aktuell markierten Bild in die Liste ein. So können Sie die Reihenfolge der Bilder in der Liste ändern, eine Kopie eines Bildes erstellen oder Bilder von einem in ein anderes Blatt übertragen.

Tip: Wenn Sie ein Bild am Ende der Liste einfügen wollen, können Sie es

vor einem temporär angelegten neuen Bild einfügen. Ein neues Bild wird immer am Ende der Liste erzeugt.

"Neues Bild (Verläufe)":

"Neues Bild (Profile)":

Erzeugt am Ende der Liste ein neues, leeres Bild. Wählen Sie den Bildtyp entsprechend der Kurve, die Sie darstellen wollen.

"Bild entfernen":

Löscht das markierte Bild.

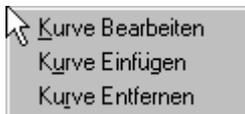
Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

"Kurven" (3):

Diese Liste enthält alle Kurven des markierten Bildes.

Mit einem Doppelklick auf einen Kurvennamen in der Liste öffnen Sie den Unterdialog [Kurveneinstellungen](#), mit dem Sie die Kurveneinstellungen bearbeiten können.

Ein Klick mit der rechten Maustaste auf eine beliebige Stelle der Kurven-Liste öffnet folgendes Kontextmenü, mit dessen Hilfe Sie den Inhalt der Kurven-Liste bearbeiten können:



"Kurve Bearbeiten:"

Öffnet den Unterdialog [Kurveneinstellungen](#), mit dem Sie die Kurveneinstellungen bearbeiten können.

"Kurve Einfügen":

Öffnet den Unterdialog "[Kurven Einfügen](#)". Hier können Sie eine Kurve auswählen, um sie in die Kurven-Liste einzufügen.

"Kurve entfernen":

Löscht die markierte Kurve.

Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

"Hochformat" (5):

Wenn diese Option aktiviert ist, werden die Seiten im Hochformat ausgegeben, ansonsten im Querformat.

"Vergrößerung" (5):

Wählen Sie einen Vergrößerungsfaktor für die dargestellte Seite (20 %...200%. "Seitenbreite" verwendet die ganze zur Verfügung stehende Darstellungsbreite (4), "Ganze Seite" verwendet die ganze zur Verfügung stehende Darstellungshöhe (4).

"Ausgabeumfang" (5):

Legen Sie hier fest, ob WUFI nur ein einzelnes **Bild** oder das ganze **Blatt** anzeigen soll. Die Option **Alle Blätter** bezieht sich nur auf die Druckerausgabe.

"Drucken" (5):

Verwenden Sie diese Schaltfläche, um (abhängig von der Einstellung in "Ausgabeumfang") das aktuelle Bild oder Blatt oder alle Blätter auszudrucken.

"Drucker" (5):

Verwenden Sie diese Schaltfläche, um einen Unterdialog mit den Druckereinstellungen zu öffnen.

"Aktuelle Parameter" (5):

"Merken":

Speichert die aktuellen Grafikeinstellungen

Diese Funktion ist nützlich, wenn Sie zum Beispiel die Einflüsse einzelner Materialparameter untersuchen und dazu eine Reihe von Rechnungen durchführen, wobei für den Vergleich die Temperatur an der fünften Monitorposition in einem vergrößerten Maßstab dargestellt werden soll. Normalerweise werden nach jedem Rechenlauf die Grafikeinstellungen wieder auf die Voreinstellung zurückgesetzt und Sie müssen die Skalierung des entsprechenden Bildes jedes Mal neu vornehmen. Wenn Sie die Parameter dagegen speichern, können Sie die Einstellung nach jeder Rechnung schnell wiederherstellen.

"Restaurieren":

Stellt die zuvor gespeicherten Grafikeinstellungen wieder her.

Beachten Sie, dass bei dieser Funktion eine ausreichende Ähnlichkeit der Ergebnisse aufeinanderfolgender Rechenläufe vorausgesetzt wird, so daß die Einstellungen nach wie vor sinnvoll sind. Wenn Sie beispielsweise die Einstellungen für eine Berechnung mit fünf Monitorpositionen speichern und diese für eine spätere mit 3 Monitorpositionen durchgeführte Berechnung restaurieren wollen, kann WUFI die Einstellungen nicht zuweisen. Seien Sie also vorsichtig mit tiefgreifenden Änderungen (z.B. beim Aufbau

oder bei den Monitorpositionen etc.), da sonst bei einer Restaurierung der Grafikeinstellungen die "dritte Kurve im zweiten Bild auf Blatt fünf" vielleicht etwas ganz anderes repräsentiert als zuvor.

Automatisch dargestellt werden die folgenden Verläufe:

- **Regen:**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung und Orientierung** treffende **Schlagregenmenge** (noch nicht mit der **Regenwasserabsorptionszahl** multipliziert)
- **Strahlung:**
 - Solarstrahlung:
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung und Orientierung** treffende **Sonnenstrahlung** (noch nicht mit der **kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl** multipliziert)
 - Gegenstrahlung:
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung** treffende Summe aus **terrestrischer und atmosphärischer Gegenstrahlung** (noch nicht mit der **langwelligen Strahlungsemissionszahl** multipliziert, welche den Absorptionsgrad angibt)
 - Langwellige Emission:
die von der Bauteiloberfläche abgestrahlte **thermische Emission**
- **Lufttemperatur:**
die Lufttemperaturen auf beiden Seiten des Bauteils
- **relative Feuchte der Luft:**
die relativen Luftfeuchten auf beiden Seiten des Bauteils
- **Wärmeströme:**
die Wärmestromdichten durch beide Bauteiloberflächen
- **Feuchteströme:**
die Feuchtestromdichten (Flüssigtransport + Diffusionstransport) durch beide Bauteiloberflächen
- **Temperatur, relative Feuchte (Monitorposition xx):**
der Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte an den gesetzten **Monitorpositionen**
- **Wassergehalt in den einzelnen Materialien:**
der Verlauf des Wassergehalts in den einzelnen im Bauteil vorhandenen Materialschichten (verschiedene Schichten, welche das gleiche Material enthalten, werden auch durch verschiedene Kurven dargestellt)
- **Gesamtwassergehalt im Bauteil:**
der Verlauf des Wassergehalts im gesamten Bauteil,

außerdem die Profile der **Temperatur**, der **relativen Feuchte** und des **Wassergehalts** für den Anfangs- und den Endzustand, sowie ggf. für weitere **gewünschte Zeitpunkte**.

Zusätzlich können **weitere Kurven** dargestellt werden wie z.B. einzelne Strahlungskomponenten, der Zeitverlauf der Wärmeübergangs- und

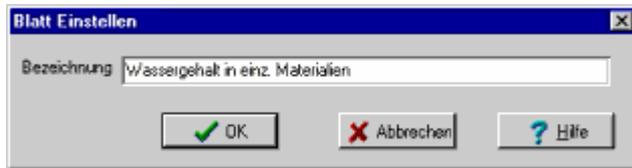
Dampfübergangskoeffizienten, die Wärme- und Feuchtestromdichten zwischen den Schichten, die Quellstärken der Wärme- und Feuchtequellen, der Luftdruck, etc.
Um solche Kurven anzuzeigen, erstellen sie ein neues Blatt durch Rechtsklick auf die Liste "Blätter", auf dem neuen Blatt ein neues Bild durch Rechtsklick auf die Liste "Diagramme" und im neuen Bild eine neue Kurve durch Rechtsklick auf die Liste "Kurven". Für die erste ins Bild zu setzende Kurve können Sie den Kurventyp auswählen (z.B. Temperatur, Feuchtequelle etc.). Eine Liste bietet dann die zur Verfügung stehenden Kurven des betreffenden Typs zur Auswahl an.

Nächster Dialog: [Blatt Einstellen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Blatt Einstellen



Dieser Dialog ermöglicht die Änderung des Namens des aktuell markierten Blattes der [Ergebnisgrafik](#).

Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

Nächster Dialog: [Bildeinstellungen Verläufe](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Bildeinstellungen Verläufe

Hier können Sie die Einstellungen für ein Bild mit Verläufen bearbeiten.

"Bezeichnung":

Der Name des Bildes, wie er in der [Bilder-Liste](#) angezeigt wird.

"Positionierung":

"Abstand oben [cm]",
 "Abstand links [cm]":

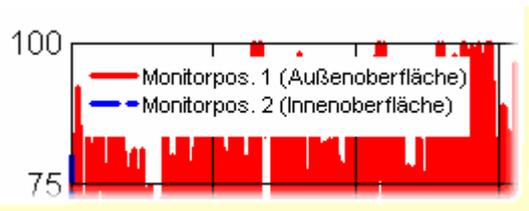
Geben Sie den Abstand der linken oberen Ecke des Bildes von der oberen bzw. linken Kante einer DIN A4 Seite ein.

"Höhe [cm]",
 "Breite [cm]":

Geben Sie die Höhe und Breite des Bildes ein.

"Ausschnitt (Legende)":

DialogGraphSetupCourses
 \$ Dialog: Bildeinstellungen Verläufe
 + 5260
 K Bilder;Verläufe



Wenn mehrere Kurven im selben Bild dargestellt werden, ist zu deren Identifizierung eine Legende nützlich (siehe auch [Kurveinstellungen](#)), die in einen sog. Ausschnitt geschrieben wird, also in eine rechteckige weiße Fläche im Bild, die störende Gitternetzlinien oder Kurven verdeckt.

"X [cm]",
"Y [cm]":

Legen Sie den Abstand der linken oberen Ecke des Ausschnitts von der linken oberen Ecke des Bildes fest. Die Größe des Ausschnitts wird automatisch dem darzustellenden Text angepasst.

"X-Achse (Zeit)":

"Anfang",
"Ende":

Das Anfangsdatum der Ergebnisgraphik ist identisch mit dem Anfangsdatum der Berechnung, das Enddatum ist abhängig vom Anfangsdatum und der Anzahl der berechneten Stunden. Wenn Sie die Berechnung vorzeitig abgebrochen haben, ist das Enddatum der Ergebnisgrafik früher als das im Dialog [Rechendauer / Profile](#) eingegebene Enddatum für die Rechnung.

Wenn Sie nur einen Teil der berechneten Verläufe anzeigen wollen, können Sie diese Daten beliebig verändern.

"Einheit":

Wählen Sie eine Einheit für die Zeitachse. Zur Auswahl stehen Stunden, Tage oder Jahre.

"X-Anf. = 0":

Standardmäßig wird die X-Achse mit einer fortschreitenden Zeitzählung in der angegebenen Einheit beschriftet, ausgehend vom Wert Null, der dem Zeitpunkt des Berechnungsanfangs entspricht.

Wenn Sie nur einen Teil des Berechnungsintervalls anzeigen (indem Sie das Anfangs- oder Enddatum der Darstellung ändern), beginnt die Beschriftung der X-Achse möglicherweise mit einem anderen Wert als Null. Durch Aktivieren dieser Option können Sie die Beschriftung am Anfang der X-Achse wieder auf Null setzen.

"Min.",
"Max.":

Diese beiden Felder zeigen den Anfangs- und Endzeitpunkt des darzustellenden Intervalls in der gewählten Einheit an. Um diese Werte zu ändern, müssen Sie das Anfangs- und Enddatum der Ergebnisgrafik ändern.

"dX":

Geben Sie hier die gewünschte Unterteilung der X-Achse an.

**"Beschreibung",
"Einheit":**

Geben Sie hier einen Beschriftungstext und ein Einheitenkürzel für die Zeitachse ein. Das vorgeschlagene Einheitenkürzel besteht aus einem Buchstaben, der die jeweils gewählte Einheit repräsentiert, kann jedoch beliebig geändert werden.

"Alle Verläufe":

Wählen Sie diese Option, wenn die für die X-Achse vorgenommenen Einstellungen in alle anderen Bilder mit Verläufen übernommen werden sollen.

"Darstellen":

Deaktivieren Sie diese Option, wenn keinerlei Beschriftung der Zeitachse angezeigt werden soll.

"Y-Achse":**"Min.",
"Max.",
"dY":**

Geben Sie hier den Wertebereich und die Unterteilung der Y-Achse ein. Rechts von diesen beiden Feldern zeigt WUFI die gemeinsamen Minimal- und Maximalwerte der Kurven im aktuellen Bild an, um Ihnen die Auswahl eines geeigneten Wertebereichs zu erleichtern.

"Vol-%":

Wenn das Bild Wassergehaltsverläufe enthält, ermöglicht Ihnen diese Option, von der Einheit [kg/m³] in [Vol.-%] zu wechseln.

**"Beschreibung",
"Einheit":**

Geben Sie hier einen Beschriftungstext und ein Einheitenkürzel für die Y-Achse ein.

"Alle ...-Verläufe":

Wählen Sie diese Option, wenn die für die Y-Achse vorgenommenen Einstellungen in alle anderen Bilder mit Verläufen des gleichen Typs (z.B.

relative Feuchte, Temperatur) übernommen werden sollen.

"Darstellen":

Deaktivieren Sie diese Option, wenn keinerlei Beschriftung der Y-Achse angezeigt werden soll.

"Mitteln über [h]":

Sie können in den Ergebnisgrafiken zeitliche Durchschnittswerte der Berechnungsergebnisse darstellen, beispielsweise wenn nur die Tagesmittelwerte von Interesse sind oder die Datenmenge für den Ausdruck reduziert werden soll.

Geben Sie dazu die Anzahl der Stunden, über die ein Mittelwert gebildet werden soll, in das Textfeld ein.

Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

Nächster Dialog: [Bildeinstellungen, Profile](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Bildeinstellungen, Profile

Hier können Sie die Einstellungen für ein Bild mit Profilen bearbeiten.

"Bezeichnung":

Der Name des Bildes, wie er in der [Bilder-Liste](#) angezeigt wird.

"Positionierung":

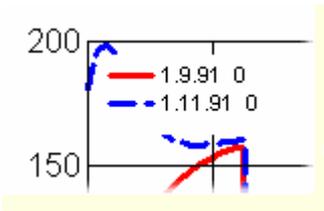
"Abstand oben [cm]",
"Abstand links [cm]":

Geben Sie den Abstand der linken oberen Ecke des Bildes von der oberen bzw. linken Kante einer DIN A4 Seite ein.

"Höhe [cm]",
"Breite [cm]":

Geben Sie die Höhe und Breite des Bildes ein.

"Ausschnitt (Legende)":



Profilkurven werden mit Hilfe einer Legende (siehe auch Kapitel [Kurveneinstellungen](#)) identifiziert, die in einen sog. Ausschnitt geschrieben wird, also in eine rechteckige weiße Fläche im Bild, die störende Gitternetzlinien oder Kurven verdeckt.

"X [cm]",
"Y [cm]":

Legen Sie den Abstand der linken oberen Ecke des Ausschnitts von der linken oberen Ecke des Bildes fest. Die Größe des Ausschnitts wird automatisch dem darzustellenden Text angepasst.

"X-Achse":

"Min.",
"Max.",
"dX":

Geben Sie hier den Wertebereich und die Unterteilung der X-Achse ein. Rechts von diesen beiden Feldern zeigt WUFI die gemeinsamen Minimal- und Maximalwert der Kurven im aktuellen Bild an, um Ihnen die Auswahl eines geeigneten Wertebereichs zu erleichtern.

"X-Anf. = 0":

Standardmäßig wird die X-Achse mit der in Achsenrichtung zunehmenden Bauteiltiefe beschriftet, ausgehend vom Wert Null, der der Außenoberfläche des Bauteils entspricht.

Wenn Sie nur einen Teil des Bauteils darstellen (indem Sie die Einstellungen für Min. oder Max. ändern), beginnt die Beschriftung der X-Achse möglicherweise mit einem anderen Wert als Null. Durch Aktivieren dieser Funktion können Sie die Beschriftung am Anfang der X-Achse wieder auf Null setzen.

"Beschreibung",
"Einheit":

Geben Sie hier einen Beschriftungstext und ein Einheitenkürzel für die X-Achse ein.

"Alle Profile":

Wählen Sie diese Option, wenn die für die X-Achse vorgenommenen Einstellungen in alle anderen Bilder mit Profilen übernommen werden sollen.

"Darstellen":

Deaktivieren Sie diese Option, wenn keinerlei Beschriftung der X-Achse angezeigt werden soll.

"Y-Achse":

"Min.",
"Max.",
"dY":

Geben Sie hier den Wertebereich und die Unterteilung der Y-Achse ein. Rechts von diesen beiden Feldern zeigt WUFI die gemeinsamen Minimal- und Maximalwerte der Kurven im aktuellen Bild an, um Ihnen die Auswahl eines geeigneten Wertebereichs zu erleichtern.

"Vol-%":

Wenn das Bild Wassergehaltsprofile enthält, ermöglicht Ihnen diese Option, von der Einheit [kg/m³] in [Vol-%] zu wechseln.

"Beschreibung",
"Einheit":

Geben Sie hier einen Beschriftungstext und ein Einheitenkürzel für die Y-Achse ein.

"Alle ...-Profile":

Wählen Sie diese Option, wenn die für die Y-Achse vorgenommenen Einstellungen in alle anderen Bilder mit Profilen des gleichen Typs (z.B. relative Feuchte, Temperatur) übernommen werden sollen.

"Darstellen":

Deaktivieren Sie diese Option, wenn keinerlei Beschriftung der Y-Achse angezeigt werden soll.

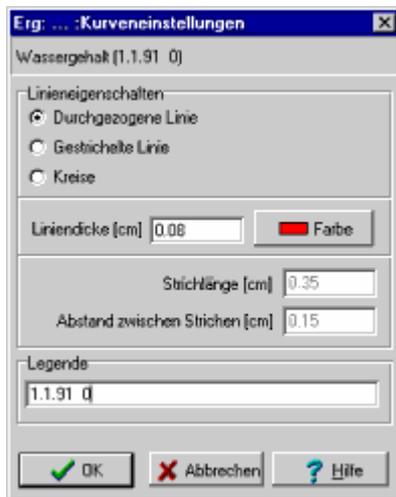
Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

Nächster Dialog: [Kurveneinstellungen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Kurveneinstellungen



Hier können Sie die Einstellungen für eine Kurve ändern.

In der oberen Informationszeile steht der Name, den WUFI der Kurve bei der automatischen Konfiguration der Grafikeinstellungen zugewiesen hat.

"Linieneigenschaften":

**"Durchgezogene Linie",
"Gestrichelte Linie",
"Kreise":**

Sie können die Datenpunkte mit einer durchgezogenen oder gestrichelten Linie verbinden oder sie als Einzelkreise darstellen.

"Liniendicke [cm]":

Geben Sie die Dicke ein, mit der die Linie gezeichnet werden soll.

"Farbe":

Wählen Sie die Farbe der Linie aus.

**"Strichlänge [cm]",
"Abstand zwischen Strichen [cm]":**

Wenn Sie die Linienart "Gestrichelte Linie" gewählt haben, können Sie hier Länge und Abstand der Striche eingeben.

"Legende:

Geben Sie den Text ein, mit dem die Kurve in der Legende bezeichnet wird.

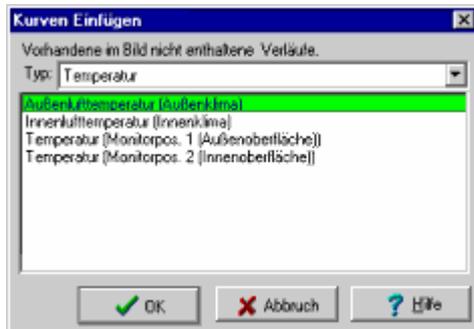
Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro verfügbar.

Nächster Dialog: [Kurven Einfügen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Kurven Einfügen

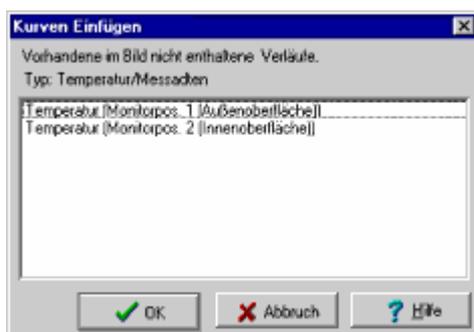


Dieser Dialog dient dazu, in das in der [Bilder-Liste](#) markierte Bild Kurven einzufügen.

Jedes Bild kann nur Kurven desselben Typs enthalten (z.B. nur Temperatur- oder nur Wassergehaltskurven usw.), da ansonsten die Beschriftung weit mehr Einstellungsmöglichkeiten erfordern würde als WUFI in den Dialogen für die Bildeinstellungen (für [Verläufe](#) und [Profile](#)) anbieten kann.

Wenn Sie Kurven verschiedener Typen in einem Bild darstellen müssen, können Sie die Rechenergebnisse in eine ASCII-Datei [exportieren](#) und entsprechende Grafiken mit anderer Software erstellen.

Wenn ein Bild keine Kurven enthält (weil Sie sie [gelöscht](#) haben, oder weil Sie ein [neues](#), noch leeres Blatt erstellt haben), können Sie den gewünschten Kurven-**"Typ"** aus der Drop-Down-Liste auswählen. WUFI zeigt dann die verfügbaren Kurven dieses Typs in der Kurven-Liste an. Wählen Sie aus diesen beliebig viele für die Darstellung im aktuellen Bild aus.



Wenn das Bild bereits Kurven enthält, ist der Kurventyp festgelegt und WUFI zeigt in der Kurvenliste nur die weiteren verfügbaren Kurven dieses Typs an, die noch nicht im Bild dargestellt sind.

Versionsnotiz: die Editierfunktionen sind nur in WUFI Pro zugänglich.

Die folgenden Kurventypen und Kurven stehen zur Verfügung:

- **Temperatur:**
Die Lufttemperaturen auf beiden Seiten des Bauteils sowie die Temperaturen an den **Monitorpositionen**, in °C.
- **Relative Feuchte:**
Die relative Feuchte der Luft auf beiden Seiten des Bauteils sowie die relative Feuchte an den **Monitorpositionen**, in %.
- **Wassergehalt volumenbezogen:**
Die Wassergehalte in den einzelnen Bauteilschichten, in kg/m³.
- **Wärmestromdichte:**
Die Wärmestromdichten durch die beiden Bauteiloberflächen sowie zwischen den Bauteilschichten, in W/m².
- **Regen:**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung und Orientierung** treffende **Schlagregenmenge** (noch nicht mit der **Regenwasserabsorptionszahl** multipliziert), in Ltr/m²h.
- **Strahlung:**
 - **Solarstrahlung (Außenklima):**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung und Orientierung** treffende Sonnenstrahlung (noch nicht mit der **kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl** multipliziert), in W/m².
 - **Direkte Solarstrahlung (Außenklima):**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung und Orientierung** treffende direkte (von der Sonnenscheibe stammende) Komponente der Sonnenstrahlung (noch nicht mit der **kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl** multipliziert), in W/m².
 - **Diffuse Solarstrahlung (Außenklima):**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung und Orientierung** treffende diffuse (vom Himmel und etwaigen Wolken auf die Messfläche gestreute) Komponente der Sonnenstrahlung (noch nicht mit der **kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl** multipliziert), in W/m².
 - **Reflektierte Solarstrahlung (Außenklima):**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung** treffende am Erdboden reflektierte Komponente der Sonnenstrahlung (noch nicht mit der **kurzwelligen Strahlungsabsorptionszahl** multipliziert), in W/m².
 - **Gegenstrahlung (Außenklima):**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung** treffende Summe aus **terrestrischer und atmosphärischer Gegenstrahlung** (noch nicht mit der **langwelligen Strahlungsemissionszahl** multipliziert), in W/m².
 - **Atmosphärische Gegenstrahlung (Außenklima):**
die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren **Neigung** treffende **atmosphärische Gegenstrahlung** (noch nicht mit der **langwelligen Strahlungsemissionszahl** multipliziert, welche den Absorptionsgrad angibt),

in W/m^2 .

◦ **Terrestrische Gegenstrahlung (Außenklima):**

die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren [Neigung](#) treffende [terrestrische Gegenstrahlung](#) (noch nicht mit der [langwelligen Strahlungsemissionszahl](#) multipliziert, welche den Absorptionsgrad angibt), in W/m^2 .

◦ **Reflektierte Gegenstrahlung (Außenklima):**

die auf die Bauteiloberfläche gemäß deren [Neigung](#) treffende am Erdboden reflektierte [atmosphärische Gegenstrahlung](#) (noch nicht mit der [langwelligen Strahlungsemissionszahl](#) multipliziert, welche den Absorptionsgrad angibt), in W/m^2 .

◦ **Langwellige Bauteilemission:**

die von der Bauteiloberfläche abgestrahlte [thermische Emission](#), in W/m^2 .

• **Wassergehalt flächenbezogen:**

Der Gesamtwassergehalt im Bauteil, in kg/m^2 .

• **Wärmeübergangskoeffizient:**

Der zeitliche Verlauf der Wärmeübergangskoeffizienten an den beiden Oberflächen (sind nicht konstant falls [windabhängig](#)), in $\text{W/m}^2\text{K}$.

• **Dampfübergangskoeffizient:**

Der zeitliche Verlauf der [Wasserdampfübergangskoeffizienten](#) an den beiden Oberflächen (sind nicht konstant falls die Wärmeübergangskoeffizienten [windabhängig](#) sind), in $\text{kg/m}^2\text{sPa}$.

• **Feuchtestromdichte:**

Die Feuchtestromdichten durch die beiden Bauteiloberflächen sowie zwischen den Bauteilschichten. Jeweils kapillarer (Flüssig-)strom, diffusiver (Dampf-)strom und Summe aus beiden, in $\text{kg/m}^2\text{s}$.

• **Wärmequelle:**

Der zeitliche Verlauf der Quellstärke der benutzerdefinierten Wärmequellen im Bauteil (sofern vorhanden), in W/m^2 .

• **Feuchtequelle:**

Der zeitliche Verlauf der Quellstärke der benutzerdefinierten Feuchtequellen im Bauteil (sofern vorhanden), in $\text{kg/m}^2\text{s}$.

• **Druck:**

Der Umgebungsluftdruck und die Wasserdampfpartialdrücke an den [Monitorpositionen](#), in hPa.

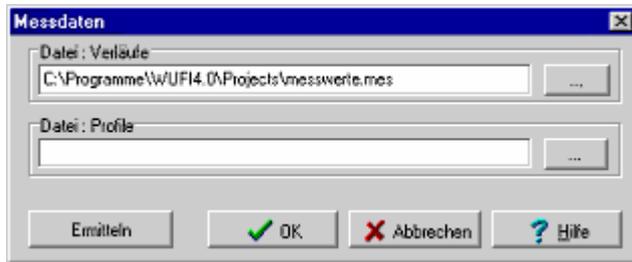
Falls Sie auch externe [Messdaten](#) zur Einbindung in die Ergebnisgrafiken spezifiziert haben, werden die entsprechenden Kurven ebenfalls zur Auswahl angeboten.

Nächster Dialog: [Messdaten](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Messdaten



In diesem Dialog können Sie ASCII-Dateien mit Messwerten für Verläufe und Profile spezifizieren, die Sie in den [Ergebnisgrafiken](#) gemeinsam mit den Rechenergebnissen [darstellen](#) wollen. Dies erlaubt den unmittelbaren Vergleich von Rechnung und Messung.

Öffnen Sie mit dem Button "... " einen Dateidialog, um die gewünschte Datei auszuwählen und klicken Sie dann auf **"Einlesen"**, um die Daten zu den im Speicher liegenden Rechenergebnissen hinzuzufügen. WUFI erwartet die Dateiendung *.MES.

Um die eingelesenen Kurven in die Bilder einzufügen, öffnen Sie mit einem Rechtsklick in die [Kurven-Liste](#) des betreffenden Bildes den Unterdialog **"Kurven Einfügen"** und wählen Sie die gewünschte Kurve aus der angebotenen Liste aus. Die eingelesenen Messkurven sind in allen Listen aufgeführt, da sie keinen bestimmten Kurventyp besitzen.

Die Dateien mit den Messwerten für Verläufe sind Textdateien mit einer Spalte für die Zeitangaben (in Stunden) und einer oder mehreren Spalten mit den darzustellenden Messwerten (in den von WUFI für den betreffenden [Kurventyp](#) verwendeten Einheiten).

Die Dateien mit den Messwerten für Profile sind Textdateien mit einer Spalte für die x-Koordinate (in cm) und einer oder mehreren Spalten mit den darzustellenden Messwerten (in den von WUFI für den betreffenden [Kurventyp](#) verwendeten Einheiten).

Beispiel: die zu sechs Zeitpunkten über vier Jahre hinweg jeweils an zwei Messstellen ermittelten Wassergehalte eines austrocknenden Kalksandsteinmauerwerks sind mit dem rechnerischen Trocknungsverlauf zu vergleichen:

Trocknen.mes:

```

2074  80  97
2502  78  93
10027 45  49
18914 21  26

```

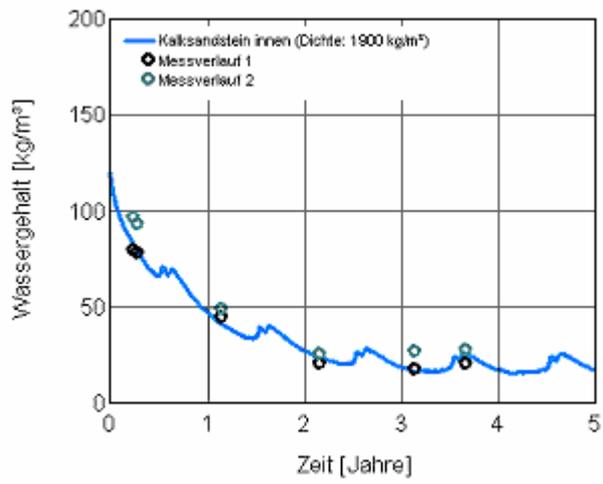
F_Messdaten

\$ Dialog: Messdaten

+ 5300

K Messdaten;Messverlauf;Messverläufe;Messprofil;Messprofile

27504 18 27
32056 21 28

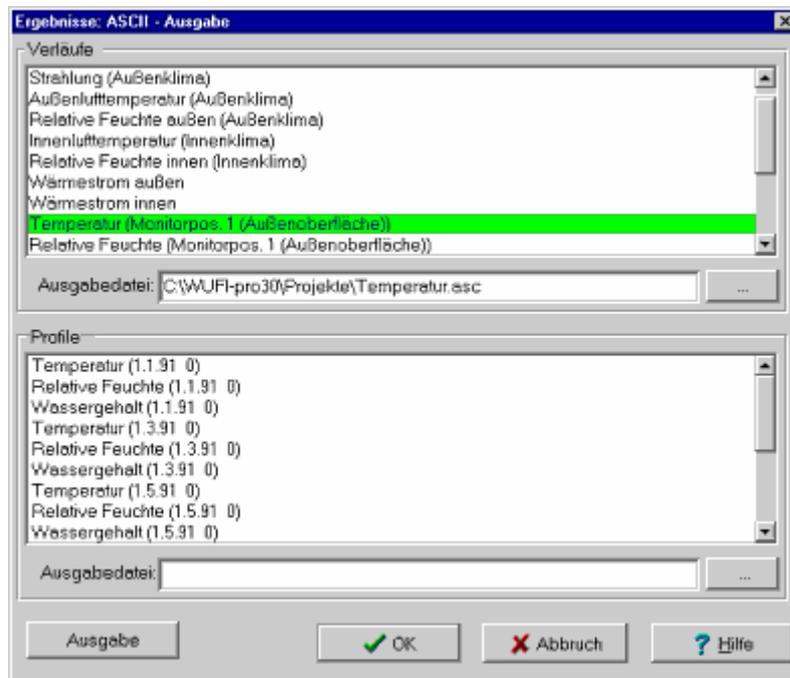


Nächster Dialog: [ASCII-Ausgabe](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: ASCII-Ausgabe



Statt die Rechenergebnisse als [Grafik](#) zu betrachten, können Sie sie auch als ASCII-Datei ausgeben und selbst weiterverarbeiten.

"Verläufe", "Profile":

Wählen Sie aus diesen Listen die Verläufe bzw. Profile, die Sie ausgegeben haben möchten.

Markieren Sie eine einzelne Kurve mit einem Mausklick.

Wenn Sie einen zusammenhängenden Bereich auswählen wollen, markieren Sie erst die Kurve am einen Ende und dann, bei gedrückter Umschalt-Taste, die Kurve am anderen Ende.

Wenn Sie mehrere nicht benachbarte Kurven auswählen wollen, markieren Sie diese nacheinander bei gedrückter Strg-Taste.

Um eine Markierung zu löschen, klicken Sie auf diese nochmals, während Sie die Strg-Taste gedrückt halten.

"Ausgabedatei":

Tragen Sie in diese Textfelder (ggf. Pfad und) Namen der jeweiligen Zieldatei für Verläufe bzw. Profile ein. Falls Sie einen schon bestehenden Dateinamen

DialogASCIIExport
\$ Dialog: ASCII-Ausgabe
+ 5310
K ASCII-Export;ASCII;Export

verwenden oder ein Verzeichnis suchen wollen, können Sie auch die rechts neben dem Textfeld befindliche Schaltfläche drücken um den "Speichern unter"-Dialog aufzurufen.

"Ausgabe":

Diese Schaltfläche startet den Export der markierten Daten in die entsprechende(n) ASCII-Datei(en).

Sie erhalten eine ASCII-Datei mit mehreren Spalten. Die erste Spalte enthält Zeitangaben in Stunden (Verläufe) bzw. Koordinaten auf der X-Achse in Metern (Profile), die anderen Spalten enthalten die von Ihnen ausgewählten Rechenergebnisse in der von der Auswahlliste vorgegebenen Reihenfolge. Eine nähere Erläuterung der zur Verfügung stehenden Kurven finden Sie der Beschreibung der [Kurven in den Ergebnisgrafiken](#).

Die Rechenergebnisse werden so ausgegeben, wie sie vorliegen. Evtl. Einstellungen für die Grafiken (Mittelung, Wahl eines Teilbereichs für die Darstellung etc.) haben hierauf keinen Einfluss.

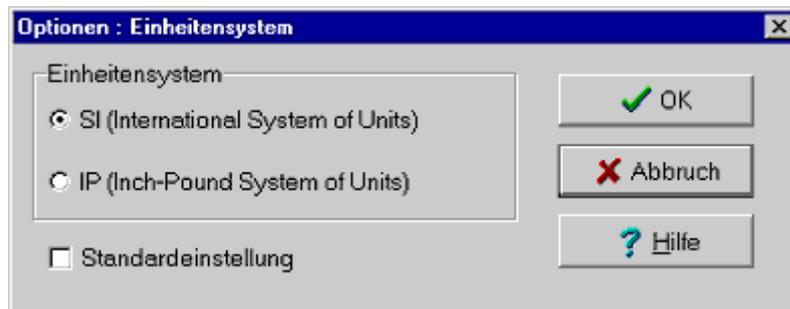
Die Temperatur- und/oder Wassergehaltsprofile des [letzten](#) (oder eines anderen) Rechenschritts können als [Anfangstemperatur](#)- und/oder [Anfangswassergehaltsprofil](#) für eine weitere Berechnung verwendet werden. Auf diese Weise kann eine umfangreiche Berechnung in kleine handlichere Teile aufgeteilt werden, oder Materialparameter können während des Rechnungsverlaufs geändert werden, um z. B. Alterungsprozesse zu simulieren, etc.

Nächster Dialog: [Optionen Einheitensystem](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Optionen Einheitensystem



"SI (International System of Units)"

"IP (Inch-Pound System of Units)":

Sie können zwischen SI- und IP-Einheiten umschalten.

Intern verwendet WUFI stets SI-Einheiten. Wenn IP-Einheiten angewählt sind, **konvertiert** die Benutzeroberfläche die Projektdaten von IP- in SI-Einheiten, um sie an den Rechenteil zu übergeben, und konvertiert die Rechenergebnisse zur Ergebnisdarstellung zurück von SI nach IP.

Bitte beachten Sie: Wird das Einheitensystem umgeschaltet, während sich Daten im Projekt befinden, können die umgerechneten Werte eventuell mehr Dezimalstellen haben als die Originalwerte und müssen dann gerundet werden, um in die Textfelder zu passen. Werden sie bei einem erneuten Umschalten wieder zurückkonvertiert, kann es passieren, daß sich aus diesen gerundeten Werten nicht mehr exakt die Ausgangswerte ergeben.

Sie sollten daher unnötiges Hin- und Herschalten zwischen den Einheitensystemen vermeiden, wenn schon Daten ins Projekt eingegeben wurden; es empfiehlt sich, erst das Einheitensystem zu wählen und dann mit der Dateneingabe zu beginnen.

In die Projektdatei werden die Eingabedaten in jenem Einheitensystem geschrieben, das zum Zeitpunkt des Abspeichern gerade aktiv ist. IP-Daten können daher ohne Rundungsprobleme abgespeichert werden.

"Standardeinstellung":

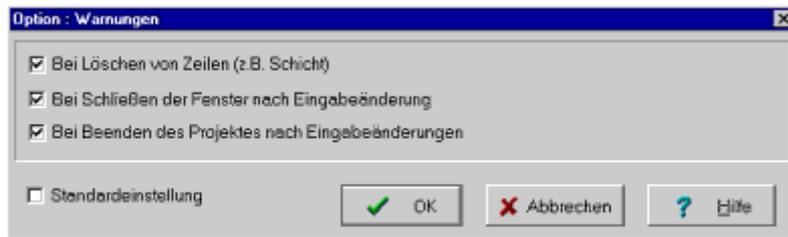
Wählen Sie diese Option, wenn die oben vorgenommene Einstellung auch als Voreinstellung beim nächsten Starten von WUFI benutzt werden soll.

Nächster Dialog: [Optionen Warnungen](#)

DialogOptionsUnitSystem
 \$ Dialog: Optionen Einheitensystem
 + 5320
 K Einheiten;Einheitensystem;SI;IP

[Zum Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)
[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Optionen Warnungen



Legen Sie hier fest, welche Ereignisse eine Warnung durch WUFI zur Folge haben sollen.

"Bei Löschen von Zeilen (z.B. einer Schicht)"

Einige der Eingabedaten stehen in Tabellen (z.B. der [Bauteilaufbau](#)). Jede Tabelle hat Bearbeitungsschaltflächen, mit denen neue Eintragungen vorgenommen, Einträge kopiert oder gelöscht werden können etc.

Wenn Sie einen Eintrag aus einer Tabelle **löschen** und diese Option aktiviert ist, führt WUFI vor dem endgültigen Löschen eine Sicherheitsabfrage durch, ob der Vorgang wirklich beabsichtigt ist.

"Bei Schließen der Fenster nach Eingabeänderung"

Ein Großteil der Eingaben wird in den großen Dialogfenstern vorgenommen, die über den Projektexplorer aufgerufen werden. Einige Unterdialoge verwenden jedoch auch Pop-Up-Fenster.

Wenn Sie ein solches Fenster mit der Schaltfläche **"OK" schließen**, werden die vorgenommenen Änderungen gespeichert und das Fenster kommentarlos geschlossen.

Falls Sie das Fenster dagegen mit der Schaltfläche **"Abbrechen" schließen**, werden alle Eingaben verworfen. Wenn diese Option aktiviert ist, fragt WUFI nach, ob Sie wirklich alle vorgenommenen Änderungen verwerfen wollen, bevor das Fenster endgültig geschlossen wird.

"Bei Beenden des Projekts nach Eingabeänderungen"

Wenn Sie ein Projekt **beenden** (z.B. beim Beenden von WUFI oder beim Öffnen eines neuen Projekts) gehen alle nicht gespeicherten Änderungen verloren. Wenn diese Option aktiviert ist, fragt WUFI nach, ob Sie wirklich alle Änderungen verwerfen wollen, bevor das Projekt endgültig geschlossen wird.

"Standardeinstellung":

Wählen Sie diese Option, wenn die oben vorgenommenen Einstellungen auch als Voreinstellungen beim nächsten Starten von WUFI benutzt werden sollen.

Nächster Dialog: [Optionen Ergebnisdaten](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Optionen Ergebnisdaten



Die [Projektdatei](#) *.WUG enthält alle Eingabedaten und – bei erneutem Speichern nach der Berechnung – die Berechnungsergebnisse (Verläufe, Profile und Film). Daher kann diese Datei ziemlich umfangreich werden.

Sie können die Dateigröße reduzieren (entweder für die Archivierung oder um lediglich die Eingabedaten weiterzugeben), indem Sie die **Verläufe und Profile** und/oder die **Filmdaten** von der Speicherung ausschließen.

Wählen Sie die Option "**Standardeinstellung**", wenn die vorgenommenen Einstellungen auch als Voreinstellungen beim nächsten Starten von WUFI benutzt werden sollen.

Nächster Dialog: [Datenbank Materialien](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Datenbank Materialien

The screenshot shows the 'WUFI - Datenbank Materialien' dialog box. It features a menu bar with 'Neu', 'Ändern', 'Entfernen', and 'Kataloge bearbeiten'. Below the menu, there are dropdown menus for 'Quelle' (1) and 'Katalog' (1), and a 'Sortierung' dropdown (4). A table lists various materials with columns for 'Name', 'Dichte [kg/m³]', 'Para. [m²/m]', 'Wärmekap. [J/kgK]', and 'Wärme'. A red circle (2) highlights the 'Dichte' column. On the right side, the 'Optionale Kennwerte' (3) section is visible, containing a table for moisture storage functions and a graph showing 'Wassergehalt [kg/m³]' versus 'Relative Feuchte [-]'. The bottom right corner has 'Hilfe' and 'Schließen' buttons.

Name	Dichte [kg/m³]	Para. [m²/m]	Wärmekap. [J/kgK]	Wärme
Beumburger Sandstein	1980	0.23	850	
Beumburger Sandstein2	1980	0.23	850	
Beton B15	2200	0.18	850	
Beton B25 HOZ	2220	0.18	850	
Beton B45	2220	0.18	850	
Beton WJZ-0.5	2300	0.18	850	
Calciumsulfat Fließestrich, obere Schicht	1960	0.23	850	
Calciumsulfat Fließestrich, untere Schicht	1910	0.237	850	
Cottener Sandstein	2050	0.22	850	
Dachbahn V13	2400	0.001	1000	
Eiche longitudinal	685	0.72	1500	
Eiche radial	685	0.72	1500	
EPS (Wärmeleit: 0,04 W/mK - Dichte: 15 kg/m³)	15	0.95	1500	
EPS (Wärmeleit: 0,04 W/mK - Dichte: 30 kg/m³)	30	0.95	1500	
EX-Ziegel	1630	0.35	0.85	
FA-Ziegel	1780	0.32	0.85	
Fichte longitudinal	455	0.73	1500	
Fichte radial	455	0.73	1500	
Gipsputz	1721	0.305	0.85	
Hartholz	650	0.47	1500	
HD-Ziegel	1560	0.38	0.85	

In diesem Dialog können Sie die in der Materialdatenbank enthaltenen Materialien betrachten. Außerdem können Sie eigene Materialien hinzufügen und bearbeiten (Die mit WUFI mitgelieferten Materialien in der Datenbank sind schreibgeschützt und können nicht geändert werden).

Falls Sie Materialien aus der Datenbank in den aktuellen Bauteilaufbau übernehmen wollen, verwenden Sie den Dialog "Materialdatenbank", der im Dialog Bauteilaufbau über die Schaltfläche "Materialdatenbank" aufgerufen wird.

Die Materialien sind nach **Quellen** und **Katalogen** (1) geordnet.

Als Quelle werden dabei die Institutionen bezeichnet, die die Materialdaten zur Verfügung gestellt haben. Sie können sich entweder die Daten aller Quellen ansehen oder eine einzelne Quelle auswählen, falls Sie nur deren Daten verwenden wollen.

Die Daten jeder Quelle sind zudem in Kataloge einsortiert, die jeweils eine bestimmte Baustoffkategorie (z.B. "Putze und Mörtel", "Dämmstoffe", usw.) enthalten. Wählen Sie "Alle Kataloge", um alle Materialien der ausgewählten Quelle anzuzeigen.

DialogDatabaseMaterials

\$ Dialog: Datenbank Materialien

+ 5350

K Materialdatenbank;Materialien;Quelle (Datenbank);Katalog (Datenbank)

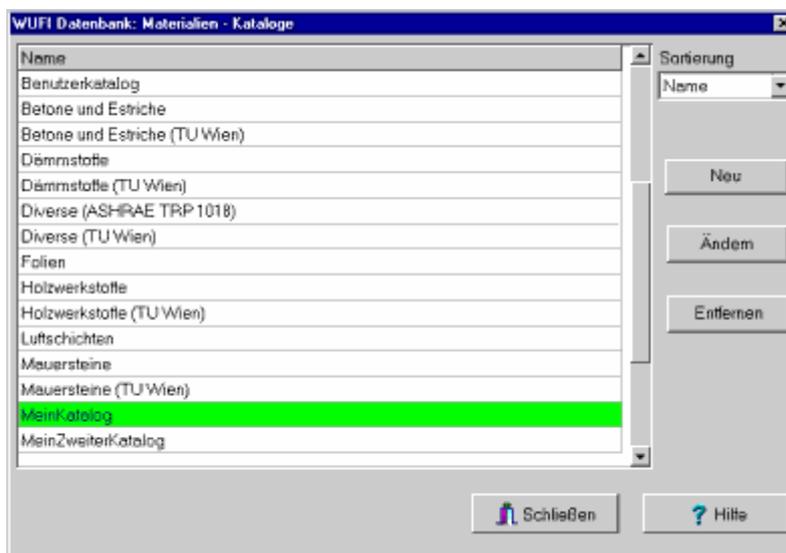
Die in den ausgewählten Quellen und Katalogen enthaltenen Materialien werden in der **Materialliste (2)** angezeigt. Sie können die Materialien mit der entsprechenden Auswahl im Feld **"Sortierung"** entweder nach deren Namen oder nach einem der **Grundkennwerte** sortieren lassen.

Die folgenden Daten werden für jedes Material angezeigt:

- Die **Grundkennwerte** sind in der Liste selbst dargestellt
- Für manche Materialien sind typische Einbaudicken in einer kleinen Extraliste rechts unten angegeben.
- Das große Anzeigefeld rechts auf dem Bildschirm **(3)** zeigt die **Optionalen Kennwerte** des markierten Materials an, vollständig mit Tabelle und grafischen Kurven. Wenn Sie die Auswahl **"Optionale Kennwerte zeigen"** aufheben, wird dieses Anzeigefeld ausgeblendet und die Darstellung der Materialliste entsprechend vergrößert – dies ist insbesondere dann nützlich, wenn Sie einen kleineren Bildschirm benutzen.

Weitere Informationen zu den einzelnen Materialdaten finden Sie im Kapitel **Details: Materialkenndaten**.

Die mit WUFI mitgelieferten Materialien in der Datenbank sind schreibgeschützt und können nicht geändert werden. Sie können jedoch der Datenbank eigene Materialien **hinzufügen**. Erstellen Sie dazu zunächst einen eigenen Katalog mit der Schaltfläche **"Kataloge bearbeiten" (4)**:



Dieser Unterdialog zeigt eine Liste mit allen in der Datenbank enthaltenen Katalogen. Die mitgelieferten Kataloge sind schreibgeschützt, Sie können aber einen **"Neu"**en Katalog erstellen, die Namen der von Ihnen erstellten Kataloge **"Ändern"** oder diese Kataloge wieder **"Entfernen"**.

Um ein neues Material in die Datenbank einzufügen, öffnen Sie den Unterdialog **"Neues Material"** mit der Schaltfläche **"Neu" (4)**, geben die Materialdaten ein und weisen das Material einem Ihrer Kataloge zu.

Um eines Ihrer Materialien zu bearbeiten, markieren Sie dieses in der Materialliste

(2) und verwenden die Schaltfläche "**Ändern**" (4), um die Materialdaten zu bearbeiten oder die Schaltfläche "**Entfernen**" (4), um das Material zu löschen.

Nächster Dialog: [Datenbank Materialien – Neues Material](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Datenbank Materialien – Neues Material

Dieser Unterdialog dient der Erstellung oder Bearbeitung der benutzerdefinierten Materialien in der Materialdatenbank. Er enthält mehrere Dialogseiten:

"Materialdaten":

Auf dieser Dialogseite können Sie die Materialkenndaten des markierten Materials ansehen, eingeben oder ändern.

Weitere Erläuterungen zu den Materialkenndaten finden Sie im Kapitel [Details: Materialkenndaten](#).

"Schicht- / Materialname":

Der Name des Materials.

"Grundkennwerte"

"Rohdichte [kg/m³]",
 "Porosität [m³/m³]",
 "Wärmekapazität trocken [J/kgK]",
 "Wärmeleitfähigkeit trocken [W/mK]",
 "Diffusionswiderstandszahl trocken [-]":

Diese [Grundkennwerte](#) werden als minimale Berechnungsgrundlage benötigt.

DialogDatabaseMaterialsNewMaterial

\$ Dialog: Datenbank Materialien – Neues Material

+ 5360

K Materialdatenbank;Materialdaten;Materialkenndaten;Katalog (Datenbank)

"Optionale Parameter":

Einige der Kennwerte aus dem folgenden Abschnitt "Optionale Kennwerte" können alternativ zur direkten Eingabe auch mit Hilfe einfacher zu bestimmender Materialparameter approximiert oder generiert werden. In Abhängigkeit von den Einstellungen im Dialog "Optionale Kennwerte" werden die dafür benötigten Parameter dann in der Tabelle "**Optionale Parameter**" aufgelistet.

Die Beschreibung eventuell benötigter optionaler Parameter ist in den jeweiligen Abschnitten des folgenden Kapitels "Optionale Kennwerte" enthalten:

"Optionale Kennwerte":

Falls erforderlich können Sie in diese Tabelle über die Grundkennwerte hinausgehende, optionale Materialkennwerte eingeben.

Die optionalen Kennwerte umfassen die Feuchtespeicherfunktion, die feuchteabhängigen Transportkoeffizienten sowie die feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl.

Die Eingabe der optionalen Kennwerte erfolgt direkt in die jeweiligen Tabellen oder alternativ über die Eingabe von anderen einschlägigen Kenndaten, mit deren Hilfe die Tabellenwerte erzeugt werden.

"Feuchtespeicherfunktion":

Geben Sie hier die Werte für die Feuchtespeicherfunktion des Materials ein, d.h. den Wassergehalt [kg/m^3], der sich bei Kontakt des Materials mit Luft der jeweiligen relativen Luftfeuchte (0...1) einstellt.

Wenn detaillierte Tabellenwerte nicht zur Verfügung stehen, die Feuchtespeicherfunktion des Materials jedoch durch eine Approximationsfunktion angemessen wiedergegeben werden kann, wählen Sie die Option "**Approximieren**" und geben Sie

- den Sorptionsfeuchtegehalt des Materials bei 0.8 relativer Luftfeuchte, w_{80} ("**Bezugsfeuchtegehalt [kg/m^3]**", Bestimmung gemäß DIN 52620) sowie
- die "**Freie Wassersättigung [kg/m^3]**" w_f

in die zusätzlich angezeigte Tabelle "**Optionale Parameter**" ein. WUFI legt dann eine analytische Feuchtespeicherfunktion durch diese beiden Werte und den Nullpunkt.

Bei nicht-hygrokopischen Materialien können Sie die Tabelle für die Feuchtespeicherfunktion einfach unausgefüllt lassen. Da WUFI für die numerische Berechnung aber eine definierte Feuchtespeicherfunktion benötigt, wird in einem solchen Fall intern eine Ersatz-Feuchtespeicherfunktion verwendet, die auf die sehr niedrigen Sorptionsgehalte in nicht-hygrokopischen Materialien ausgelegt ist.

Weitere Erläuterungen zu dieser Ersatz-Feuchtespeicherfunktion finden Sie im Kapitel [Fragen & Antworten](#).

"Flüssigtransportkoeffizient, Saugen"

"Flüssigtransportkoeffizient, Weiterverteilung":

Geben Sie in diese Tabellen die [Flüssigtransportkoeffizienten](#) ein - getrennt für Saugen und Weiterverteilung.

Wenn die Flüssigtransportkoeffizienten eines verwendeten Materials nicht bekannt sind, können deren Werte auch von WUFI automatisch mit Hilfe des [Wasseraufnahmekoeffizienten](#) (w-Wert) generiert werden, der für die meisten Materialien entweder bekannt oder leicht messbar ist.

Dazu wählen Sie die Option "**Generieren**" und geben den w-Wert in die zusätzlich angezeigte Tabelle "**Optionale Parameter**" ein (*in $[kg/m^2\sqrt{s}]$; in der einschlägigen deutschen Norm wird die Einheit $[kg/m^2\sqrt{h}]$ verwendet. Letztere Werte werden durch Division mit 60 in SI-Einheiten umgerechnet*). WUFI erzeugt automatisch eine dreizeilige Tabelle mit den zugehörigen abgeschätzten Flüssigtransportkoeffizienten.

Beachten Sie, dass mit Hilfe der Generierung nur eine grobe Abschätzung der Koeffizienten möglich ist. Diese hat sich zwar in vielen Fällen als gut geeignet erwiesen, eine generelle Übertragbarkeit auf alle Materialien kann jedoch nicht vorausgesetzt werden. Insbesondere sind Ungenauigkeiten in der *Form* der Saugprofile zu erwarten. Die Generierung ist also in erster Linie als Unterstützung bzw. Vereinfachung gedacht und Sie sollten sich nicht blind auf ihre Korrektheit verlassen. In künftigen WUFI-Versionen ist der Einbau differenzierterer Methoden zur Generierung der Flüssigtransportkoeffizienten vorgesehen.

Hinweise zur Generierung:

Die [Abschätzung](#) der Flüssigtransportkoeffizienten aus dem w-Wert erfolgt unter Einbeziehung der Sorptionsfeuchtegehalte [w₈₀](#) und [w_f](#). Wenn bereits die Feuchtespeicherfunktion aus diesen beiden Werten approximiert wurde, wird die dortige Eingabe direkt übernommen, ansonsten werden die Werte aus der entsprechenden Tabelle – falls erforderlich auch über Interpolation – berechnet.

Solange keine Feuchtespeicherfunktion definiert ist, können die Transportkoeffizienten nicht generiert werden – die Tabelle bleibt leer (die Eingabe des w-Werts ist trotzdem möglich).

Wird die Feuchtespeicherfunktion nach Generierung der Transportkoeffizienten geändert, erfolgt auch eine automatische Anpassung der generierten Werte. Beachten Sie also, dass Sie durch das Ändern einer Materialeigenschaft ggf. als Nebeneffekt auch andere Materialeigenschaften mit verändern, unter Umständen ohne dies direkt zu beabsichtigen oder zu bemerken.

Bei Generierung beider Koeffiziententabellen – Saugen und Weiterverteilung – wird in beiden Fällen der w-Wert aus dem gemeinsam genutzten Eintrag in "Optionale Parameter" verwendet. Die

Änderung nur einer Tabelle über eine Anpassung des w-Werts ist somit nicht ohne entsprechenden Einfluss auch auf die andere Tabelle möglich (wird nur eine der Tabellen generiert, die andere dagegen von Hand erstellt, bleibt die nicht-generierte von einer Veränderung des w-Werts selbstverständlich unberührt).

"Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig":

Es ist möglich, die **Wärmeleitfähigkeit** als Funktion des Materialfeuchtegehalts anzugeben, wenn Sie dies berücksichtigen wollen.

Falls Ihnen dabei eine lineare Abhängigkeit als ausreichend genau erscheint, kann WUFI aus Ihrer Eingabe zum **Wärmeleitfähigkeitszuschlag** eine entsprechende zweizeilige Tabelle generieren.

Wählen Sie dazu die Option **"Generieren"** und geben Sie in der Tabelle **"Optionale Parameter"** den Wärmeleitfähigkeitszuschlag (in [%/M.-%]) ein. WUFI generiert dann automatisch eine Tabelle mit den Werten der Wärmeleitfähigkeit jeweils in trockenem Zustand und bei maximalem Wassergehalt des Baustoffs. Die Zwischenwerte für die übrigen Wassergehalte werden bei der Berechnung linear interpoliert.

Hinweise zur Generierung:

Zur **Abschätzung** der Wärmeleitfähigkeit des Materials bei maximalem Wassergehalt verwendet WUFI die Grundkennwerte Rohdichte, Porosität und Wärmeleitfähigkeit trocken. Werden diese Werte nach der Generierung geändert, erfolgt auch automatisch eine Anpassung der Tabellenwerte der feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeit. Beachten Sie also, dass Sie durch das Ändern einer Materialeigenschaft ggf. als Nebeneffekt auch andere Materialeigenschaften mit verändern, unter Umständen ohne dies direkt zu beabsichtigen oder zu bemerken.

Solange nicht alle der benötigten Grundkennwerte eingegeben sind, kann WUFI die Generierung nicht durchführen – die Tabelle bleibt leer (die Eingabe des Wärmeleitfähigkeitszuschlags ist trotzdem möglich).

"Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig":

Geben Sie die **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl** des Materials als Funktion des Materialfeuchtegehalts an, wenn Sie diese Feuchteabhängigkeit berücksichtigen wollen.

Allgemeine Hinweise zum Approximieren und Generieren:

Für alle Optionalen Kennwerte – mit Ausnahme der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl – hält WUFI ständig zwei verschiedene Tabellen im Speicher: eine von Hand erstellte

(bearbeitbare) und eine generierte (nicht bearbeitbare). Sie können parallel mit beiden Tabellen arbeiten; welche der Tabellen dann für die Berechnung verwendet wird, hängt davon ab, ob die Option **"Approximieren"** bzw. **"Generieren"** bei Berechnungsstart gewählt ist oder nicht.

Indem Sie diese Option aktivieren bzw. deaktivieren, können Sie zwischen den beiden Tabellen wechseln. Die gerade nicht aktivierte Tabelle bleibt im Hintergrund gespeichert.

Mit der Schaltfläche **"Kopieren"** können Sie die generierte Tabelle zeilenweise in die von Hand erstellte Tabelle übertragen und dort weiterbearbeiten.

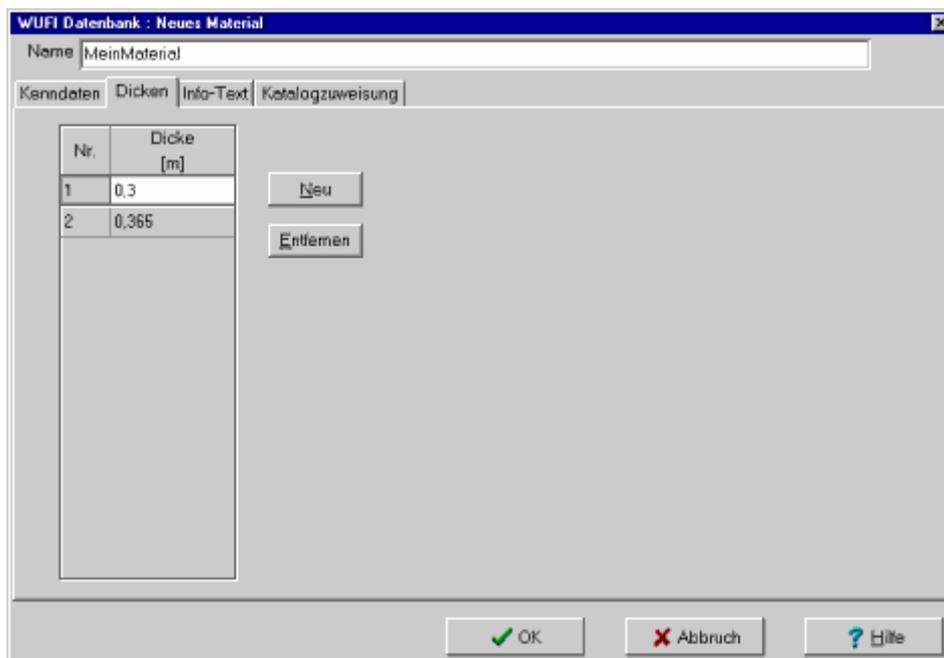
"Typische Baufeuchte [kg/m³]":

Ein typisches Anwendungsbeispiel für WUFI stellt die Berechnung der Austrocknungsdauer einer neu errichteten Wandkonstruktion dar. Wenn für das aktuelle Material ein typischer Baufeuchtegehalt bekannt ist, können Sie ihn hier eingeben. Eine Zuordnung der typischen Baufeuchte als Anfangsbedingung für die Berechnung erfolgt dann mit einem einzigen Klick im Dialog **"Anfangsbedingungen"**.

"Farbe":

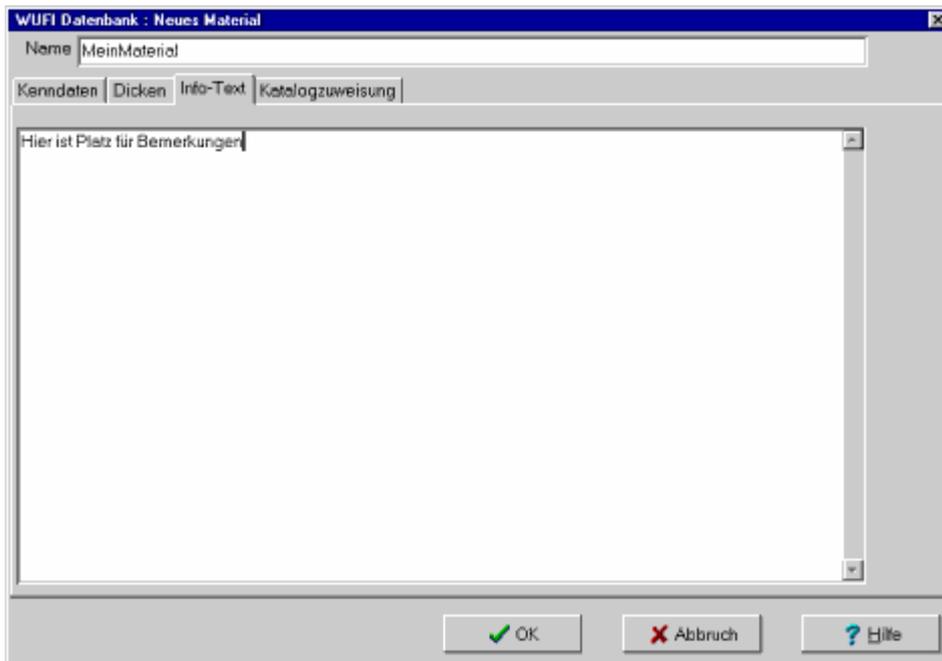
Wählen Sie die Farbe, mit der das Material in der [grafischen Aufbaudarstellung](#) angezeigt werden soll.

"Dicken":



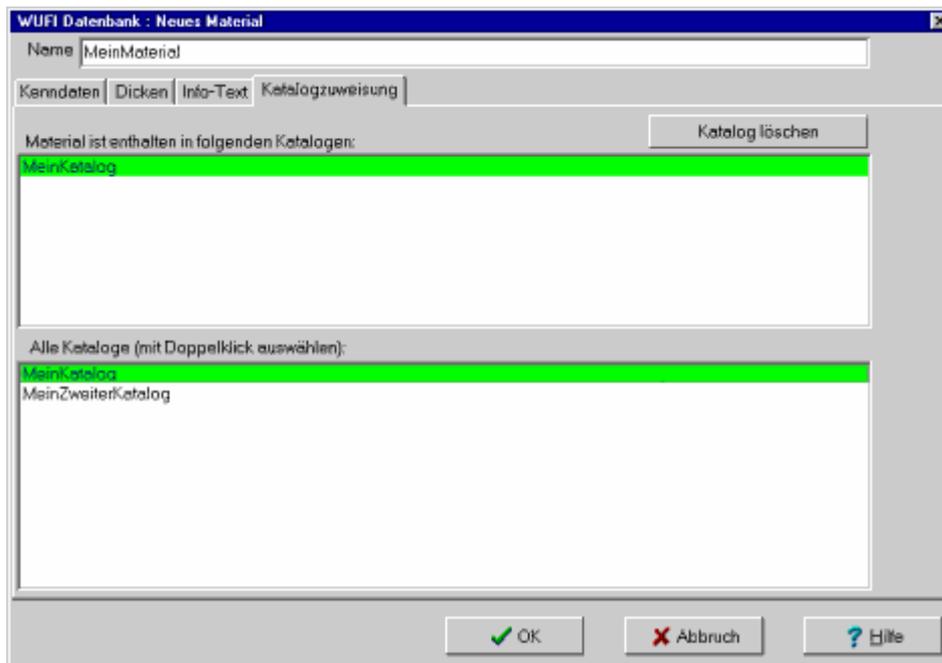
Wenn für das aktuelle Material typische Einbaudicken bekannt sind, geben Sie diese in die Liste ein. Sie werden dann im Dialog [Materialdatenbank](#) angezeigt und Sie können dort eine Dicke auswählen, um Sie der aktuellen [Bauteilschicht](#) zusammen mit den Materialdaten zuzuweisen. So müssen Sie die Dicke nicht manuell im Dialog [Bauteilaufbau](#) eingeben.

"Info-Text":



In dieses Textfeld können Sie Informationen oder Hinweise zu den jeweiligen Materialien eingeben.

"Katalogzuweisung":



Das Material muss (mindestens) einem Katalog zugewiesen werden. Diese Dialogseite zeigt eine Liste **aller** benutzerdefinierten **Kataloge** (Sie können ein Material keinem der mitgelieferten, schreibgeschützten Kataloge zuweisen).

Mit einem Doppelklick auf den oder die gewünschten Kataloge fügen Sie diese der oberen Liste "**Material ist enthalten in folgenden Katalogen**" hinzu. Das Material wird allen Katalogen in dieser Liste zugewiesen.

Mit der Schaltfläche "**Katalog löschen**" können Sie den markierten Katalog aus dieser Liste entfernen (um einen Katalog aus der *Datenbank zu löschen*, müssen Sie den Dialog "[Kataloge bearbeiten](#)" verwenden).

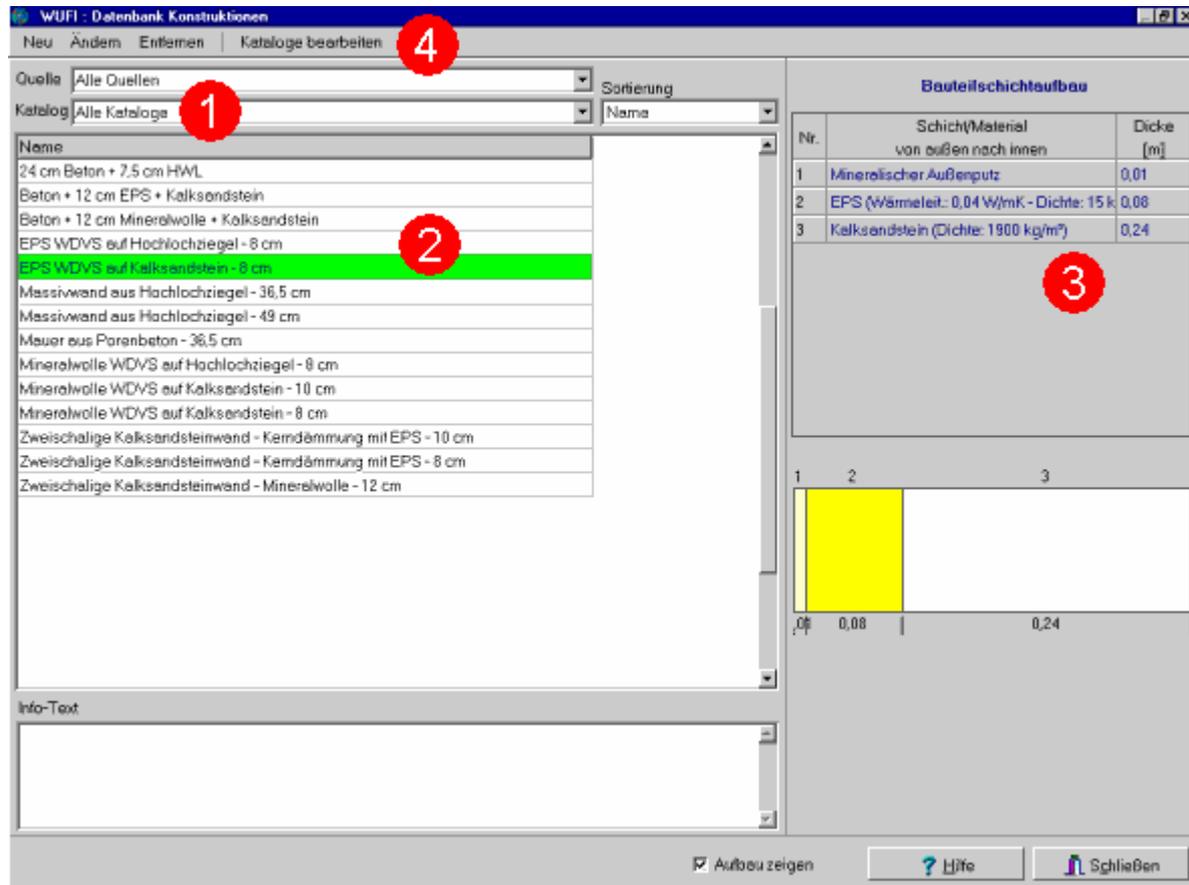
Das Material wird der Datenbank zugewiesen, sobald Sie den Dialog mit der Schaltfläche "OK" schließen.

Nächster Dialog: [Datenbank Konstruktionen](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Datenbank Konstruktionen



In diesem Dialog können Sie die in der Konstruktionsdatenbank enthaltenen Konstruktionen ansehen. Sie können auch eigene Konstruktionen hinzufügen, bearbeiten oder löschen (die in der Datenbank mitgelieferten Konstruktionen sind schreibgeschützt und können nicht bearbeitet werden).

Um Konstruktionen aus der Datenbank in Ihren aktuellen Aufbau einzufügen, können Sie den Dialog [Konstruktionsdatenbank](#) verwenden, der im Dialog [Bauteilaufbau](#) über die Schaltfläche "Konstruktionsdatenbank" aufgerufen wird.

Die Konstruktionen sind nach **Quellen** und **Katalogen (1)** geordnet.

Die Quelle bezeichnet die Institution, die das Konstruktionsbeispiel erstellt hat. Sie können sich entweder die Konstruktionen aller Quellen ansehen oder eine einzelne Quelle auswählen, falls Sie nur deren Konstruktionsbeispiele sehen wollen. Die Konstruktionen jeder Quelle sind zudem in Kataloge einsortiert, die jeweils eine bestimmte Bauteilkategorie (z.B. "Außenwände", "Kerndämmung", usw.) enthalten. Wählen Sie "Alle Kataloge", um alle Konstruktionsbeispiele der ausgewählten Quelle anzuzeigen.

DialogDatabaseExampleCases

\$ Dialog: Datenbank Konstruktionen

+ 5370

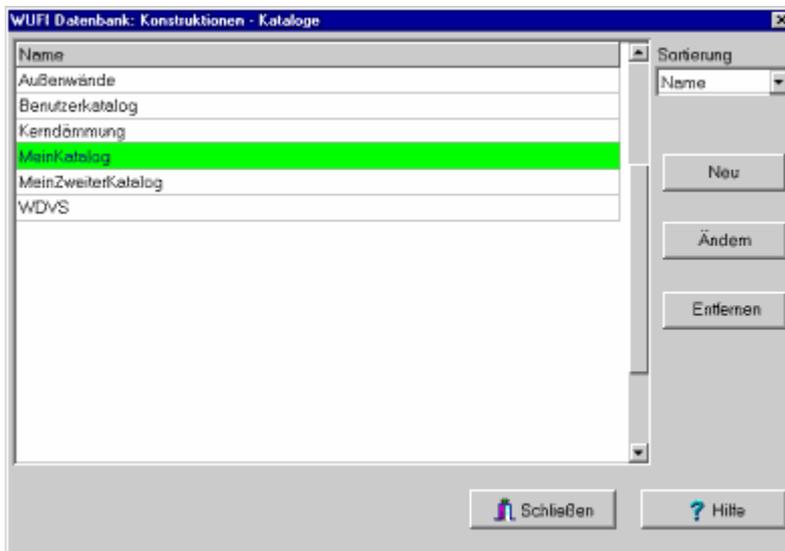
K Konstruktionsdatenbank;Konstruktion;Bauteil;Quelle (Datenbank);Katalog (Datenbank)

Die in den ausgewählten Quellen und Katalogen enthaltenen Konstruktionen werden in der **Konstruktionenliste (2)** angezeigt. Sie können die Konstruktionen nach Namen **sortieren** oder unsortiert lassen.

Das große Anzeigefeld rechts auf dem Bildschirm **(3)** zeigt den detaillierten Aufbau der markierten Konstruktion sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Darstellung.

Wenn Sie die Option **"Aufbau zeigen"** aufheben, wird dieses Anzeigefeld ausgeblendet und die Darstellung der Konstruktionenliste entsprechend vergrößert – dies ist insbesondere dann nützlich, wenn Sie einen kleineren Bildschirm benutzen.

Die mit WUFI mitgelieferten Konstruktionen in der Datenbank sind schreibgeschützt und können nicht geändert werden. Sie können jedoch der Datenbank eigene Konstruktionen hinzufügen. Erstellen Sie dazu zunächst einen eigenen Katalog mit der Schaltfläche **"Kataloge bearbeiten" (4)**:



Dieser Unterdialog zeigt eine Liste mit allen in der Datenbank enthaltenen Katalogen. Die mitgelieferten Kataloge sind schreibgeschützt, Sie können aber einen **"Neu"**en Katalog erstellen, die Namen der von Ihnen erstellten Kataloge **"Ändern"** oder diese Kataloge wieder **"Entfernen"**.

Um eine neue Konstruktion in die Datenbank einzufügen, öffnen Sie den Unterdialog **"Neue Konstruktion"** mit der Schaltfläche **"Neu" (4)**, geben den Aufbau der Konstruktion ein und weisen sie einem Ihrer Kataloge zu.

Um eine Ihrer Konstruktionen zu bearbeiten, markieren Sie diese in der Konstruktionenliste **(2)** und verwenden die Schaltfläche **"Ändern" (4)**, um die Konstruktion zu bearbeiten oder die Schaltfläche **"Entfernen" (4)**, um die Konstruktion zu löschen.

Nächster Dialog: [Datenbank Konstruktionen - Neue Konstruktion](#)

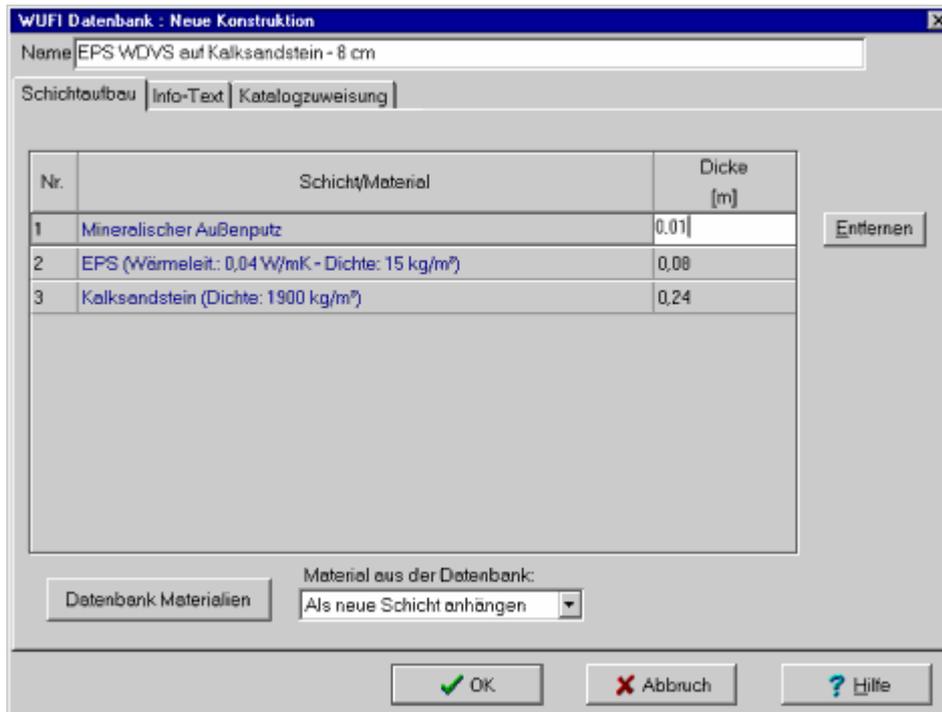
Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Dialog: Datenbank Konstruktionen – Neue Konstruktion

Dieser Unterdialog dient der Erstellung oder Bearbeitung der benutzerdefinierten Konstruktionen in der Konstruktionsdatenbank. Er enthält mehrere Dialogseiten:

"Schichtaufbau":



Auf dieser Dialogseite können Sie der markierten Konstruktion neue Schichten hinzufügen sowie bestehende Schichten bearbeiten oder entfernen.

"Name:"

Geben Sie einen Namen für die Konstruktion ein.

"Schicht/Material":

Sie können eine Konstruktion erstellen, indem Sie diese den Bauteilaufbau beschreibende Tabelle bearbeiten. Dazu stehen Ihnen folgende Werkzeuge zur Verfügung:

"Datenbank Materialien":

DialogDatabaseConstructionsNewConstruction

\$ Dialog: Datenbank Konstruktionen – Neue Konstruktion

+ 5380

^KKonstruktionsdatenbank;Konstruktion;Bauteil;Katalog (Datenbank)

Diese Schaltfläche öffnet die [Materialdatenbank](#). Wählen Sie das gewünschte Material aus und übertragen Sie es mit einem Doppelklick oder mit der Schaltfläche "**Verwenden**" in den Aufbau Ihrer Konstruktion.

"Material aus der Datenbank":

Verwenden Sie diese Drop-Down-Liste, um festzulegen, wie die Materialien aus der Materialdatenbank (siehe oben) in die Aufbau-Tabelle übertragen werden sollen:

- **"Als neue Schicht anhängen":**
Das Material wird in eine neue Schicht am Ende der Tabelle eingefügt.
- **"Als neue Schicht einfügen":**
Das Material wird in eine neue Schicht vor der aktuell markierten in die Tabelle eingefügt.
- **"Schichtdaten ersetzen":**
Das Material ersetzt das Material der markierten Schicht.

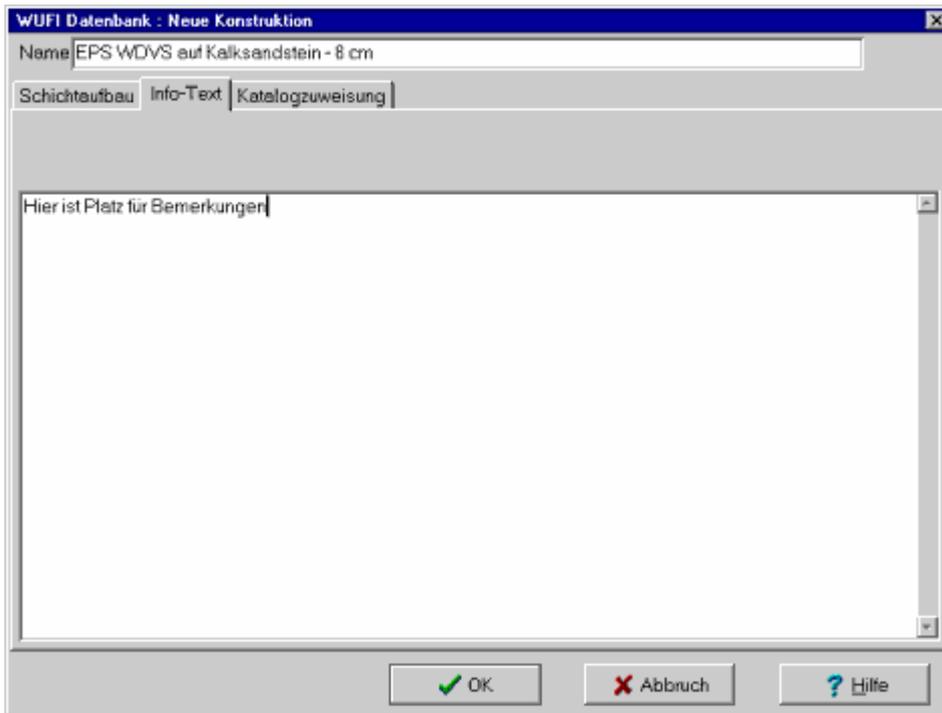
"Entfernen":

Löscht die markierte Schicht aus der Tabelle.

"Dicke [m]":

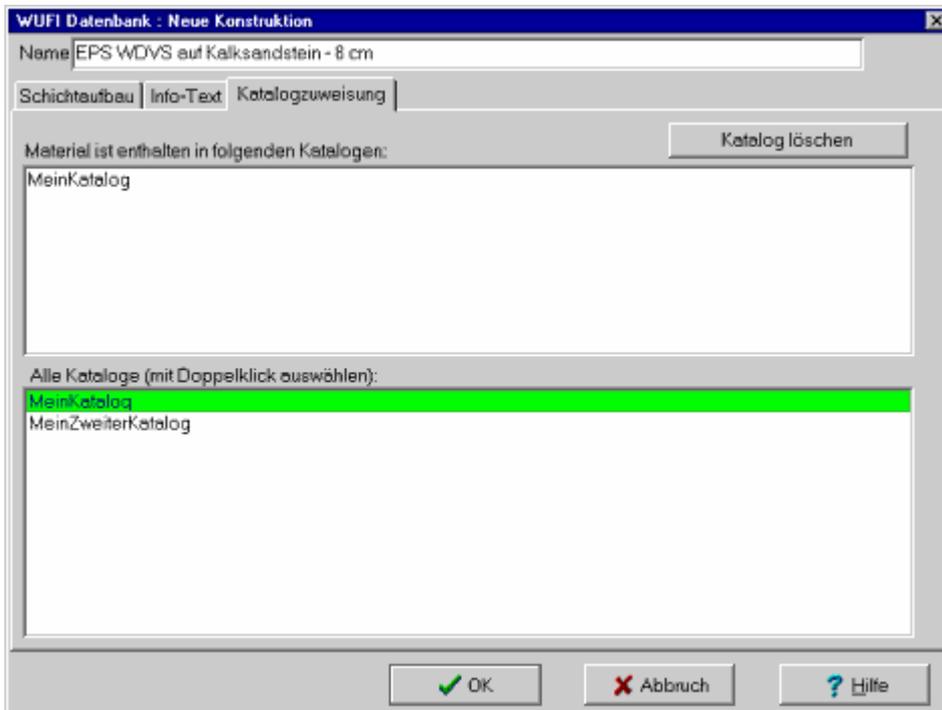
Geben Sie hier die Dicke der jeweiligen Schicht ein. Wenn Sie die Schichtdicke zusammen mit den Materialkenndaten aus der [Materialdatenbank](#) übertragen haben, müssen Sie diese nicht mehr von Hand eingeben.

"Info-Text":



In dieses Textfeld können Sie Informationen oder Hinweise zu den jeweiligen Konstruktionen eingeben.

"Katalogzuweisung":



Die Konstruktion muss (mindestens) einem Katalog zugewiesen werden. Diese Dialogseite zeigt eine Liste **aller** benutzerdefinierten **Kataloge** (Sie können eine Konstruktion keinem der mitgelieferten, schreibgeschützten Kataloge zuweisen).

Mit einem Doppelklick auf den oder die gewünschten Kataloge fügen Sie diese der oberen Liste "**Konstruktion ist enthalten in folgenden Katalogen**" hinzu. Die Konstruktion wird allen Katalogen in dieser Liste zugewiesen. Mit der Schaltfläche "**Katalog löschen**" können Sie den markierten Katalog aus der Liste entfernen (um einen Katalog aus der *Datenbank* zu löschen müssen Sie den Dialog "[Kataloge bearbeiten](#)" verwenden).

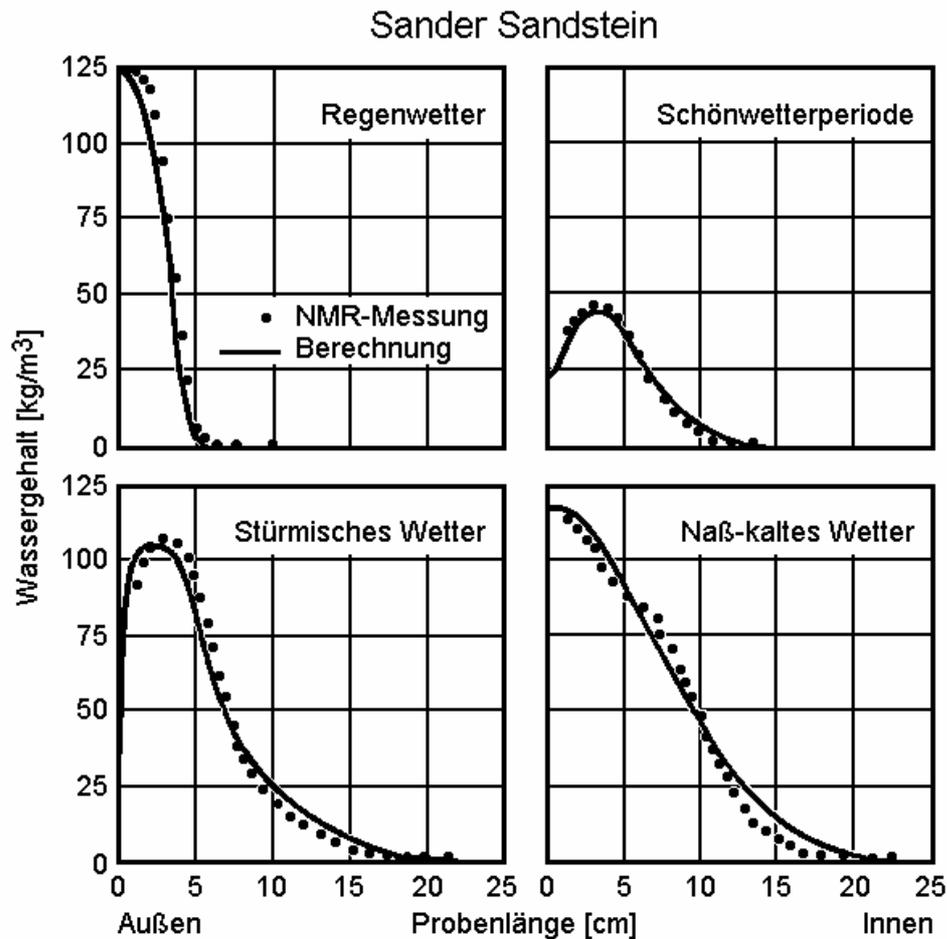
Die Konstruktion wird der Datenbank hinzugefügt, sobald Sie den Dialog mit der Schaltfläche "OK" schließen.

Weiter mit [Details / WUFI](#)

Zum [Überblick über die Dialogstruktur von WUFI](#)
Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Details / WUFI

WUFI ist ein Computerprogramm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in mehrschichtigen Bauteilen. Es wurde bereits vielfach durch Vergleich mit experimentellen Ergebnissen validiert (vgl. Bild).



Dennoch hat auch WUFI seine Grenzen. Wie bei jedem Werkzeug, so sollten Sie auch bei der Verwendung von WUFI eine Vorstellung davon haben, was damit möglich ist und was nicht.

Hilfe_Hintergrunde_C

\$ Details / WUFI

+ 5999

K

eindimensional;Salz;Schichtgrenze;ideal
 Schichtgrenze;Wurzelzeit;Hysterese;Enthalpieströme;Gitter;finite
 Volumen;Iteration;Konvergenzfehler;Zeitschrittweite;implizites Schema

leitende

Der Umstand, dass WUFIs Ergebnisse *von einem Computer berechnet* wurden, macht sie nicht unfehlbar. Sie sollten jedes Resultat kritisch auf Plausibilität prüfen. Es gibt zahlreiche Ursachen, die ein Rechenergebnis beeinträchtigen oder gar wertlos machen können (wobei die 'völlig falschen' Ergebnisse noch am harmlosesten sind, weil leicht erkennbar), insbesondere

- Programmfehler
- Eingabefehler
- mangelhafte Kenntnis der notwendigen Daten
- Grenzen des zugrundeliegenden mathematischen Modells
- numerische Probleme.

Es folgen einige Erläuterungen zu diesen Punkten.

Programmfehler

WUFI wurde ausführlich getestet und sollte keine Fehler mehr enthalten, die die Rechenergebnisse beeinträchtigen. Bei der Komplexität des Programms kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass unter bestimmten Umständen doch Probleme auftreten. Entsprechende Hinweise nimmt das IBP jederzeit dankbar entgegen.

Eingabefehler

Speichern Sie nach Beendigung aller Eingaben die Projektdaten ab, um einen status quo zu sichern und gehen Sie die einzelnen Dialoge in der Menüreihenfolge noch einmal durch, um sich zu vergewissern, dass überall die richtigen Einträge stehen. Lassen Sie sich im Dialog "Eingabedaten Übersicht" (im Menü "Ausgabe") einen Überblick über die verwendeten Materialkenndaten, den Bauteilaufbau und die sonstigen Daten zeigen.

Konsultieren Sie die ausführlichen Erläuterungen im Hilfetext, um sicherzustellen, dass WUFI unter den einzelnen [Materialkenndaten](#), [Übergangskoeffizienten](#) etc. das gleiche versteht wie Sie.

Beachten Sie beim Generieren von Tabellen mögliche Nebeneffekte.

Mangelhafte Kenntnis der notwendigen Daten

Oft sind für die Rechnung benötigte Materialkennwerte, Koeffizienten oder Randbedingungen nur ungenau bekannt. Versuchen Sie unter diesen Umständen nicht, ein 'präzises' Ergebnis zu erhalten.

Schätzen Sie die zu erwartende Variationsbreite der Eingabedaten ab und führen Sie einige repräsentative Rechnungen für diesen Bereich durch. Aus der Bandbreite der Ergebnisse können Sie ersehen, ob die Aspekte, die Sie interessieren, vielleicht nur unerheblich von Schwankungen der Eingabedaten abhängen und daher gleich brauchbar sind, oder ob eine nähere Bestimmung gewisser Eingabedaten unerlässlich ist.

Überhaupt sollten Sie auch in Fällen, in denen Sie auf 'zuverlässige' Daten zurückgreifen können, an Materialschwankungen, Ausführungsunterschiede etc. denken und den Einfluss von Änderungen der Eingangsdaten auf die Ergebnisse beachten.

Es kann instruktiver sein, die Auswirkung der Schwankungen eines geschätzten Eingangswerts auf die Ergebnisse zu kennen, als einen einzelnen mit 'präzisen' Eingangsdaten berechneten Zahlenwert zu haben, über dessen Zuverlässigkeit man nichts Genaues sagen kann.

Grenzen des mathematischen Modells

Die komplexen hygrothermischen Vorgänge in einem Bauteil werden erst nach gezielter Vereinfachung heutigen Rechenmöglichkeiten zugänglich. WUFI wurde für die wichtigsten bauphysikalischen Anforderungen ausgelegt [1], dabei musste jedoch eine Reihe von Einschränkungen hingenommen werden.

WUFI rechnet nur eindimensionale Vorgänge. Situationen, die nicht in hinreichender Näherung auf eindimensionale Verhältnisse zurückführbar sind, lassen sich damit nicht behandeln (z.B. geometrische Wärmebrücken, aufsteigende Feuchte etc.) und sind der zweidimensionalen Version WUFI 2D vorbehalten.

Einige Transportphänomene werden vernachlässigt (vgl. [Was ist WUFI?](#)), daher können z.B. Luftströmungen im Bauteil, Aufnahme drückenden Grundwassers etc. nicht berechnet werden.

Die gegenseitigen Einflüsse von Salz- und Wassertransport werden nicht berücksichtigt.

Die Schichtgrenze zwischen zwei kapillar leitenden Materialien (z.B. Putz auf Ziegel) wird als ideal leitend betrachtet, während in Wirklichkeit oft ein Übergangswiderstand vorhanden ist, der den Feuchtetransport teilweise erheblich herabsetzen kann. Er kann ggf. durch Einführen einer ca. 1 mm dicken Übergangsschicht mit entsprechend angepassten Flüssigtransportkoeffizienten simuliert werden [2].

Manche Materialien halten sich nicht an die vereinfachten Transportansätze. Holz und Beton verändern ihre Materialkennwerte in Abhängigkeit vom Feuchtezustand und ihrer Vorgeschichte - sie weichen beim Aufsaugen vom Wurzelzeitgesetz ab. Die Auswirkungen dieses Umstands können je nach Randbedingungen und Bauteilaufbau unerheblich oder gravierend sein. Hier kann nur ein Vergleich mit einem Freilandversuch die Zuverlässigkeit der Rechenergebnisse zeigen. Die Stoffkennwerte sollten unter ähnlichen Randbedingungen wie im praktischen Einsatz ermittelt werden.

Bei Materialien mit ausgeprägter Hysterese in der Feuchtespeicherfunktion kann die Annahme einer mittleren Feuchtespeicherfunktion ungenügend sein.

Die Enthalpieströme durch den Transport flüssigen Wassers im Temperaturgefälle werden nicht berücksichtigt, d.h. eine Oberflächenabkühlung eines Bauteils durch kaltes Regenwasser findet bei der Berechnung nicht statt. Der i.A. wesentlich

größere Abkühlungseffekt durch anschließende Verdunstung des aufgenommenen Regenwassers wird jedoch korrekt berücksichtigt.

Die Wärmeübergangskoeffizienten werden vereinfacht als konstant angesehen bzw. als proportional zur Windgeschwindigkeit behandelt. Zur sehr pauschalen Behandlung des Strahlungsaustauschs mit der Umgebung vgl. [Details / Oberflächenübergangskoeffizienten](#).

Eine ausführliche Diskussion des mathematischen Modells finden Sie in der WUFI zugrundeliegenden Dissertation [1].

numerische Probleme

Die Differentialgleichungen, die den Wärme- und Feuchtetransport beschreiben, lassen sich unter den bauphysikalisch relevanten Randbedingungen nur noch numerisch lösen.

Die Details des numerischen Verfahrens sollten eigentlich nur die Programmierer und den Computer bekümmern. Leider sind diese Verfahren heutzutage noch nicht weit genug fortgeschritten, als dass sie sich vollautomatisch und perfekt an jedes zu lösende Problem anpassen könnten. Sie werden als Benutzer nicht davor verschont, einen Teil der Arbeit zu übernehmen, die eigentlich der Computer selbst tun sollte: ein numerisches Gitter zu definieren und einen geeigneten Zeitschritt zu wählen.

- Hinweise zur Wahl des numerischen Gitters

Zum Zwecke der numerischen Rechnung muss die zu lösende Differentialgleichung diskretisiert werden, d.h. die gesuchten Temperatur- und Feuchtefelder werden nur an einzelnen diskreten Punkten des Bauteils ausgewertet. Die Differentialgleichung wird dazu durch ein geeignetes Verfahren auf ein System von algebraischen Gleichungen zurückgeführt, das diese Punkte miteinander verknüpft und der numerischen Behandlung zugänglich ist.

WUFI benutzt dazu das Verfahren der 'finiten Volumen'. Dieses formuliert die Differentialgleichungen zunächst als Bilanzgleichungen für Wärme und Feuchte und leitet die algebraischen Gleichungen so daraus ab, dass für jedes Element des numerischen Gitters die Wärme- und Feuchtebilanzen gewahrt bleiben, d.h. die Änderung einer physikalischen Größe im Gitterelement ist streng konsistent mit dem Zu- und Abfluss dieser Größe durch die Elementgrenzen ("konservative Diskretisierung").

Da die Bilanzen in jedem Gitterelement erhalten bleiben, gelten sie in der Summe auch für das ganze Bauteil. Und zwar unabhängig von der Wahl des Gitters - nicht erst im Grenzfall unendlich vieler Gitterpunkte.

Diese Verwendung eines *physikalischen* Prinzips, das auf diese Weise gewissermaßen in das Programm eingebaut ist, führt zu einem sehr *robusten* Verhalten von WUFI in Bezug auf die Wahl des Gitters.

Selbst grobe, weitmaschige Gitter können dadurch, dass sie ein grundlegendes physikalisches Prinzip beachten, kaum physikalisch völlig sinnlose Ergebnisse liefern.

Allerdings...

Es ist zu beachten, dass WUFI von den kontinuierlichen Wärme- und Feuchtefeldern immer nur die Werte an einzelnen Punkten kennt. Je weiter diese Punkte auseinander liegen, desto schlechter lässt sich aus ihnen auf die vollständigen Felder schließen. Und je schlechter das Feld bekannt ist, desto ungenauer lässt sich auf sein Verhalten im nächsten Zeitschritt schließen.

Außerdem...

Dazu kommt das Problem, dass zwei Transportgleichungen zu lösen sind: für Wärme und Feuchte. Sie müssen *nacheinander* gelöst werden, obwohl sie sich kontinuierlich gegenseitig beeinflussen (ein Kondensationsvorgang z.B. stellt eine Dampfsenke, eine Wasserquelle und eine Wärmequelle dar; die Wärmeleitfähigkeit kann feuchteabhängig sein, etc.).

Ein Lösungsschritt für die Temperatur kann daher die Änderung der Feuchte während der von ihm berechneten Zeitspanne nicht berücksichtigen - und begeht damit einen gewissen Fehler. Der darauffolgende Lösungsschritt für die Feuchte geht dann von einer leicht fehlerhaften Temperatur aus.

Indem nun nochmals der Lösungsschritt für die Temperatur wiederholt wird unter Verwendung des neuen Feuchtefeldes (was noch nicht ganz richtig ist, aber schon besser als die Verwendung des Feuchtefeldes vom Beginn des Zeitschritts), ergibt sich schon eine bessere Annäherung an die tatsächliche Temperatur. Mehrfaches abwechselndes Wiederholen dieser Schritte für Wärme und Feuchte (Iteration) nähert sich schliesslich ausreichend gut dem Endzustand an (Konvergenz).

Unter bestimmten Umständen kann diese Konvergenz aber so langsam vor sich gehen, dass WUFI die Iteration abbrechen muss (s. [Konvergenzfehler](#)). Dann erfüllen die bis dahin angenäherten Wärme- und Feuchtefelder zwar jeweils für sich die Bilanzgleichungen, ihre gegenseitige Abhängigkeit ist aber noch nicht voll zum Tragen gekommen.

Fast immer ist der dadurch begangene Fehler bauphysikalisch unerheblich. Bei einem zu groben Gitter kann es jedoch vorkommen, dass das schlecht dargestellte Temperaturfeld sich gar nicht so einstellen kann, wie das schlecht dargestellte Feuchtefeld es fordert - die Konvergenz ist stark erschwert oder gar unmöglich. In diesem Fall können beim Abbruch der Iteration stark fehlerhafte Felder übrigbleiben. Gelegentlich wird in solchen Fällen durch starke Schwankungen der einzelnen Zahlenwerte sogar die Numerik überfordert und produziert Ergebnisse, die die Bilanzgleichungen nicht mehr einhalten.

Solche Fälle sind äußerst selten, Sie sollten sie aber erkennen, wenn sie vorkommen. Zu diesem Zweck wird am Ende der Rechnung eine [Wasserbilanz](#) ausgegeben; bei der Filmdarstellung können Sie auch unmotiviert Zacken in den Kurven erkennen. Aus obigen Gründen sollten Sie dann zunächst untersuchen, ob die Probleme an der Wahl des Gitters liegen können und es entsprechend ändern. Erst dann hat es Sinn, strengere [numerische Parameter](#) zu verwenden (im Kapitel "[Fragen und Antworten](#)" finden Sie weitere Erläuterungen zu Konvergenzfehlern).

Leider gibt es bis jetzt keine gängigen Verfahren, die solche Probleme während der Rechnung selbständig erkennen - Sie müssen diesen Mangel durch Ihre eigene Einsicht in die vorliegende Aufgabenstellung beheben und das numerische Gitter selbst erstellen. Dazu gibt es keine festen Rezepte, aber ein paar Faustregeln:

Bei der Diskretisierung werden die Werte der berechneten Variablen in jedem Gitterelement als räumlich konstant angenommen. Daher sollte die Größe der einzelnen Elemente den lokalen Bedingungen gemäß so gewählt werden, dass diese Annahme hinreichend gut erfüllt ist. Die Elemente sollten also dort, wo große Temperatur- oder Feuchtegradienten zu erwarten sind, kleiner gewählt werden, während sie in ruhigeren Regionen größer sein dürfen, um Rechenaufwand zu sparen.

Verwenden Sie aber im Zweifelsfalle lieber mehr Elemente als zu wenige, solange Ihnen die Rechendauer nicht zu hoch wird.

Im Allgemeinen wird man steile Gradienten in der Nähe der Oberfläche einer Schicht erwarten, d.h. an den Innen- bzw. Außenoberflächen des Bauteils wegen äußerer Klimaeinwirkungen oder an inneren Materialgrenzflächen wegen Kondensationsvorgängen. In der Mitte einer Schicht werden dagegen geringere Variationen vorkommen.

In einem solchen Fall bietet es sich an, eine Schicht in zwei Teilschichten mit den gleichen Materialkennwerten, aber unterschiedlichen **Expansionsfaktoren** (>1 , <1) zu zerlegen. Auf diese Weise lässt sich eine gleichmäßige, nicht unbedingt symmetrische Expansion und darauffolgende Kontraktion der Gitterelemente erreichen.

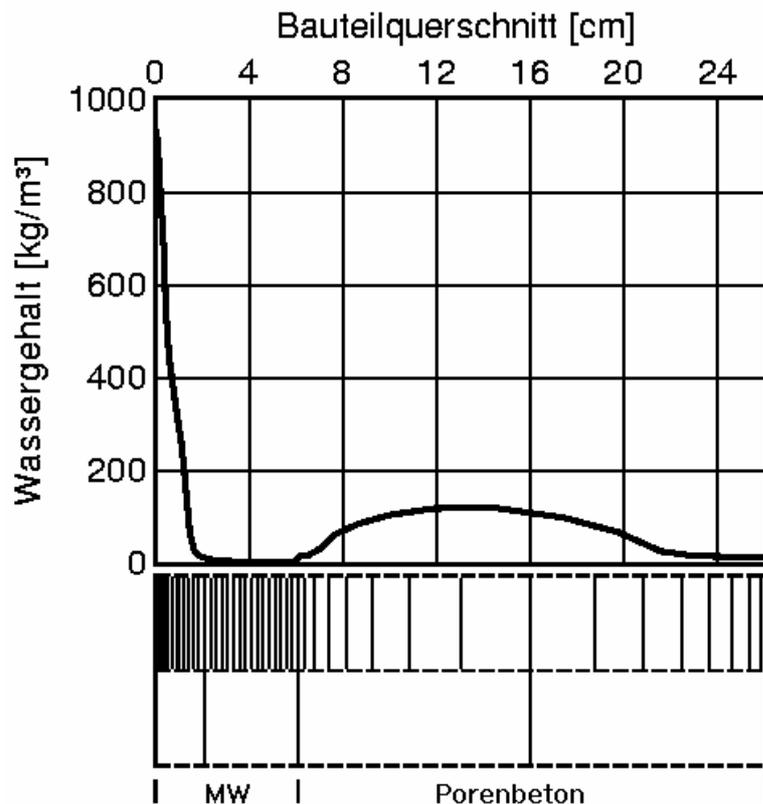
Aus numerischen Gründen sollten sich benachbarte Gitterelemente nicht zu sehr in der Größe unterscheiden. Daher sollten insbesondere die Grenzelemente zweier aneinandergrenzender Bauteilschichten von ähnlicher Größe gewählt werden.

Betrachten Sie einen Film der Rechnung und achten Sie darauf, ob in den Kurven deutliche Knicke auftreten. Verfeinern Sie an solchen Stellen ggf. das Gitter.

Um sicherzugehen, dass die Wahl des Gitters ausreichend war, können Sie dieselbe Rechnung mit verdoppelter Anzahl von Gitterelementen wiederholen. Erhalten Sie dasselbe Ergebnis, so war das erste Gitter bereits gut angepasst.

Beispiel 1:

Ein eindrucksvolles Beispiel für mögliche Gradienten an Schichtgrenzen bietet der Fall eines austrocknenden Porenbeton-Flachdaches mit Mineralwolle-Dämmung. In der kalten Jahreszeit wandert die Feuchte durch die diffusionsoffene Mineralwolle nach oben und kondensiert an der undurchlässigen Dachhaut. Und zwar in erheblichen Mengen, die nicht nur Probleme für die Dämmung, sondern auch für die Numerik mit sich bringen. In einem solchen Fall ist es unbedingt nötig, in der Nähe der Dachhaut genügend feine Gitterelemente zu wählen, während in der Porenbetonschicht ein relativ grobes Gitter genügt.

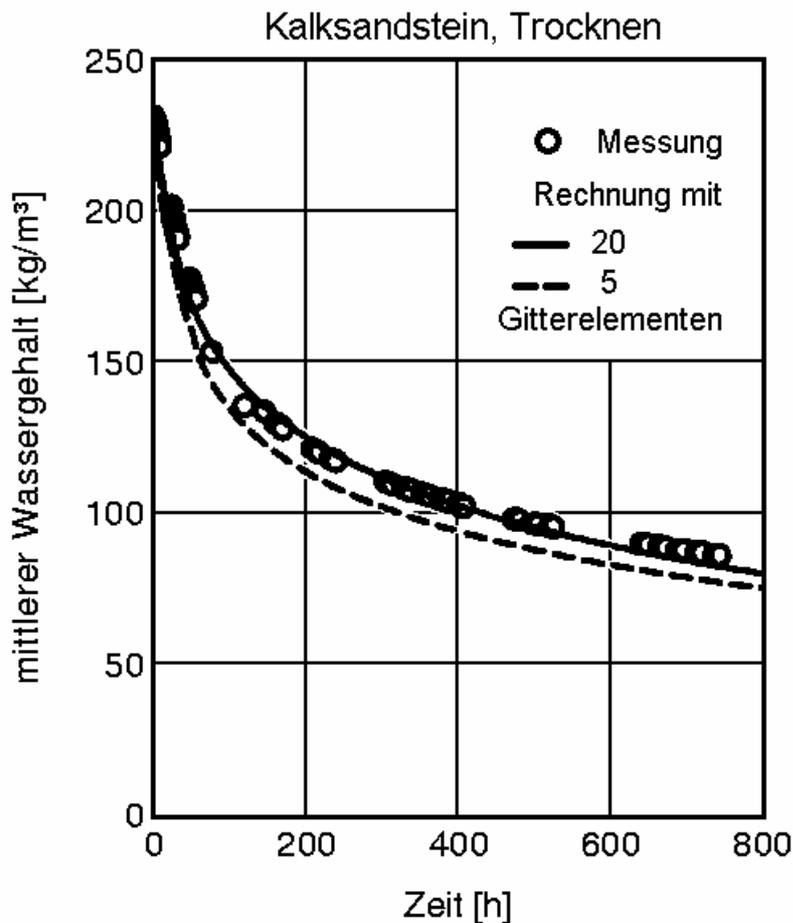


Beispiel 2:

Das folgende Bild zeigt den Einfluss eines zu groben Gitters auf die Rechenergebnisse. Eine 10 cm lange prismatische, an den Flanken und einer Oberfläche versiegelte Kalksandsteinprobe wurde mit Wasser gesättigt und trocknete dann in einem Klimaraum aus. In einer WUFI-Rechnung wurden Kapillartransportkoeffizienten und Wasserdampfübergangskoeffizienten so angepasst, dass die Messungen gut nachvollzogen werden konnten. Die Abbildung zeigt eine solche Rechnung mit 20 gleich großen Gitterelementen (durchgezogene Linie) und eine zweite mit denselben Kenndaten, aber nur 5 Gitterelementen.

Das letztere Gitter ist offenbar zu grob. Beachten Sie aber auch, dass trotz der eigentlich bemerkenswert kleinen Anzahl von 5 Gitterelementen die Ergebnisse nicht völlig falsch sind!

Anmerkung: die äquidistanten Gitter mit 20 und 5 Elementen wurden hier nur zum Zwecke des Beispiels verwendet. Eine bessere Wahl wäre ein expandierendes Gitter mit engen Elementen an der trocknenden Oberfläche, wo ein großer Feuchtegradient auftritt, und größeren Elementen an der versiegelten Oberfläche.



- Hinweise zur Wahl des Zeitschritts

Auch die zeitliche Entwicklung des Bauteils muss für die numerische Behandlung diskretisiert werden - die Temperatur- und Feuchtfelder werden nur für einzelne diskrete Zeitpunkte berechnet. Der Lösungsalgorithmus nimmt den momentanen Zustand der Felder und bestimmt daraus einen neuen Zustand für den nächsten Zeitpunkt, der eine mehr oder weniger große Zeitspanne später liegt.

Bei der Herleitung dieses Algorithmus tritt ein Zeitintegral über die abhängige Variable auf (Temperatur bzw. Feuchte), das durch einen numerisch behandelbaren Näherungsausdruck ersetzt werden muss. Dazu ist wiederum die Kenntnis des Zeitverlaufs dieser Variablen nötig - der aber ja erst berechnet werden soll.

Es müssen folglich Annahmen über diesen Zeitverlauf getroffen werden. Deren Wahl bestimmt das weitere Verfahren.

Die einfachste Wahl ist die Annahme, die Variable habe an jedem Gitterpunkt während des Zeitschritts stets denselben Wert wie an dessen Anfang - und springe an dessen Ende 'plötzlich' auf den neu berechneten Wert. Beispiel: man bestimmt aus dem momentanen Temperaturfeld die Wärmeströme zwischen einem Gitterpunkt und seinen beiden Nachbarn. Man nimmt dann an, dass diese Wärmeströme während des Zeitschritts unverändert fließen und berechnet aus diesem Wärmegewinn oder -verlust die neue Temperatur für den Gitterpunkt. Da in die Berechnung also nur der schon bekannte Zustand der beiden Nachbarpunkte eingeht, läßt sie sich jederzeit für jeden einzelnen Gitterpunkt getrennt durchführen. Dies ist das explizite Verfahren.

Andererseits kann man dem Zeitschritt diejenigen Werte der Variablen zugrundelegen, die diese am Ende des Zeitschritts annehmen werden. Das hat nichts mit Hellseherei zu tun, sondern mit der Lösung eines Gleichungssystems. Die Endtemperatur des bereits betrachteten Gitterpunkts hängt von den Wärmeströmen ab, die sich wiederum nach den Endtemperaturen der Nachbarpunkte einstellen, welche sich wieder nach den Endtemperaturen *ihrer* Nachbarpunkte richten etc. etc. Beiderseits ist diese Kette durch die vorgegebenen Randbedingungen begrenzt, und das Ganze bildet ein Gleichungssystem: es existiert eine eindeutige Lösung, die aber nur gefunden werden kann, indem die Aufgabe für alle Punkte simultan gelöst wird. Dies ist das implizite Verfahren.

Setzt man die Variablen während des Zeitschritts gleich dem Mittel aus ihrem Anfangs- und Endwert (was dem Mittelwert bei einer linear gleichmäßigen Änderung entspricht), erhält man das weit verbreitete Crank-Nicolson-Verfahren. Außerdem sind noch andere Verfahren möglich.

Das explizite Verfahren ist das einfachste. Seine Stabilität setzt aber voraus, dass die Zeitschrittweite unter einer bestimmten Obergrenze liegt, welche mit der Feinheit der räumlichen Diskretisierung zusammenhängt. Bei hoher Ortsauflösung werden dadurch sehr kleine Zeitschritte erzwungen, die einen erheblichen, oft nicht mehr tragbaren Rechenaufwand nach sich ziehen.

Das implizite Verfahren ist von vorneherein etwas aufwendiger, da bei jedem Schritt ein ganzes Gleichungssystem gelöst werden muss. Es hat aber den großen Vorteil, dass es für *alle* Zeitschrittweiten grundsätzlich stabil ist. Der Rechenaufwand sinkt daher erheblich durch die Möglichkeit, wesentlich größere Zeitschritte ohne numerischen Nachteil verwenden zu können.

Das Crank-Nicolson Verfahren ist von höherer Ordnung und damit theoretisch präziser als die anderen beiden. Im Falle nichtlinearer Transportkoeffizienten ist es jedoch anfällig für numerische Schwingungen, welche physikalisch unplausible Ergebnisse erzeugen können. Für bauphysikalische Anwendungen, bei denen oft nur mit begrenzter Genauigkeit bekannte Materialkennwerte und Randbedingungen zur Verfügung stehen, genügen außerdem Verfahren niedrigerer Ordnung völlig.

Aus diesen Gründen verwendet WUFI das implizite Verfahren (welches zur Unterscheidung von teil-impliziten Verfahren wie Crank-Nicolson auch "voll implizit" heißt).

Das implizite Verfahren hat gegenüber den beiden anderen noch den Vorteil, dass es bei grossen Zeitschritten eine physikalisch besser begründete Näherung ist: die Änderung einer Variablen bei konstanten Randbedingungen tendiert zu einem exponentiellen Verhalten; mit seiner stärkeren Änderung zu Beginn und schwächeren Änderung zu Ende des Zeitschritts entspricht dieses Verhalten eher dem impliziten Verfahren als dem linearen Verlauf bei Crank-Nicolson oder gar dem konstanten Verhalten beim expliziten Verfahren. Bei hinreichend kurzen Zeitschritten verhält sich allerdings jede physikalische Größe linear - und wird dann durch Crank-Nicolson besser erfasst.

Beispiel 1:

Eine 36.5 cm dicke, als homogen angenommene Ziegelwand befindet sich anfangs auf einer konstanten Temperatur von 30 °C. Zum Zeitpunkt $t=0$ wird die Temperatur der Umgebungsluft plötzlich auf 10 °C gesenkt.

Die folgende Aufstellung zeigt die Temperatur in der Mittelebene der Wand nach 20 Stunden, berechnet mit 50 äquidistanten Gitterelementen und Zeitschritten zwischen 0.1 und 10 Stunden, verglichen mit der exakten Lösung:

exakt 18.5 °C

WUFI:

0.1 18.5 °C

0.5 18.6 °C

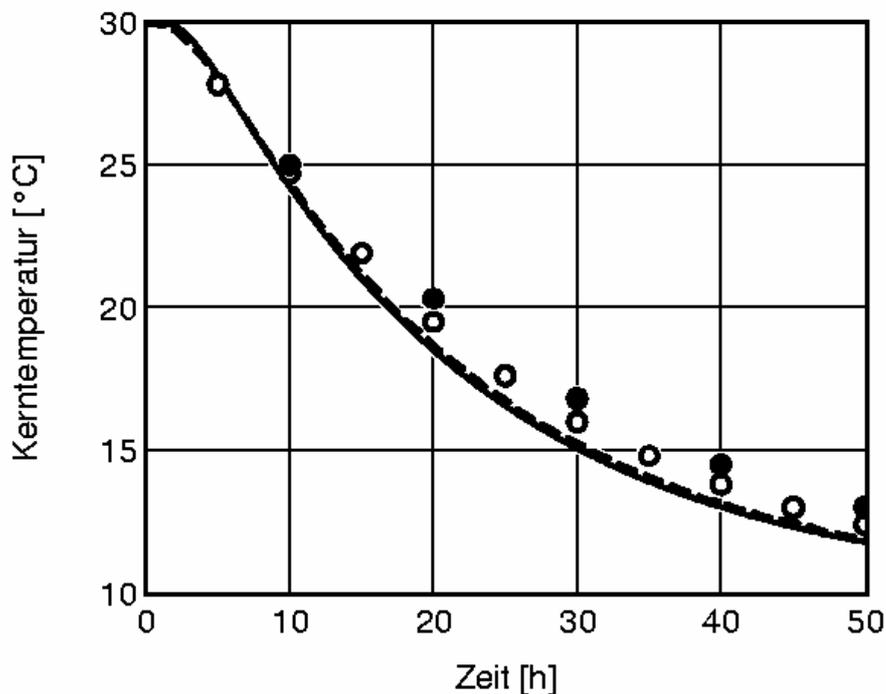
1 h 18.7 °C

5 h 19.5 °C

10 h 20.3 °C

Bei sehr kurzen Schrittweiten ist das Ergebnis praktisch exakt; auch bei einer Schrittweite von einer Stunde ist die Übereinstimmung noch sehr gut. Mit zunehmender Schrittweite werden die Änderungen der Temperaturverhältnisse *während* des Zeitschritts allerdings immer weniger gut numerisch erfasst.

Ziegelwand, Auskühlung



Das Diagramm zeigt den exakten Verlauf der Temperatur in der Mittelebene der Wand als durchgezogene Linie, die Rechnung mit einstäündigem Zeitschritt als gestrichelte Linie, und die Rechnungen mit 5- bzw. 10stündigen Zeitschritten als Kreise bzw. Punkte.

Beispiel 2:

Mit einem prismatischen, an den Flanken und einer Stirnfläche versiegelten Probestück Baumberger Sandstein wird ein Saugversuch durchgeführt. Die offene Stirnfläche der Probe wird dazu vollständig mit Wasser benetzt (indem der 'Regen' in der Klimadatei auf einen sehr hohen Wert gesetzt wird).

Der Saugversuch läuft über verschiedene Zeitspannen und mit verschiedenen Zeitschrittweiten, dann wird aus der aufgenommenen Wassermenge der Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) bestimmt.

Es wurden 100 äquidistante Gitterelemente verwendet, verteilt auf 6 cm bzw. 20 cm Probenlänge. Diffusionstransport wurde nicht berücksichtigt.

Der numerisch exakte w-Wert für die hier verwendeten Flüssigtransportkoeffizienten beträgt $0.0426 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{s}}$ (berechnet nach einer Methode, die von Gitterweiten und Zeitschritten unabhängig ist).

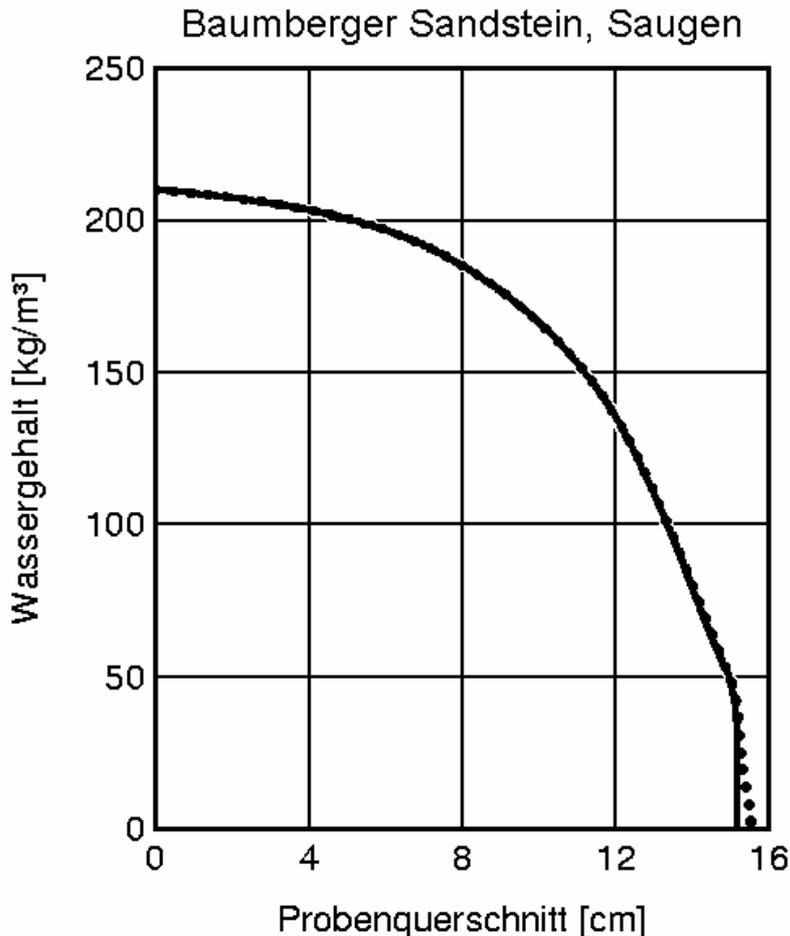
Zeitschritt [h]	w-Wert [$\text{kg/m}^2\sqrt{\text{s}}$] nach	
	10 h	100 h
0.5	0.0427	0.0428
1	0.0426	0.0428
2	0.0424	0.0428
5	0.0419	0.0427
10	0.0408	0.0426
20	-	0.0425
50	-	0.0419
100	-	0.0408

Die Abhängigkeit des Ergebnisses von der Wahl der Zeitschrittweite ist bei diesem Beispiel nur sehr gering.

Die Angabe von drei signifikanten Stellen dient hier natürlich nur zum Vergleich der Rechenergebnisse - aufgrund von Unsicherheiten in den gemessenen Flüssigtransportkoeffizienten mag der tatsächliche w-Wert der Probe ein wenig von diesen Ergebnissen abweichen.

Die beiden verschiedenen Berechnungsintervalle dienen gleichzeitig dazu, das Aufsummieren von Fehlern zu illustrieren (s.u.).

Das Diagramm zeigt das Saugprofil nach 100 Stunden. Die exakte Lösung ist als durchgezogene Linie gezeichnet, die WUFI-Rechnung als gepunktete Linie. Die Übereinstimmung ist beinahe perfekt, lediglich im unteren Teil der Kurve zeigt sich, daß WUFIs endliche Gitterauflösung keine beliebig steilen Feuchtegradienten darstellen kann.



Bezüglich der Wahl der Zeitschrittweite gibt es noch einen nichtnumerischen Aspekt. WUFI nimmt an, dass die aus der Klimadatei gelesenen Randbedingungen während eines Zeitschritts konstant bleiben. Dies ist bei natürlichem Wetter nur in mehr oder weniger guter Näherung der Fall. Der Benutzer sollte sich jeweils überlegen, ob die Gültigkeit dieser Näherung auch für den jeweils vorliegenden Fall vorausgesetzt werden kann.

Für bauphysikalische Zwecke erweist sich eine Schrittweite von einer Stunde als im Allgemeinen ausreichend. Das ist ein glücklicher Umstand, da gemessene Wetterdaten meist nicht in einer höheren zeitlichen Auflösung als in Stundenmittelwerten vorliegen.

Kürzere Zeitschritte sollten nur in speziellen Fällen erforderlich sein. Die Brauchbarkeit längerer Zeitschritte ist im Einzelfall zu untersuchen. Sie sind auf alle Fälle dann zu vermeiden, wenn Strahlungsgewinne eine merkliche Rolle spielen.

Die Sonneneinstrahlung weist einen sehr ausgeprägten Tagesgang auf. Kurzzeitige Schwankungen der Einstrahlung - z.B. wegen vorbeiziehender Wolken - wirken sich wegen der hygrothermischen Trägheit eines Bauteils nicht weiter aus und dürfen bei der Mittelwertbildung 'verschliffen' werden. Die systematische Änderung der Einstrahlungsintensität über mehrere Stunden hingegen wird von der Trägheit des Bauteils nicht mehr abgedämpft und führt zu entsprechenden Temperaturgängen. Wegen der exponentiellen Abhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks des Wassers

von der Temperatur sollten auch kürzerfristige *Temperatur*spitzen nicht weggemittelt werden - eine Mitteltemperatur führt zu einer zu geringen Verdunstung [1].

Ähnliches gilt für den Regen: bei einem einigermaßen saugfähigen Bauteil spielt die hinreichend genau erfaßte Regendauer möglicherweise eine entscheidende Rolle für die Feuchtebilanz; ein über 24h verteilter mittlerer Regen würde wahrscheinlich zu völlig falschen Rechenergebnissen führen.

In anderen Fällen - z.B. Diffusionsrechnungen in beschatteten, nicht berechneten Bauteilen - kann die Verwendung von Tages- oder gar Monatsmittelwerten durchaus angebracht sein.

Liegen die Randbedingungen als Stundenmittelwerte vor, so genügt eine Zeitschrittweite von ebenfalls einer Stunde - kleinere Schritte bringen keinen Vorteil.

Wollen Sie überprüfen, ob Ihre Wahl des Zeitschritts angemessen ist, so führen Sie auch Rechnungen mit abgeänderten Zeitschritten aus - die Ergebnisse sollten davon nicht merklich abhängen.

- Aufsummierte und gedämpfte Fehler

Ein Bauteil, das periodischen Randbedingungen ausgesetzt ist, strebt einem "eingeschwungenen" Zustand zu, d.h. eigentlich einer Folge von Zuständen, die sich mit der Periode der Randbedingungen wiederholt. Dieser eingeschwungene Zustand ist unabhängig davon, mit welchen Anfangsbedingungen das Bauteil 'gestartet' wurde - es hat seinen früheren Zustand völlig vergessen.

Diese Vergesslichkeit gilt auch für 'fehlerhafte' Zustände: wenn im Laufe der Rechnung ein Zustand nicht korrekt berechnet wird (z.B. wegen eines [Konvergenzfehlers](#)), schwinden seine Nachwirkungen zusehends, bis der weitere Verlauf der Rechnung so abläuft, als sei der Fehler nie passiert.

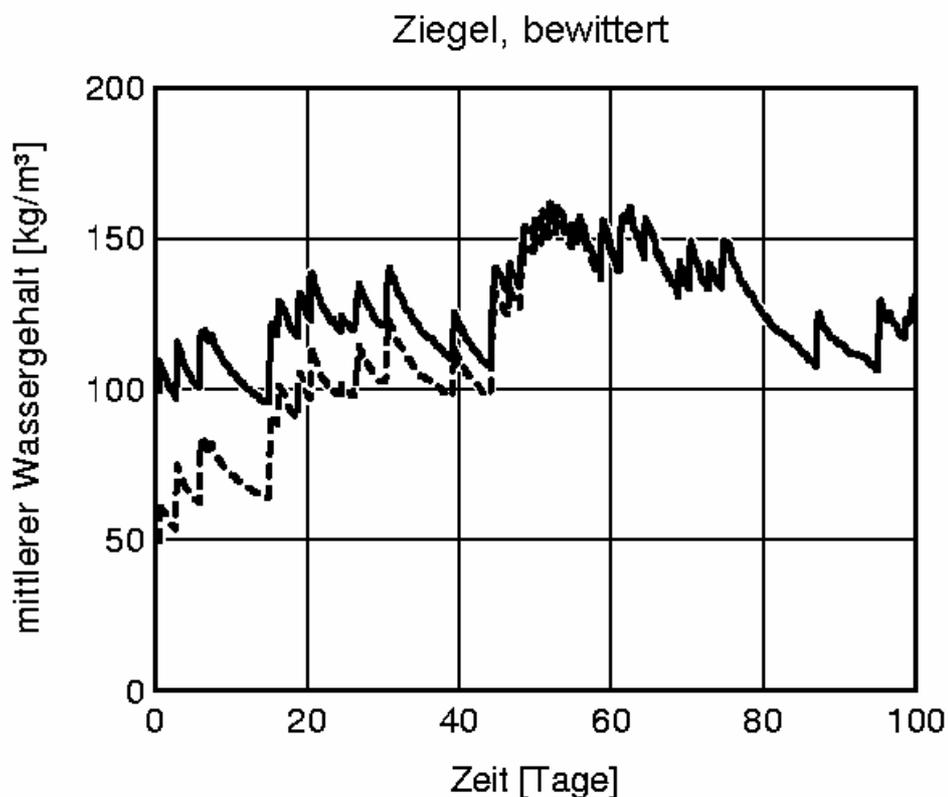
Das natürliche Wetter ist zwar nicht streng periodisch, aber es führt doch auf längere Sicht zu einem 'typischen' Zustand des Bauteils, der auch eine gewisse Vergesslichkeit aufweist.

Es muss also keineswegs so sein, dass numerische Ungenauigkeiten sich stets aufsummieren und nach hinreichend langer Rechnung das Ergebnis völlig bedeutungslos machen. Im Gegenteil: je länger die Rechnung dauert, um so weniger Auswirkungen haben frühere Fehler. Dies ist schlicht eine Folge des natürlichen physikalischen Verhaltens eines Bauteils.

Das gilt freilich nur, solange die Fehler nicht systematisch oder regelmäßig auftreten und die Rechendauer hinreichend lang gegenüber der Gedächtnisspanne des Bauteils ist. Eine über Jahre hinweg austrocknende massive Betonwand wird sehr lange keinen eingeschwungenen Zustand erreichen - und da das Austrocknen ein Vorgang ist, der stets in einer Richtung abläuft, werden eventuell auch die Fehler stets in gleicher Weise auftreten und sich vielleicht doch anhäufen.

Beispiel:

Das Diagramm zeigt den Verlauf des mittleren Wassergehalts eines Fassaden-Testelements mit unverputztem Vollziegelmauerwerk (Wandstärke 24 cm), das dem reichlichen Holzkirchner Schlagregen ausgesetzt wurde. Die durchgezogene Linie stellt eine WUFI-Rechnung mit einem über den Querschnitt konstanten Anfangswassergehalt von 100 kg/m^3 (10 Vol.-%) dar. Die gestrichelte Linie zeigt das Ergebnis einer anderen Rechnung mit einem Anfangswassergehalt von 50 kg/m^3 (5 Vol.-%). Der trockenere Ziegel saugt während der Regenperioden mehr Wasser auf, so daß die mittleren Wassergehalte der beiden Proben nach ca. 50 Tagen dieselben sind.



Fazit

Diese Erläuterungen sollten Ihnen zeigen, dass WUFI zwar in seinen Rechnungen eine oft bemerkenswerte Stabilität aufweist, dass es trotzdem aber auch seine Grenzen hat und zudem auf eine gewisse Einsicht des Benutzers in spezifische numerische und physikalische Gegebenheiten angewiesen ist.

Sie werden Ihnen hoffentlich helfen, WUFI in dem ihm gesteckten Rahmen erfolgreich anzuwenden.

Literatur:

- [1] Künzel, H.M.:
Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten
Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten.
Dissertation Universität Stuttgart 1994
- [2] Holm, A., Krus, M., Künzel, H.M.: Feuchtetransport über Materialgrenzen im
Mauerwerk. Bauinstandsetzen 2 (1996), H. 5, 375 - 396.

Weiter mit [Fragen und Antworten](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

F&A

Fragen und Antworten

- 1: **Woher Materialkenndaten?**
- 2: **Woher Klimadaten?**
- 3: **Koordinaten bei Umrechnung von Strahlungsdaten**
- 4: **Volumenprozent, Massenprozent**
- 5: **Relative Feuchte in einem Bauteil**
- 6: **Interne Feuchtespeicherfunktion**
- 7: **Wassergehalt in einer Luftschicht**
- 8: **Konvergenzfehler aufgrund einer diffusionsoffenen Schicht**
- 9: **Wassergehalt an einer Monitorposition**
- 10: **Flüssigtransportkoeffizienten einer Farbschicht**
- 11: **Regenabsorptionszahl einer unverputzten Sandsteinwand**
- 12: **Feuchtetechnische Kennwerte ökologischer Dämmstoffe**
- 13: **Typische Anfangswassergehalte**
- 14: **Hydrophobierte Fassade**
- 15: **Simulation eines Saugversuchs**
- 16: **Saugversuch mit begrenztem Wasserangebot**
- 17: **Warum nie 100% relative Feuchte im Bauteil?**
- 18: **100% relative Feuchte an der Fassade**
- 19: **Kriterien zur Bewertung der hygrothermischen Tauglichkeit**
- 20: **Vorgehängte Fassaden**
- 21: **Unrealistischer Wärmestrom durch die Außenoberfläche?**
- 22: **Aktuellere Klimadaten?**
- 23: **Mittelung der Leitfähigkeiten an Elementgrenzen**
- 24: **Richtungsbezogene Umrechnung der Strahlungsdaten**

Q&A

\$ Fragen und Antworten

+ 6010

K F&A;Fragen;Antworten;Materialkenndaten;thermische Daten;hygrische Daten;Wärmeleitfähigkeit;Diffusionswiderstandszahl;DIN 4108;DIN EN 12524;Rechenwerte;NIST;Feuchtespeicherfunktion;Flüssigtransportkoeffizient;wf;w80;w-Wert;Klimadaten;Klima (Holzkirchen);Testreferenzjahre;TRY;DWD;Klimaregionen;geographische Länge;geographische Breite;Strahlungsdaten;Massenprozent;Volumenprozent;relative Feuchte;Wasserdampfpartialdruck;Wasserdampfättigungsdruck;ps;Moleküllage;Kapillarkondensation;Meniskus;Kapillarradius;Porenstruktur;Porengrößenverteilung;interne Feuchtespeicherfunktion;Luftschichten;Konvektion;Turbulenz;Kapazitätsterm;Wasserbilanz;Konvergenzfehler;Farbe;Regenwasserabsorptionszahl;ökologisches Dämmmaterial;hydrophobiert;Saugversuch;Glaser;Schimmelpilz;belüftete Vorhangfassade;Belüftungsebene;Wärmestrom;Wärmequelle;Gegenstrahlung;nächtliche Unterkühlung;Strahlungskühlung;Globalstrahlung;Diffusstrahlung;Sonnenstand;Sonnenhöhe;Azimut

(1):

Wo kann ich Kenndaten für Materialien finden, die nicht in der Datenbank enthalten sind?

Leider ist es oft schwierig, geeignete Kenndaten für feuchtetechnische Simulationen zusammenzustellen, da es bisher keine größeren standardisierten Datensammlungen dieser Art gibt. Während thermische Kenndaten in zahlreichen Quellen aufgelistet werden, sind feuchtetechnische Kenndaten nur vereinzelt zu finden.

Eine Sammlung von Rechenwerten für [Wärmeleitfähigkeiten](#) (unter Berücksichtigung eines Zuschlags für den praktischen Feuchtegehalt) und von [Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen](#) ist in der Norm DIN 4108-4 aufgeführt und auch in zahlreichen Lehrbüchern zur Bauphysik wiedergegeben. Die neue DIN EN 12524 enthält eine Reihe von thermischen und einfachen hygrischen Bemessungswerten für Baumaterialien.

Eine umfangreiche Liste von "NIST Heat Transmission Properties of Insulating and Building Materials" ist online unter <http://srdata.nist.gov/insulation/> zugänglich.

[Feuchtespeicherfunktionen](#) und [Flüssigtransportkoeffizienten](#) können aus den Standardkennwerten w_f , w_{80} und w -Wert abgeschätzt werden, welche ebenfalls in einigen Lehrbüchern (zumindest für ausgewählte Materialien) und Datenblättern zu finden sind oder relativ leicht gemessen werden können.

Gelegentlich tauchen einzelne Daten verstreut in der Fachliteratur auf, sind aber nirgends systematisch erfaßt.

Manchmal kann auch der Hersteller Kenndaten zur Verfügung stellen. Einige Laboratorien (unter anderem das IBP) können die benötigten Daten messen, sofern Materialproben vorliegen.

(2):

Woher bekomme ich Wetterdaten?

Stündliche Wetterdaten inklusive Regen sind noch schwieriger zu besorgen als Materialkenndaten.

Das IBP liefert zusammen mit WUFI ein Jahr mit stündlichen Wetterdaten aus Holzkirchen (die Datei kann auch von den Webseiten des IBP heruntergeladen werden). Diese Daten von 1991 können als einigermaßen repräsentativ für die Holzkirchner Gegend angesehen werden.

Das IBP wird auch Holzkirchner Daten für ein 'kaltes' und ein 'warmes' Jahr zur Verfügung stellen, die dann mit WUFI verwendet werden können.

Ferner werden Wetterdaten für 3 Schweizer Orte (Zürich, Davos, Locarno, jeweils ein warmes und ein kaltes Jahr) und, in der englischen Version, für 53 nordamerikanische Städte mit der professionellen Version von WUFI mitgeliefert.

Eine andere Quelle für stündliche Wetterdaten stellen die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes DWD dar, die für alle 12 Klimaregionen der alten Bundesländer erhältlich sind. Sie sind allerdings nicht billig, und da sie hauptsächlich für die Untersuchung von Heiz- und Lüftungssystemen konzipiert sind, ist der simulierte Regen in diesen Daten nicht so realistisch, wie es für

hygrothermische Simulationen mit Schlagregen wünschenswert wäre.
Die neuentwickelten Testreferenzjahre des DWD überdecken ganz Deutschland, enthalten aber keine Regendaten mehr.

Wenn das Verhalten eines bestimmten Objekts untersucht werden soll, kann es ohnehin notwendig sein, die Wetterdaten vor Ort zu erfassen.

(3):

Ich versuche Wetterdaten für einen bestimmten Ort zusammenzustellen. Mir ist aufgefallen, daß WUFI's Wettergenerator zur Umrechnung der Strahlungsdaten die geographischen Koordinaten (Länge und Breite) benötigt. Kann ich die anderswo gemessenen Strahlungsdaten für meinen Ort umrechnen, indem ich geeignete Koordinaten eingebe?

Nein. Um die Einstrahlung der Sonne auf eine Oberfläche mit bestimmter Orientierung und Neigung richtig zu berechnen, muß WUFI die Höhe und Richtung der Sonne zum Zeitpunkt der Messung bestimmen; dazu braucht es die Koordinaten des Ortes, an dem die Messung stattfand. Wenn Sie andere Koordinaten eingeben, sind die berechneten Sonnenstände nicht mit den Meßdaten konsistent und die Umrechnung liefert fehlerhafte Ergebnisse.

(4):

WUFI liefert mir den Wassergehalt der simulierten Wand in kg/m³ oder in Volumenprozent. Ich brauche die Ergebnisse aber in Massenprozent. Wie muß ich die Ergebnisse umrechnen?

WUFI gibt den Wassergehalt üblicherweise als "Wasserdichte" aus, d.h. wieviele kg Wasser in einem m³ Baumaterial enthalten sind.
Eine Ausgabe in Volumenprozent sagt Ihnen, wieviele m³ Wasser in einem m³ Baumaterial enthalten sind (ausgedrückt in Prozent).
Eine Ausgabe in Massenprozent sagt Ihnen, wieviele kg Wasser in einem kg trockenen Baumaterials enthalten sind (ausgedrückt in Prozent). Bitte beachten Sie, daß der Wassergehalt in Massenprozent ohne weiteres 100% übersteigen kann, wenn das trockene Material eine geringe Dichte aufweist.

Mit

m_W : Masse des Wassers im Bauteil
r_W : Dichte von Wasser (= 1000 kg/m³)
V_W : Volumen des Wassers im Bauteil
m_B : Masse des Bauteils
r_B : Rohdichte des (trockenen) Bauteils
V_B : Volumen des Bauteils

erhalten wir:

Wassergehalt wie von WUFI ausgegeben:

$$u = m_W / V_B \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Wassergehalt in Volumenprozent ausgedrückt:

$$\begin{aligned}u_v &= V_W / V_B * 100 \\ &= (m_W / r_W) / V_B * 100 \\ &= (m_W / V_B) / r_W * 100 \\ &= u * 100 / r_W \\ &= u * 100 / 1000 \\ &= u / 10\end{aligned}$$

Wassergehalt in Massenprozent ausgedrückt:

$$\begin{aligned}u_m &= m_W / m_B * 100 \\ &= m_W / (r_B * V_B) * 100 \\ &= (m_W / V_B) * (100 / r_B) \\ &= u * (100 / r_B) \\ &= u / (r_B / 100)\end{aligned}$$

Sie erhalten also den Wassergehalt in Volumenprozent, wenn Sie das WUFI-Ergebnis [kg/m³] durch 10 teilen.

Sie erhalten den Wassergehalt in Massenprozent, wenn Sie das WUFI-Ergebnis durch (Rohdichte des Bauteils / 100) dividieren.

(5):

Ich komme mit den WUFI-Ausgaben nicht zurecht. Was genau ist die 'relative Feuchte', und worauf bezieht sich diese 'relative Feuchte' innerhalb eines Bauteils?

In Luft ist die relative Feuchte das Verhältnis des tatsächlichen Wasserdampf-Partialdrucks p zum Sättigungsdampfdruck p_s . Wenn z.B. bei einer Lufttemperatur von 20°C (dann ist $p_s = 2340$ Pa) ein Dampfdruck von 1872 Pa herrscht, dann ist die relative Feuchte $1872 \text{ Pa} / 2340 \text{ Pa} = 0.8 = 80\%$.

In einem porösen Baumaterial herrscht eine rF von x %, wenn es Luft mit einer rF von x % so lange ausgesetzt war, bis es den Gleichgewichtszustand erreicht hat und keine Feuchte mehr aufnimmt oder abgibt. Die Feuchte in dem Material ist dann im Gleichgewicht mit der rF der Luft in den Porenräumen.

Bei einer rF von weniger als ca. 50% bedeutet das, daß sich eine molekulare Schicht mit einer Dicke von einer oder ein paar Moleküllagen an den Porenwänden angelagert hat; bei höheren relativen Feuchten tritt zusätzlich Kapillarkondensation auf.

Dabei passiert folgendes: die üblichen Formeln für den Sättigungsdampfdruck (wie

z.B. in der DIN 4108) gelten nur für ebene Wasseroberflächen. Über konkav gekrümmten Oberflächen, in denen die Wassermoleküle stärker gebunden sind, herrscht ein niedrigerer Sättigungsdampfdruck; dieser Effekt ist um so ausgeprägter, je stärker die Oberfläche gekrümmt ist.

In einer teilweise gefüllten Kapillare nimmt die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft die Gestalt eines Meniskus an, dessen Krümmung von den beteiligten Grenzflächenenergien und insbesondere vom Radius der Kapillare abhängt. Wenn das Luftvolumen in einer solchen Kapillare mit Luft gefüllt ist, deren Wasserdampfpartialdruck größer als der Sättigungsdampfdruck an der Meniskusoberfläche ist (wobei die rF in der Luft immer noch kleiner als 100% sein kann), dann ist die Luft in unmittelbarer Nähe des Meniskus übersättigt und Wasser kondensiert aus der Luft auf den Meniskus, d.h. die Kapillare füllt sich.

In einem porösen Material gibt es in der Regel eine breite Verteilung verschiedener Porengrößen. In den kleinsten Poren sind eventuelle Menisken so stark gekrümmt, daß in diesen Poren schon ab 50% relativer Feuchte in der Porenluft Wasser auf den Menisken kondensiert. Erst füllen sich die kleinsten Poren, und nach und nach auch die größeren Poren (mit immer schwächerer Krümmung der Menisken), bis eine Porengröße erreicht ist, für die – wegen des Porenradius und der entsprechend geringen Krümmung des Meniskus - der Sättigungsdampfdruck am Meniskus gleich dem Dampfdruck in der Porenluft ist. Auf diese Weise führt die Kapillarkondensation zu einem von der relativen Feuchte in der Porenluft abhängigen Flüssigwassergehalt, auch wenn diese rF unter 100% liegt. Die Wassermenge, die benötigt wird, die Poren bis zu diesem Punkt zu füllen, hängt von der Porenstruktur und der Porengrößenverteilung des Materials ab.

Die **Feuchtespeicherfunktion** beschreibt die Feuchtemenge, die auf diese Weise vom Baumaterial aufgenommen wird, wenn es Luft mit bestimmter relativer Feuchte ausgesetzt wird. Da dieser Zusammenhang zwischen rF und Feuchtegehalt weitgehend temperaturunabhängig ist, eignet sich eben die rF als eindeutiger Parameter zur Beschreibung des Feuchtegehalts eines Materials und ist deswegen so wichtig.

(6):

Wenn ich für ein Material keine Feuchtespeichrefunktion definiere, benutzt WUFI eine intern vorgegebene Feuchtespeicherfunktion. Wie sieht diese Funktion aus?

WUFI benötigt für jeden Zeitschritt ein definiertes Feuchtefeld (d.h. für jeden Gitterpunkt muß ein Wassergehalt gegeben sein), daher muß es auch jenen Materialien einen Wassergehalt zuweisen, die nominell keinen nennenswerten Wassergehalt haben (z.B. hydrophobierte Mineralwolle, Luftschichten etc).

Wenn vom Benutzer keine **Feuchtespeicherfunktion** vorgegeben wurde, benutzt WUFI daher die folgende intern vorgegebene Funktion:

$$w = a / (b - \text{phi}) + c$$

w: Wassergehalt [kg/m³]
phi: relative Feuchte [-]

Da phi für w=0 den Wert Null annehmen muß, folgt sofort

$$c = -a/b.$$

Die Konstanten a und b werden folgendermaßen bestimmt:

b wird auf 1.0105 gesetzt.

Der Wassergehalt bei *freier* Sättigung w_f entspricht einer relativen Feuchte von 1 (=100%). Da WUFI auch einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Wassergehalt und rF für Wassergehalte über der freien Sättigung benötigt, werden diesem Übersättigungsbereich relative Feuchten über 1 zugeordnet, und zwar bis $\phi_{\max} = 1.01$. Dieser Wert ϕ_{\max} ist erreicht, wenn der Wassergehalt die *maximale* Sättigung w_{\max} erreicht, welche wiederum von der **Porosität** bestimmt wird:

$$w_{\max} = \text{Porosität} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3.$$

Wir erhalten daher

$$w_{\max} = a / (b - \phi_{\max}) - a/b.$$

Auflösen nach a liefert:

$$a = w_{\max} \cdot b \cdot (b - \phi_{\max}) / \phi_{\max},$$

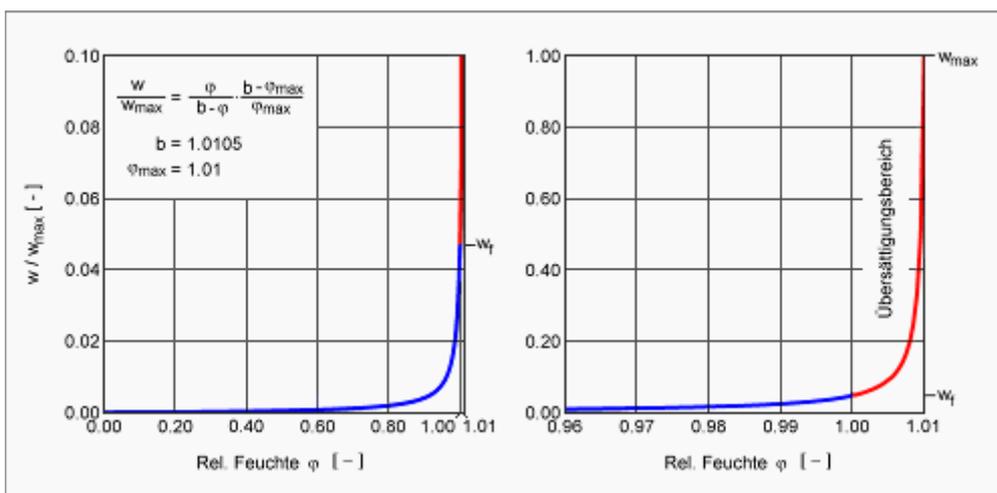
und somit:

$$w / w_{\max} = \phi / (b - \phi) \cdot (b - \phi_{\max}) / \phi_{\max}.$$

Insbesondere erhalten wir für $\phi=1$:

$$w_f / w_{\max} = 1 / (b - 1) \cdot (b - \phi_{\max}) / \phi_{\max} = 0.047.$$

Dieses 'Pseudomaterial' hat also eine freie Sättigung von $w_f = 0.047 w_{\max}$.



(7):

Ich habe eine WUFI-Rechnung mit einem Bauteilaufbau durchgeführt, der eine

Luftschicht enthält. Ich bekomme für die Luftschicht aber völlig unrealistische Wassergehalte. Was ist schiefgelaufen?

WUFI wurde entwickelt, um die hygrothermischen Vorgänge in porösen Baumaterialien zu simulieren. Die detaillierte Simulation von Wärme- und Feuchtetransport in Luftschichten (unter Berücksichtigung von Konvektion, Turbulenz etc.) ist wesentlich komplizierter und in WUFI nicht vorgesehen. Außerdem wäre es nicht sehr sinnvoll, diese grundsätzlich zwei- oder gar dreidimensionalen Vorgänge in einem eindimensionalen Simulationsprogramm zu implementieren.

Luftschichten sind daher nur näherungsweise der Simulation zugänglich, indem sie als 'poröses' Material behandelt werden. Man kann den durch Konvektions- und Strahlungseffekte zusätzlich verursachten Wärme- und Feuchtetransport durch Verwendung geeigneter effektiver **Wärmeleitfähigkeiten** und **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen** berücksichtigen.

Allerdings kann die **Feuchtespeicherfunktion** einer Luftschicht nur sehr unzureichend durch die Feuchtespeicherfunktion eines porösen Materials beschrieben werden. Letztere ist im wesentlichen temperaturunabhängig (und in WUFI als völlig temperaturunabhängig implementiert), so daß die funktionale Abhängigkeit des Feuchtegehalts der Luft von der relativen Feuchte *und der Temperatur* nicht wiedergegeben werden kann.

Außerdem setzt die interne Feuchtespeicherfunktion, die WUFI für Materialien ohne explizit definierte Feuchtespeicherfunktion verwendet, Kapillarkondensation im Material bereits bei relativen Feuchten unter 100% voraus, was für Luftschichten natürlich nicht zutrifft (sie orientiert sich an den Wassergehalten dichter Mineralwolle).

Aus diesen Gründen wird WUFI für Luftschichten unrealistisch hohe Wassergehalte ausgeben. Beachten Sie jedoch, daß WUFI die *relative Feuchte* als treibendes Potential für den Feuchtetransport benutzt und aus der sich einstellenden relativen Feuchte erst als *sekundäre* Größe den neuen *Wassergehalt* berechnet (über die Feuchtespeicherfunktion des betreffenden Materials).

Daher sollte das resultierende Profil der *relativen Feuchte* im allgemeinen einigermaßen realistisch sein, ihr zeitliches Verhalten wird lediglich sehr viel stärker gedämpft als in Wirklichkeit (die Feuchtespeicherfunktion wirkt als 'Speicherterm' für den Feuchtetransport in derselben Weise wie die Wärmekapazität für den Wärmetransport). Solange kurzzeitige Fluktuationen keine größere Rolle spielen, sollte der allgemeine Trend im Verhalten der relativen Feuchte nicht allzu unrealistisch sein.

Dies bedeutet auch, daß Größen, die von der *relativen Feuchte* in oder nahe der Luftschicht abhängen (z.B. Wachstumsraten von Schimmelpilzen etc.) realistischer bestimmt werden können als Größen, die primär vom Wassergehalt abhängen (z.B. Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität etc).

Bitte beachten Sie auch, daß die unrealistisch hohe 'Feuchtekapazität' einer Luftschicht auch andere Schichten beeinflussen kann. Wenn Sie sich z.B. für die Feuchteverteilung in einem Bauteilaufbau mit einer Luftschicht interessieren, nimmt die Luftschicht vielleicht (oder vielleicht auch nicht) mehr Feuchte auf als realistisch wäre, so daß weniger Feuchte für die Verteilung auf die übrigen Schichten übrigbleibt.

Sie können diese Probleme ein wenig mildern, indem Sie explizit eine etwas realistischere Feuchtespeicherfunktion für die Luftschicht definieren. Verwenden Sie zu diesem Zweck beispielsweise eine lineare Funktion wie

phi:	w:
0	0
1	wf

mit einem niedrigen Wert für w_f (die Numerik kommt eventuell mit besonders niedrigen Werten nicht zurecht, Sie werden ein wenig experimentieren müssen) (*). Auf diese Weise entfällt der starke Anstieg des Feuchtegehalts für hohe relative Feuchten, der für Kapillarkondensation in porösen Materialien, nicht aber für Luftschichten charakteristisch ist.

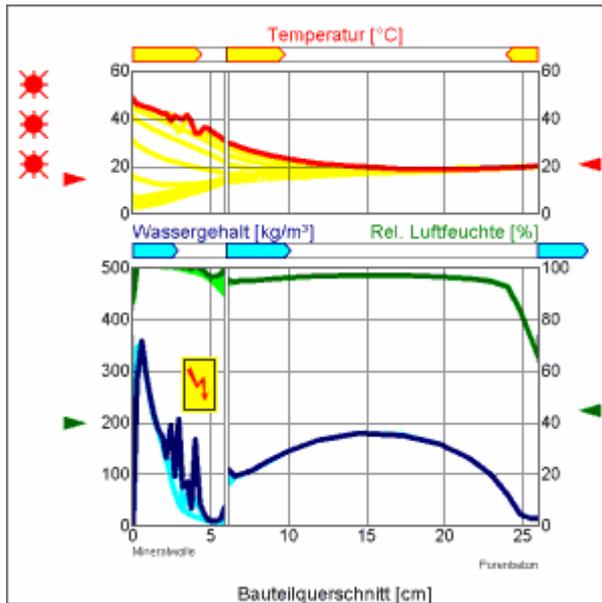
Bitte beachten Sie auch die nächste Frage zu einem verwandten Problem.

(*) Die Porosität und damit w_{\max} sollten aber auf einen hohen Wert gesetzt bleiben. Wenn der Wassergehalt die freie Sättigung w_f übersteigt, reduziert WUFI die Diffusionswiderstandszahl proportional zum Überschuss ($w - w_f$), um damit näherungsweise zu berücksichtigen, daß sich das Porenvolumen zunehmend mit Wasser füllt und der Dampftransport entsprechend verringert wird. Bei $w=w_{\max}$ erreicht die Dampfdurchlässigkeit schließlich Null (alle Poren sind vollständig gefüllt). Für diffusionsoffene Materialien wie Luftschichten oder Mineralwolle, in denen Feuchtetransport hauptsächlich als Dampftransport stattfindet, sollte w_{\max} daher auf einem realistischen Wert bleiben.

(8):

I habe eine WUFI-Rechnung durchgeführt, aber die Wasserbilanz stimmt nicht, egal ob ich das Gitter verfeinere oder ob ich strengere numerische Parameter benutze, wie es im Hilfetext vorgeschlagen wird. Was kann ich sonst noch tun?

Eine Situation, in der des öfteren ernsthafte [Konvergenzfehler](#) auftreten, ist ein Bauteil mit einer diffusionsoffenen Schicht (z.B. Luft oder Mineralwolle), in der sich viel Feuchtigkeit angesammelt hat ($rF \approx 100\%$) und die nun einem starken Temperaturgradienten ausgesetzt ist (z.B. aufgrund intensiver Sonneneinstrahlung). WUFI wurde ursprünglich nicht für die Behandlung solcher Fälle entwickelt, so daß gelegentlich die Numerik, welche hauptsächlich für die Behandlung massiver poröser Materialien ausgelegt ist, überfordert sein kann.



Wenn die im Hilfetext genannten Maßnahmen nicht helfen, können Sie noch eine alternative [Feuchtespeicherfunktion](#) versuchen. In der Datenbank sind die Feuchtespeicherfunktionen für Materialien wie Luft oder Mineralwolle nicht definiert, so daß WUFI eine intern vorgegebene Feuchtespeicherfunktion einsetzt (vgl. die vorhergehenden zwei Fragen).

Diese interne Feuchtespeicherfunktion nimmt an, daß für relative Feuchten über ca. 50% Kapillarkondensation eintritt, die zu immer höheren Feuchtegehalten führt, bis schließlich bei 100% rF die freie Sättigung erreicht ist. Das ist für Luftschichten oder hydrophobierte Mineralwolle allerdings nicht realistisch (während es z.B. für nicht hydrophobierte Mineralwolle durchaus zutreffend sein kann).

Da das Problem anscheinend hauptsächlich durch den hohen Wassergehalt verursacht wird, kann es durch Wahl einer anderen Feuchtespeicherfunktion mit niedrigeren Wassergehalten oft behoben werden.

Bitte beachten Sie, daß die *relative Feuchte* im Material von der speziellen Wahl der Feuchtespeicherfunktion relativ unabhängig ist, wie oben erläutert. Wenn Sie also an der *relativen Feuchte* in der Schicht interessiert sind, werden sich Ihre Ergebnisse dadurch nur geringfügig ändern (bitte führen Sie aber ein paar Testrechnungen mit verschiedenen Feuchtespeicherfunktionen durch, um es auch für Ihren konkreten Fall wirklich sicherzustellen), und wenn Sie am *Wassergehalt* interessiert sind, sollten Sie sich ohnehin nicht auf die interne Feuchtespeicherfunktion verlassen, sondern stattdessen gemessene Werte verwenden, die Ihr konkretes Material beschreiben.

Eine mögliche Wahl für die Feuchtespeicherfunktion ist in diesen Fällen die folgende:

phi:	w:
0	0
1	wf

Benutzen Sie einen niedrigen Wert für w_f (die Numerik kommt eventuell mit besonders niedrigen Werten nicht zurecht, Sie werden ein wenig experimentieren müssen) (*).

Diese lineare Funktion ist sogar insofern realistischer als die interne Funktion, als sie für $rF = 50..100\%$ keine Kapillarkondensation zeigt. Der Wassergehalt bleibt bis

$r_F = 100\%$ niedrig (wie es in Luft oder hydrophoben Materialien ja auch sein soll), während bei oder über 100% nach wie vor Kondensation zugelassen ist, die den Wassergehalt über w_f hinaus und bis maximal w_{max} erhöhen kann.

Wenn Sie insbesondere an Feuchteakkumulation durch Kondensation in solchen Materialien interessiert sind, bietet sich eine solche lineare Feuchtespeicherfunktion mit niedrigem w_f an: Sie wissen dann, daß jeder über w_f hinausgehende Wassergehalt durch Kondensation erzeugt worden sein muß. Sie können dann diesen Überschuß über w_f je nach Ihrer Fragestellung näher analysieren (Testrechnungen zeigen, daß dieser Überschuß nur geringfügig von der speziellen Wahl von w_f abhängt).

(*) Die Porosität und damit w_{max} sollten aber auf einen hohen Wert gesetzt bleiben. Wenn der Wassergehalt die freie Sättigung w_f übersteigt, reduziert WUFI die Diffusionswiderstandszahl proportional zum Überschuß ($w - w_f$), um damit näherungsweise zu berücksichtigen, daß sich das Porenvolumen zunehmend mit Wasser füllt und der Dampftransport entsprechend verringert wird. Bei $w=w_{max}$ erreicht die Dampfdurchlässigkeit schließlich Null (alle Poren sind vollständig gefüllt). Für diffusionsoffene Materialien wie Luftschichten oder Mineralwolle, in denen Feuchtetransport hauptsächlich als Dampftransport stattfindet, sollte w_{max} daher auf einem realistischen Wert (nahe 1) bleiben.

(9):

Wie erhalte ich den Wassergehalt an einer Monitorposition?

WUFIs [Ausgaben](#) umfassen unter anderem die zeitlichen Verläufe

- der Temperatur und der relativen Feuchte an den Monitorpositionen und
- des mittleren Feuchtegehalts jeder Schicht.

Um den *Feuchtegehalt* an einer *Monitorposition* zu erhalten, können Sie entweder

- unter Verwendung der [Feuchtespeicherfunktion](#) des betreffenden Materials den Wassergehalt aus der relativen Feuchte an dieser Monitorposition berechnen, oder
- an der betreffenden Stelle eine dünne 'diagnostische' Schicht einfügen, die dieselben Materialkennndaten hat wie das umgebende Material. WUFI gibt die mittleren Wassergehalte für jede Schicht aus, darunter auch eine separate Kurve für die diagnostische Schicht. Diese Methode kann auch nützlich sein, um z.B. den Wassergehalt der äußersten 5 cm einer Schicht auszuwerten.

(10):

Ich möchte den Einfluß von Schlagregen auf eine Wand mit einer Farbschicht untersuchen. Welche Flüssigtransportkoeffizienten D_{ws} soll ich für die Farbe verwenden?

Uns sind keine Messungen der [Transportkoeffizienten](#) oder, gleichbedeutend, des Wasseraufnahmekoeffizienten der Farbschichten selbst bekannt.

Was gelegentlich gemessen wird, ist die Wasseraufnahme für verschiedene Farbschichten, indem die Farbe auf ein Standardsubstrat aufgebracht wird (wie z.B. Porenbeton oder Kalkzementputz) und die Wasseraufnahme für dieses zusammengesetzte Material gemessen wird.

Die beste Vorgehensweise wäre also vermutlich folgende:

Verwenden Sie nicht eine Putzschicht und eine Farbschicht, sondern stattdessen eine Schicht des 'Hybridmaterials', dessen Wasseraufnahme Sie aus den Messungen kennen. Benutzen Sie die aus der Wasseraufnahme des Hybridmaterials bestimmten D_{ws} (lassen Sie sie von WUFI aus dem gemessenen Wasseraufnahmekoeffizienten generieren) und nehmen Sie die D_{ww} sowie die übrigen Daten aus dem Datensatz des ursprünglichen Putzmaterials.

Der [Diffusionswiderstand](#) der Farbe kann dann in den [Oberflächenübergangskoeffizienten](#) berücksichtigt werden (solange er nicht merklich feuchteabhängig ist).

Bitte beachten Sie jedoch die folgenden möglichen Probleme:

- Die Ergebnisse der Messungen können (oder können auch nicht) vom Substratmaterial, der Art der Aufbringung usw. abhängen. Sie sollten daher sicherstellen, daß Sie einen Wasseraufnahmekoeffizienten verwenden, welcher unter möglichst denselben Umständen gemessen wurde, wie in dem von Ihnen untersuchten Fall.
- Die Farbe könnte evtl. langsam ihre Eigenschaften ändern, sobald sie naß wird (z.B. durch Anschwellen der Farbschicht). Die über eine Regenperiode von zwei oder drei Stunden gemittelten Eigenschaften sind vielleicht anders als die über eine vielstündige Messung gemittelten Eigenschaften. Auch in dieser Hinsicht sollte die Messung also möglichst in Anlehnung an die tatsächlichen Bedingungen durchgeführt werden.

(11):

Welches ist die richtige Regenwasserabsorptionszahl für eine unverputzte Natursandsteinwand? Wenn ich den von WUFI vorgeschlagenen Wert von 0.7 verwende, dann saugt sich die ganze Wand voll Wasser wie ein Schwamm. Wenn ich die Absorptionszahl auf 0.5 reduziere, geschieht dasselbe, es dauert nur länger. Was läuft hier falsch?

So etwas sollte natürlich nicht passieren, es liegt aber wahrscheinlich nicht an der [Regenwasserabsorptionszahl](#). Sie hängt nämlich nicht vom Material der Wand ab (höchstens ein wenig von der Oberflächenbeschaffenheit und natürlich von der Wandneigung). Sie beschreibt schließlich nur den Umstand, daß ein Teil des Regenwassers beim Auftreffen auf die Wandoberfläche wegspritzt und nicht mehr für das Aufsaugen zur Verfügung steht.

Sind Sie sicher, daß die Regenmenge in Ihren Klimadaten korrekt ist? Haben Sie vielleicht Ihre eigene *.KLI-Datei erzeugt und dabei statt des Schlagregens fälschlich den Normalregen eingesetzt?

Bestimmte Sandsteinarten haben eine sehr hohe Wasseraufnahme (z.B. Rühthener) und können in einem feuchten Klima wie dem Holzkirchner einen inakzeptabel hohen Wassergehalt annehmen. Vielleicht haben Sie einen solchen Sandstein

verwendet?

(12):

Ich möchte das Feuchteverhalten ökologischer Dämmstoffe untersuchen, wie etwa Flachs, Hanf oder Schilf. Nun bestehen aber diese Materialien aus Fasern, während WUFI eigentlich für kapillaraktive poröse Materialien ausgelegt ist. Wie kann ich am besten vorgehen?

Der Unterschied zwischen Fasern und porösen mineralischen Materialien spielt im allgemeinen für die Transportgleichungen keine wesentliche Rolle. Das Fasermaterial hat vielleicht bevorzugte Transportrichtungen, aber diese können in einer eindimensionalen Rechnung ohnehin nicht berücksichtigt werden.

Die Bestimmung ihrer [Flüssigtransportkoeffizienten](#) hingegen kann schwierig oder gar unmöglich sein, falls sie bei der Wasseraufnahme ihre Konsistenz ändern (z.B. durch Zusammenbacken).

Andererseits:

Solange Ihre Dämmstoffe nicht so naß werden, daß Kapillarleitung eine vorherrschende Rolle spielt, können Sie in der Regel den Kapillartransport ganz vernachlässigen und nur den Diffusionstransport betrachten. Das heißt, Sie lassen die Flüssigtransportkoeffizienten undefiniert und geben nur einen μ -Wert ein. Oberflächendiffusion können Sie durch Verwendung eines [feuchteabhängigen \$\mu\$ -Werts](#) berücksichtigen.

Da es Ihnen vermutlich nur auf eine Aussage ankommt, *ob* die Dämmung durch Regen oder Kondenswasser naß wird oder nicht, werden Sie es hauptsächlich mit Wassergehalten im Sorptionsfeuchtebereich der [Feuchtespeicherfunktion](#) zu tun haben, für welche diese Vereinfachungen ausreichend sein sollten.

Da bei diesen Materialien ohnehin eine Durchfeuchtung verhindert werden muß, wird eine detaillierte Untersuchung zum Verhalten einer nassen Dämmschicht in der Regel nicht von Interesse sein.

(13):

Ich möchte untersuchen, wie lange es dauert, bis eine baufeuchte Wand ausgetrocknet ist. Welche Anfangswassergehalte soll ich dazu benutzen?

Das hängt von einer Vielzahl individueller Umstände ab, wie z.B. der jeweiligen Produktionsfeuchte (etwa bei Porenbeton oder Kalksandstein), der Menge an Anmachwasser (bei Beton oder Mörteln), der Regenbelastung des unverputzten Rohbaus, der Jahreszeit, während welcher der Bau erstellt wurde (warm / kalt) usw., so daß hier keine allgemeingültige Antwort möglich ist. Die Tabelle enthält Beispiele für typische [Anfangswassergehalte](#):

Material	Wassergehalt [kg/m ³]
Frischbeton: freies Wasser	175

Festbeton, 28 Tage alt (bei 70% Hydratation):

gebundenes Wasser	85
ausgetrocknetes Wasser	25 ... 45
freies Wasser	65 ... 45
	(Summe = 175)

Festbeton, 3 bis 6 Monate alt (bei 90% Hydratation):

gebundenes Wasser	105
ausgetrocknetes Wasser	35 ... 50
freies Wasser	35 ... 20
	(Summe = 175)

DIN 4108 "Wärmeschutz"

praktischer Feuchtegehalt von Beton	50
--	-----------

Porenbeton	180 ... 220
Ziegelmauerwerk	100 ... 150
Kalksandsteinmauerwerk	100 ... 120

(14):

Wie kann ich eine Wand simulieren, deren Außenoberfläche hydrophobiert worden ist? Ist es richtig, die Regenwasserabsorptionszahl auf Null zu setzen? Muß ich den sd-Wert der Außenoberfläche ändern, auch wenn ich eine diffusionsoffene Hydrophobierung verwende?

Die [Regenwasserabsorptionszahl](#) muß auf Null gesetzt werden, wenn die Wasseraufnahme tatsächlich durch die Hydrophobierung vollständig unterbunden wird. Wenn die Wasseraufnahme lediglich verringert wird, müssen Sie den [Wasseraufnahmekoeffizienten](#) des behandelten Materials bestimmen und einen der Behandlungstiefe entsprechenden Teil der Wand durch eine Schicht mit diesem behandelten Material ersetzen.

Falls die Behandlung die [Diffusionsdurchlässigkeit](#) des Materials nicht beeinträchtigt, muß kein [sd-Wert](#) für die Außenoberfläche angesetzt werden.

Viele Hydrophobierungen erhöhen allerdings doch die Diffusionswiderstandszahl (μ -Wert) des Materials. In diesen Fällen sollte der zusätzliche Diffusionswiderstand durch einen geeigneten sd-Wert berücksichtigt werden. Als alternative und eigentlich realistischere Möglichkeit können Sie den der Behandlungstiefe entsprechenden Teil der Wand durch eine neue Schicht ersetzen, die dieselben Materialdaten, aber einen geeignet erhöhten μ -Wert besitzt.

Selbst wenn die Wasseraufnahme vernachlässigbar ist (so daß ein Anpassen der Regenwasserabsorptionszahl anstelle der Flüssigtransportkoeffizienten eigentlich ausreichen würde) und die Dampfdiffusion durch die Hydrophobierung nicht behindert wird (so daß kein μ -Wert angepaßt werden muß), kann es trotzdem von Vorteil sein, den behandelten Teil der Wand durch eine separate Schicht zu ersetzen, deren Flüssigtransportkoeffizienten herabgesetzt oder sogar auf Null gesetzt sind.

Die reduzierte kapillare Leitfähigkeit in dieser Schicht bestimmt nämlich nicht nur die Menge des aufgenommenen Regenwassers, sie beeinflusst auch das Austrocknenverhalten der Wand.

Das Austrocknen geschieht rascher, wenn durch Kapillartransport Wasser aus dem Wandinneren an die Oberfläche transportiert wird und von dort verdunsten kann. Das Austrocknen wird andererseits behindert, wenn der Kapillartransport einige Zentimeter unterhalb der Oberfläche aufhört und die Feuchte erst dann austrocknen

kann, nachdem sie diese hydrophobierte Schicht per Dampfdiffusion überwunden hat. Dies ist also ein zusätzlicher Mechanismus, über den eine Hydrophobierung das Trocknungspotential einer Wand verringern kann, zusätzlich zum eventuell erhöhten μ -Wert.

(15):

WUFI bietet mir die Möglichkeit, die Flüssigtransportkoeffizienten D_{ws} aus dem Wasseraufnahmekoeffizienten abzuschätzen. Wie kann ich überprüfen, wie gut diese Schätzung ist?

Sie können die **geschätzten** D_{ws} überprüfen oder einen unbekanntes Wasseraufnahmekoeffizienten aus bekannten D_{ws} bestimmen, indem Sie einen Saugversuch simulieren.

Definieren Sie dazu eine anfänglich trockene Schicht aus dem betreffenden Material, lassen Sie es auf die Oberfläche regnen (mit einem höheren Regeneintrag als das Bauteil pro Stunde aufnehmen kann, um sicherzugehen, daß nicht etwa eine zu geringe Regenmenge die Wasseraufnahme begrenzt) und werten Sie die nach z.B. 100 oder 200 Stunden aufgenommene Wassermenge aus.

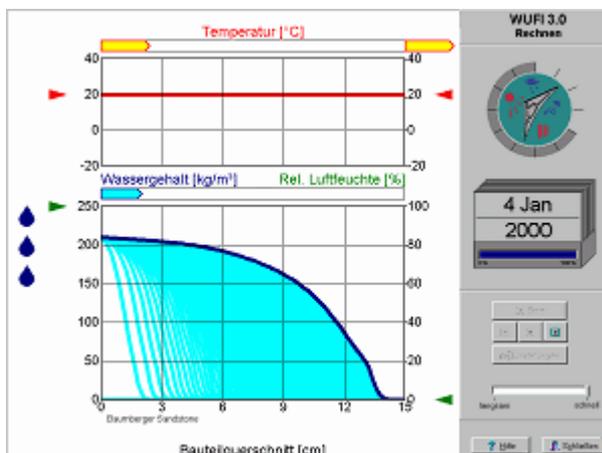
Dazu genügt eine einzeilige *.KLI-Datei wie diese:

[h:	Regen:	Strahlg:	t_a:	rF_a:	t_i:	rF_i:]
500	1000	0	20	1	20	0

Die Anzahl von Stunden, die Sie für die Dauer dieser einzeiligen Klimadatei eingeben, ist egal, da WUFI wieder vom Beginn der Klimadatei zu lesen beginnt, wenn die Simulationsperiode über das Ende der Klimadatei hinausreicht.

Setzen Sie für die Innenoberfläche einen sehr hohen s_d -Wert an, um Dampftransport durch diese Oberfläche zu vermeiden.

Sie sollten ein paar Testrechnungen durchführen, um eine geeignete Schichtdicke für die Probe zu finden, so daß die Feuchtefront den größten Teil der Probe durchwandert (um das numerische Gitter möglichst effizient auszunutzen) aber die innere Oberfläche nicht erreicht.



(16):

Ich möchte den Einfluß verschiedener Materialkenndaten auf die Wasseraufnahme untersuchen, indem ich ein Laborexperiment simuliere, bei dem verschiedene Proben einem begrenzten Wasserangebot ausgesetzt werden. Ich habe mit einem Tabellenkalkulations-Programm eine entsprechende KLI-Datei erzeugt, um nicht alle die Zahlen von Hand eintippen zu müssen, aber WUFI kann diese KLI-Datei nicht lesen.

Der Grund, warum WUFI diese Datei nicht akzeptiert, liegt vermutlich darin, daß Sie sie nicht im ASCII-Format abgespeichert haben und/oder die drei Kopfzeilen nicht im korrekten Format geschrieben haben. Die Online-Hilfe gibt Ihnen detaillierte Hinweise zum Erstellen von [*.KLI-Dateien](#) mit Ihren eigenen Programmen.

Bitte beachten Sie auch, daß es zur Simulation eines einfachen Saugversuchs mit bestimmtem konstantem Wasserangebot und konstanten Klimabedingungen ausreicht, eine KLI-Datei zu erstellen, die nur aus einer einzigen Zeile besteht; so bedeutet beispielsweise die Zeile

[h:	Regen:	Strahlg.:	t_a:	rF_a:	t_i:	rF_i:]
1000	5	0	20	1	20	0.8

daß für 1000 Stunden nach dem Startzeitpunkt der Klimadatei ein konstanter Regeneintrag von 5 Ltr/m²h auftritt.

Eine andere Möglichkeit wäre eine einzelne Zeile wie

[h:	Regen:	Strahlg:	t_a:	rF_a:	t_i:	rF_i:]
1	5	0	20	1	20	0.8

welche besagt, daß während einer Stunde nach dem Startzeitpunkt der Klimadatei ein konstanter Regeneintrag von 5 Ltr/m²h auftritt. Wenn WUFI das Ende einer Klimadatei erreicht, beginnt es sie wieder von vorne zu lesen, so daß Sie ein Experiment mit einer Dauer von 100 Stunden (oder wieviel auch immer) simulieren können, wobei die Klimadatei automatisch 100mal gelesen wird.

Der einzige Unterschied zwischen diesen beiden Dateien ist der, daß im letzteren Fall WUFI keinen Rechenzeitschritt über 1 Stunde akzeptiert, während Sie im ersteren Fall bei Bedarf auch eine beliebige größere Zeitschrittweite wählen können.

Für einen einfachen Saugversuch sollten Sie darauf achten, daß die Regenmenge in der Klimadatei auf alle Fälle groß genug ist, so daß sie die Wasseraufnahme der Probe nicht begrenzt, z.B. 100 Ltr/m²h, was natürlich für realen Regen völlig überzogen wäre.

Wenn Sie eine bestimmte begrenzte Regenmenge zum Saugen anbieten wollen, vergessen Sie bitte nicht, daß WUFI die aus der Klimadatei gelesene Regenmenge erst durch Multiplikation mit der [Regenwasserabsorptionszahl](#) reduziert und nur diese reduzierte Menge der Probe zum Saugen anbietet. Auf diese Weise wird berücksichtigt, daß ein Teil des Schlagregens beim Auftreffen auf die Wandoberfläche wegspritzt und nicht mehr zum Saugen zur Verfügung steht. Sie sollten die Regenwasserabsorptionszahl für einen Saugversuch daher auf 1 setzen.

Beachten Sie bitte auch einen etwas subtilen Punkt bei der Verwendung eines begrenzten Wasserangebots. Nehmen wir an, Sie hätten eine Probe mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von 3 kg/m²√h und in der Klimadatei sei eine Regenbelastung von 3 Ltr/m²h angegeben. Während der Berechnungen für einen

Zeitschritt führt WUFI zunächst einen *Testschritt* mit *unbegrenztem* Wasserangebot durch und wertet anschließend die aufgenommene Wassermenge aus. Wenn diese Wassermenge geringer als die in den Klimadaten angebotene ist, dann wird die Wasseraufnahme durch die Saugfähigkeit des Materials selbst begrenzt, und WUFI akzeptiert das Ergebnis dieses Testschritts und fährt mit dem nächsten Zeitschritt fort. Wenn stattdessen die aufgenommene Menge die angebotene Menge übersteigt, führt WUFI zusätzliche Iterationsschritte aus, während welcher es einen fiktiven 'Flüssigtransportwiderstand' an der Probenoberfläche so anpasst, daß die aufgenommene Wassermenge mit der angebotenen übereinstimmt.

Wenn Sie für Ihre Rechnung einstündige Zeitschritte verwenden und die trockene Probe im ersten Schritt 3 kg/m² Wasser absorbiert, und die Klimadatei 3 kg/m²h an Regen liefert, dann akzeptiert WUFI den mit unbegrenzter Aufnahme durchgeführten Zeitschritt und fährt mit der Berechnung der nächsten Zeitschritte fort.

Wenn Sie aber dieselbe Rechnung mit einem halbstündigen Zeitschritt wiederholen, fällt das Ergebnis etwas anders aus! Da die Wasseraufnahme nicht proportional zur Zeit erfolgt (sondern stattdessen proportional zur Wurzel aus der Zeit), wird die Probe während der ersten halben Stunde *mehr* als 1.5 kg/m² aufnehmen, während WUFI die aufgenommenen Menge mit den in der ersten halben Stunde gefallenen 1.5 kg/m² Regen vergleicht (unter der Annahme, daß der Regen während der Stunde gleichmäßig verteilt ist) und nun die aufgenommene Menge auf 1.5 kg/m² *begrenzt*. Dies hat üblicherweise bei realen Regendaten und realen Baumaterialien keine weitreichenden Konsequenzen, aber Sie sollten sich dieser Feinheiten bewußt sein, wenn Sie Testrechnungen mit begrenztem Regenangebot durchführen.

(17):

Aus den bisher üblichen stationären Wasserdampfdiffusions-Berechnungen (insbesondere Glaser-Rechnungen nach DIN 4108) weiß ich, daß ich mehr oder weniger häufig Taubedingungen im untersuchten Wandaufbau zu erwarten habe. Beim Betrachten der WUFI-Filme für ähnliche Wandaufbauten konnte ich aber bisher nie sehen, daß die relative Feuchte im Bauteil 100% erreicht.

Die üblichen Baumaterialien haben immer eine gewisse Aufnahmefähigkeit für Feuchte (Sorptionsfähigkeit). Diese Sorptionsfähigkeit puffert Änderungen der relativen Feuchte in der Wand. Wenn Sie Randbedingungen anlegen, die in einer *Glaserrechnung* zu sofortigem Tauwasserausfall führen würden, werden Sie in einer *realistischen* Untersuchung (wie sie von WUFI durchgeführt wird) in den meisten Fällen kein Tauwasser erhalten.

Das liegt daran, daß eine relative Feuchte von 100% (Voraussetzung für Kondensation) einem **Wassergehalt** gleich der freien Sättigung des betreffenden Materials entspricht, und daß diese Wassermenge daher erst in die Tauregion transportiert werden müßte, um 100% rF zu erreichen. Die Diffusionsströme sind zwar in der Tat zur Tauregion hin gerichtet, aber die so transportierten Feuchtemengen sind in der Regel klein und die rF wird daher nur langsam ansteigen, z.B. von ursprünglich 80% auf 81%, etwas später auf 82% usw. Es kann unter Umständen Tage oder Wochen dauern, bis genügend Wasser in die Tauregion transportiert wurde, so daß dort schließlich die freie Sättigung des Materials (und damit rF=100%) erreicht wird. Währenddessen werden sich die Randbedingungen geändert haben und es liegen gar keine Taubedingungen mehr vor.

Die Glaser-Methode nimmt stattdessen einfach an, daß sofort 100% erreicht werden, sie berücksichtigt nicht die Notwendigkeit, erst Wasser transportieren zu müssen, um einen Wassergehalt zu erreichen, der 100% rF entspricht.

Darüber hinaus haben reale Materialien (im Gegensatz zu Glaser) meist eine gewisse **kapillare Leitfähigkeit**, welche versucht, Feuchteansammlungen wieder auseinanderlaufen zu lassen. Dieser Effekt arbeitet also aktiv gegen lokale Feuchteansammlungen, so daß es nicht leicht ist, 100% rF zu erreichen.

Natürlich können und werden Sie in Ihrem Bauteil Feuchteansammlungen erhalten, wenn die Randbedingungen dafür günstig sind. Diese erhöhten Feuchtegehalte werden aber selten mit 100% rF einhergehen. Wenn Sie sehen, daß die relative Feuchte irgendwo in ihrem Bauteil sich 100% nähert, ist der Schaden vermutlich schon passiert...

(18):

Nun gut, das erklärt, warum ich keine Taubedingungen *in* der Wand sehe. Aber sollte nicht wenigstens an der Außenoberfläche Tauwasser ausfallen, besonders an Tagen mit hoher Luftfeuchte und wenig Sonnenschein (also z.B. Nebel)?

Die Oberfläche einer normalen Wand in gemäßigten oder kalten Klimazonen wird immer etwas wärmer sein als die umgebende Luft. Tagsüber wegen der Sonneneinstrahlung (selbst an nebligen oder bedeckten Tagen), nachts wegen des Wärmestroms von innen (Ausnahmen: klimatisierte Wohnungen oder nächtliche Strahlungskühlung, siehe unten).

Da die relative Feuchte in der Luft nicht größer als 100% sein kann und die rF an der gegenüber der Luft wärmeren Wandoberfläche geringer als die rF der Luft ist, können an der Oberfläche normalerweise die 100% nicht erreicht oder gar überschritten werden.

Die Wandoberfläche erreicht **freie Sättigung** (d.h. 100% relative Feuchte), wenn genug Regenwasser aufgenommen wurde, aber das ist dann nicht auf Taubedingungen zurückzuführen.

Die Oberflächentemperatur *kann* unter die Außenlufttemperatur fallen, wenn die Wand mehr langwellige Strahlung **emittiert**, als sie durch Zustrahlung von den umgebenden Flächen zurückbekommt. Wenn die Temperatur sogar unter die Taupunkttemperatur fällt, werden Sie in der Tat Taubedingungen an der Oberfläche erhalten.

Dies geschieht regelmäßig während der Nacht, vor allem in klaren Nächten, in denen die langwellige Emission des Wasserdampfs in der Atmosphäre besonders gering ist.

In diesen Fällen stellt sich wiederholte und regelmäßige Befeuchtung der Wandoberfläche ein, was zu Staubanhaftungen oder Algenwachstum führen kann, vor allem auf Außendämmungen, deren Oberflächen wegen der thermischen Entkopplung von der Wand besonders stark unterkühlen.

Derzeit berücksichtigt WUFI diesen Effekt nicht standardmäßig, da die dazu notwendigen Daten über atmosphärische und terrestrische Gegenstrahlung meist nicht vorliegen. Wenn diese Daten vorhanden sind, kann WUFI die nächtliche Strahlungsunterkühlung im Prinzip berechnen, in der vorliegenden Version aber nur näherungsweise. Künftige WUFI-Versionen werden über ein ausgefeilteres Emissionsmodell verfügen.

(19):

Ich habe mit WUFI die Wassergehalte in verschiedenen Wandaufbauten berechnet. Um deren hygrothermische Tauglichkeit zu bewerten, brauche ich jetzt geeignete Kriterien, z.B. Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen.

Es gibt keine allgemeinen Kriterien, welche in allen Fällen gleichermaßen anwendbar wären. Verschiedene Materialien und verschiedene Anwendungssituationen verlangen auch verschiedene Kriterien. Hierzu ein paar allgemeine Hinweise:

- Das wichtigste Kriterium: der Feuchtegehalt darf sich nicht im Laufe der Zeit aufschaukeln. Wasser, das im Bauteil auskondensiert, muß auch Gelegenheit haben, wieder auszutrocknen. Wenn der Wassergehalt in Ihrem Bauteil ständig weiter ansteigt – wenn auch vielleicht nur langsam – werden Sie früher oder später damit Probleme haben.
- Die Baumaterialien, die mit der Feuchte in Kontakt geraten, dürfen dadurch nicht geschädigt werden (etwa durch Korrosion oder Schimmelpilzwachstum). Mineralische Baumaterialien sind in dieser Hinsicht meist nicht gefährdet. Holz sollte einen Feuchtegehalt von 20 Massen-% nicht über einen längeren Zeitraum hinweg übersteigen, andernfalls kann sich Schimmelpilzwachstum einstellen (mögliche Ausnahme: erhöhte Feuchte bei geringen Temperaturen).

Die DIN 4108-3 nennt außerdem folgende Kriterien:

- Die Tauwassermasse in Dach- oder Wandaufbauten darf insgesamt eine Grenze von 1.0 kg/m^2 nicht überschreiten. Dies ist ein mehr oder weniger willkürliches Kriterium. Um ein Bauteil mit WUFI darauf zu testen, starten Sie die Rechnung mit dem normalen Ausgleichswassergehalt (entsprechend einer relativen Feuchte von 80%) und beobachten Sie, ob der Gesamtwassergehalt den Startwert irgendwann um mehr als 1 kg/m^2 überschreitet.
- An Grenzflächen zwischen nicht kapillaraktiven Materialien ist eine Tauwassermasse von mehr als 0.5 kg/m^2 nicht zulässig. Dies soll vermeiden, daß flüssiges Wasser abläuft oder abtropft, welches sich anderswo ansammeln und Schäden verursachen könnte.
- Die Feuchtezunahme in Holz darf 5 Massen-%, die Feuchtezunahme in Holzwerkstoffen darf 3 Massen-% nicht überschreiten. Dies sind mehr oder weniger willkürliche Zahlen.

Außerdem können in manchen Fällen spezielle Kriterien anwendbar sein, zum Beispiel:

- Gibt es Materialien im Bauteil, die besonders anfällig für Feuchteschäden sind?
- Verletzt der durch feuchte Wärmeisolierung verursachte höhere Energieverlust möglicherweise Wärmeschutzvorschriften?
- Ist das Baumaterial bei diesen Feuchtegehalten anfällig für Frostschäden?
- Gibt es Salze in der Wand, die nicht auskristallisieren oder durch Feuchteströme umverteilt werden dürfen?
- Etc.

Selbst wenn Sie keine expliziten, auf Ihren Fall anwendbaren Ausschlußkriterien haben, können Sie eventuell immer noch eine Tauglichkeits-Rangfolge der Konstruktionen aufstellen, indem Sie sie untereinander oder mit einem Standardfall vergleichen.

(20):

Ich möchte eine Wand mit hinterlüfteter vorgehängter Fassade simulieren; wie soll ich dabei vorgehen? Ich kann den Lüftungsspalt in WUFI als eine Luftschicht modellieren, aber es scheint, diese Luftschichten werden als stehend angenommen, was in meinem Lüftungsspalt sicher nicht der Fall ist.

Wenn Sie den Lüftungsspalt in WUFI als eine **Luftschicht** modellieren, wird er in der Tat als eine *abgeschlossene* Luftschicht ohne Verbindung zur Außenluft behandelt. Der Einfluß der inneren Konvektion auf die Wärme- und Feuchteströme durch die Luftschicht wird (in einer ersten Näherung) durch Verwendung **effektiver Wärmeleitfähigkeiten** und **Diffusionswiderstandszahlen** berücksichtigt.

Die Luftströmungen und Luftaustauschvorgänge in einer *belüfteten* Luftschicht können mit einem eindimensionalen Programm nicht simuliert werden.

Wenn der Luftaustausch stark genug ist, *kann* es gerechtfertigt sein, im Luftspalt Außenluftbedingungen anzunehmen. Das bedeutet, Sie modellieren die vorgehängte Fassade und die Luftschicht gar nicht, sondern betrachten die Oberfläche der Dämmschicht oder der Wand selbst (je nachdem) als die Außenoberfläche in WUFIs Bauteilaufbau. Der Regen muss auf Null gesetzt werden (einfach durch Nullsetzen des **Regenwasserabsorptionsfaktors**).

Für den äußeren Wärmeübergangskoeffizienten und die kurzweilige Strahlungsabsorptionszahl sollten möglichst geeignete effektive Werte gewählt werden, die den Einfluß der vernachlässigten vorgehängten Fassade und der Luftschicht berücksichtigen, aber dies setzt in der Regel die Kalibrierung an experimentellen Daten voraus.

Derselben Fragestellung begegnet man auch bei Luftschichten in Dächern, sei es die Lüftungsebene in einem belüfteten Dach oder die Luftschicht zwischen Schalung (bzw. Unterspannbahn) und Eindeckung.

Bei der in [1] beschriebenen Untersuchung des Feuchtehaushalts eines vollgedämmten westorientierten Steildaches (50% Neigung) mit WUFI konnte auf die Modellierung von Lattungsluftspalt und Eindeckung verzichtet werden, da zur Ermittlung geeigneter effektiver Übergangskoeffizienten auf Temperaturmessungen an einem ähnlichen Dach auf dem Freigelände des IBP zurückgegriffen werden konnte. Die in diesem Dach auf der Unterspannbahn (also unmittelbar auf der Dämmschicht) gemessenen Temperaturen wurden unter Variation der thermischen Übergangskoeffizienten mit den in WUFI berechneten Temperaturen verglichen, wobei für diesen thermischen Abgleich das Dach im rechnerischen Modell auf die Dämmschicht reduziert werden konnte, deren Außenoberflächentemperatur ausgewertet wurde.

Bei einer effektiven kurzweiligen Absorptivität von $a=0.6$ und einem effektiven Wärmeübergangskoeffizienten von $\alpha=19 \text{ W/m}^2\text{K}$ konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung erreicht werden. Die effektive Absorptivität stimmt dabei etwa mit dem realen Wert überein (roter Dachziegel), während das effektive α gegenüber dem sonst benutzten Standardwert von $17 \text{ W/m}^2\text{K}$ leicht erhöht ist. Offenbar haben zumindest in diesem Fall Eindeckung und Luftspalt keinen größeren Einfluß auf das thermische Verhalten des Daches;

insbesondere ist die Wärmeabfuhr durch die belüftete Luftschicht vernachlässigbar und die gesamte durch Strahlung eingetragene Wärme wird an das Unterdach weitergegeben.

Eine Aussage zur Verallgemeinerbarkeit dieses Einzelergebnisses würde allerdings den Vergleich mit umfangreicheren Meßergebnissen voraussetzen.

[1] H.M. Künzel: Außen dampfdicht, vollgedämmt? – Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. bauen mit holz 8/98, S. 36-41.

(21):

Ich habe die aufsummierten Wärmeströme durch die Außen- bzw. Innenoberfläche während eines Jahres bestimmt, und ich habe dabei bemerkt, daß der Wärmestrom, der durch die Außenoberfläche aus dem Bauteil heraus fließt, viel größer ist als der Wärmestrom, der durch die Innenoberfläche ins Bauteil hinein fließt. Aber sollten denn beide nicht etwa gleich sein? Wie kann mehr Wärme heraus fließen als hinein? In der Wand kann ja keine Wärme erzeugt werden.

Bei der Sonnenstrahlung, die auf die Außenoberfläche auftrifft, handelt es sich um elektromagnetische Strahlung und nicht um einen Wärmestrom; sie ist daher in den Wärmestromverläufen nicht enthalten.

Bei der Absorption an der Außenoberfläche wird die Strahlung aber in Wärme umgewandelt, so daß es tatsächlich eine Wärmequelle in der Wand gibt. Da diese Wärmequelle unmittelbar unter der Außenoberfläche sitzt, fließt der größte Teil der erzeugten Wärme durch die Außenoberfläche nach außen ab; nur ein kleiner Teil fließt durch die Innenoberfläche ab. Diese asymmetrischen Wärmeströme überlagern sich dem gewöhnlichen Transmissionswärmestrom (welcher in kälteren Klimazonen immer von innen nach außen fließt).

Bitte beachten Sie, daß in der [Filmdarstellung](#) der Wärmestrompfeil an der Außenoberfläche im Gegensatz zu obiger Erläuterung die Sonnenstrahlung sehr wohl enthält. Andernfalls würde es sehr eigenartig aussehen, wenn die Sonne die Wandoberfläche bescheint, aber eine große Wärmemenge aus der Wand *herausfließt*. Dies ist ein Zugeständnis an die intuitiven Erwartungen des Betrachters.

Es sei darauf hingewiesen, daß in der Wand durchaus auch Wärmequellen und –senken auftreten können, wenn Wasser kondensiert oder verdunstet. In manchen Fällen können diese Latentwärmeeffekte nicht vernachlässigt werden (z.B. beim Austrocknen einer durch Schlagregen befeuchteten Wand).

(22):

Sind inzwischen aktuellere Klimadaten erhältlich? Das von mir heruntergeladene WUFI hatte noch die von 1991.

Bei den Klimadaten kommt es nicht so sehr auf die Aktualität an, sondern darauf, ob sie für den jeweiligen Standort repräsentativ sind bzw. – für Auslegungszwecke – definiert strenge Verhältnisse darstellen. Das Jahr 1991 ist in etwa ein typisches Jahr für Holzkirchen. 'Strengere' Klimadaten, d.h. ein besonders kaltes und ein besonders warmes Jahr, sind in Form der Holzkirchner 'Hygrothermischen

Referenzjahre' in Vorbereitung.

(23):

Für die numerische Lösung der Transportgleichungen wird das Bauteil ja in eine Serie von Gitterelementen zerlegt, für deren Mittelpunkte die sich jeweils einstellenden Temperaturen und Wassergehalte berechnet werden und über deren Elementgrenzen die dazu nötigen Wärme- und Feuchteströme fließen. Die Untersuchungen in [1] zeigen, daß es dabei durchaus einen Unterschied macht, auf welche Weise man diesen Elementgrenzen die jeweils geeigneten Wärme- und Feuchteleitfähigkeiten zuweist: am geeignetsten sei lineare Interpolation innerhalb eines Materials und eine Widerstandsformulierung an Grenzen zwischen verschiedenen Materialien. Wie macht WUFI das eigentlich?

An Elementgrenzen, an denen Materialien mit teilweise sehr unterschiedlichen Leitfähigkeiten in Kontakt stehen, ist es klar, daß eine bloße Mittelung der Leitfähigkeiten bzw. Widerstände nicht auf eine realistische effektive Leitfähigkeit zur Beschreibung der Ströme zwischen den Elementen führen kann. Man denke sich z.B. ein Material mit einem sehr geringen Widerstand, welches an ein anderes Material mit einem sehr hohen Widerstand grenzt. Der Strom, welcher auf seinem Weg vom Mittelpunkt des einen Elements zum Mittelpunkt des anderen über die Elementgrenze fließt, wird durch die *Summe* der beiden nacheinander zu überwindenden *Widerstände* bestimmt, nicht durch den arithmetischen Mittelwert der Leitfähigkeiten.

Man möchte nun annehmen, daß diese physikalische Begründung auch bei geringeren Unterschieden zwischen den angrenzenden Elementen ihre Berechtigung hat und daß daher grundsätzlich im gesamten Bauteil die Widerstandsformulierung (d.h. die *harmonische* Mittelung der Leitfähigkeiten) verwendet werden sollte. Wie Testrechnungen bei der Entwicklung der Numerik von WUFI im Vergleich mit experimentellen Daten zeigten, ist dies jedoch nicht der Fall. Im Inneren eines Materials führt die *arithmetische* Mittelung der Leitfähigkeiten zu besseren Ergebnissen, so daß WUFI an Materialgrenzen die harmonische Mittelung verwendet und im Materialinneren die arithmetische, in Übereinstimmung mit obiger Untersuchung. Die Herleitung der Widerstandsformulierung setzt gleiche Ströme in beiden Widerstandshälften voraus, was bei instationären Vorgängen in speicherfähigen Materialien nicht unbedingt der Fall sein muß.

[1] Galbraith, G.H. et al.: Evaluation of Discretized Transport Properties for Numerical Modelling of Heat and Moisture Transfer in Building Structures, Journal of Thermal Env. & Bldg. Sci., Vol. 24, Jan. 2001

(24):

Ich möchte eine hygrothermische Simulation für eine Wand durchführen, die jeden Tag für eine gewisse Zeit von einem davorstehenden Gebäude beschattet wird. WUFI bietet mir keine Möglichkeit, eine solche Verschattung zu definieren, aber ich kann ja den Umweg über eine selbsterstellte *.KLI-Datei gehen, indem ich die Umrechnung der gemessenen Strahlung selbst vornehme und dabei die Verschattung berücksichtige. Wie muß ich bei der Umrechnung vorgehen?

Zunächst müssen Sie aus der gemessenen Einstrahlung auf eine horizontale Fläche die Einstrahlung auf Ihre Bauteiloberfläche bestimmen. Dazu ist es nötig, den Sonnenstand zum Zeitpunkt der Messung zu kennen.

Sonnenstand:

Sei J die Nummer des Tages im Jahr (1 .. 365 bzw. 366). Bestimmen Sie daraus zunächst die Rechengröße x :

$$x = 0.9856^\circ * J - 2.72^\circ$$

und damit die Zeitgleichung Z (in Minuten):

$$Z = -7.66 * \sin(x) - 9.87 * \sin(2 * x + 24.99^\circ + 3.83^\circ * \sin(x))$$

Die Zeitgleichung beschreibt den variablen zeitlichen Unterschied zwischen dem tatsächlichen Sonnenhöchststand und 12 Uhr Mittags. Aufgrund der Elliptizität der Erdbahn und der Schiefstellung der Erdachse bewegt sich die Sonne nämlich etwas ungleichmäßig über den Himmel und erreicht ihren Höchststand daher im Laufe des Jahres mal etwas früher und mal etwas später als eine gedachte gleichmäßig wandernde Sonne (die sogenannte 'mittlere' Sonne).

Der lokale Meridian ist der Großkreis, der vom Nordpunkt des Horizonts aufsteigend durch den Punkt am Himmel direkt über dem Beobachter läuft und von dort absteigend den Südpunkt des Horizonts schneidet. Der Zeitpunkt, in dem die Sonne von Osten her kommend und nach Westen wandernd den lokalen Meridian passiert, ist gleichzeitig der Zeitpunkt, in dem die Sonne genau im Süden steht, und in dem sie ihre größte Höhe auf ihrer täglichen Bahn erreicht.

Wenn die *wahre* (also die tatsächlich beobachtete) Sonne den Meridian überschreitet, ist es 12 Uhr wahrer Ortszeit (WOZ); wenn die *mittlere* Sonne den Meridian überschreitet, ist es 12 Uhr mittlerer Ortszeit (MOZ). Die Zeitgleichung ist also der Unterschied zwischen WOZ und MOZ ($Z = \text{WOZ} - \text{MOZ}$).

Da außerdem der Meßort in der Regel nicht auf dem Referenzmeridian der Zeitzone liegen wird (15° Ost für die Mitteleuropäische Zeitzone MEZ), ist noch der Unterschied zwischen mittlerer Ortszeit und Zonenzeit zu berücksichtigen, der für 1° Unterschied in geographischer Länge ± 4 Minuten ausmacht und für 15° Unterschied eine Stunde. Liegt der Meßzeitpunkt in Mitteleuropäischer Sommerzeit MESZ vor, rechnen Sie erst durch Subtraktion einer Stunde auf MEZ um ($\text{MEZ} = \text{MESZ} - 1\text{h}$).

Auf diese Weise können Sie nun aus der Kenntnis des Meßzeitpunkts (in MEZ) auf die zugehörige wahre Ortszeit WOZ umrechnen,

$$\text{WOZ} = \text{MEZ} - (15^\circ - L) / (15^\circ / \text{h}) + Z / (60 \text{ min/h}) \quad [\text{h}]$$

und so den Sonnenstand feststellen: um 12 Uhr WOZ steht die Sonne genau im Meridian, vorher um eine entsprechende Strecke weiter östlich, nachher weiter westlich.

Die Strecke, um die die Sonne vom Meridian entfernt ist, wird durch den Stundenwinkel ω gemessen:

$$\omega = (\text{WOZ} - 12\text{h}) * 15^\circ / \text{h}$$

Der Stundenwinkel ω wird senkrecht zum Meridian gezählt, er ist am Vormittag negativ, mittags gleich Null und am Nachmittag positiv; er wächst pro Stunde um 15° .

Mit dem Stundenwinkel ist jetzt der Abstand der Sonne vom Meridian bekannt; die Angabe der Deklination δ , d.h. des Abstands der Sonne vom Himmelsäquator, bestimmt dann die Position der Sonne vollständig. Die Deklination variiert zwischen $-23^\circ 26'$ zur Wintersonnwende über 0° zu den Tagundnachtgleichen bis $23^\circ 26'$ zur Sommersonnwende. Wegen ihrer geringen Änderung während eines Tages genügt es, sie jeweils einmal für den betrachteten Tag J zu berechnen:

$$\begin{aligned}\sin(\delta) &= 0.3978 * \sin(x - 77.51^\circ + 1.92^\circ * \sin(x)), \\ \cos(\delta) &= \text{sqrt}(1 - \sin(\delta)^2)\end{aligned}$$

wobei x die schon weiter oben benutzte Rechengröße ist.

Nun folgt die Umrechnung aus dem durch ω und δ bestimmten Koordinatensystem in die gewohnten Koordinaten Höhe γ und Azimut ψ (=Richtung). Dazu wird die geographische Breite φ des Messortes benötigt.

$$\begin{aligned}\sin(\gamma) &= \cos(\delta) * \cos(\omega) * \cos(\varphi) + \sin(\delta) * \sin(\varphi) \\ \cos(\gamma) &= \text{sqrt}(1 - \sin(\gamma)^2) \\ \text{if } \cos(\gamma) &= 0 \text{ then } \psi = 0 \\ \text{else begin} \\ &\quad \sin(\psi) = \cos(\delta) * \sin(\omega) / \cos(\gamma) \\ &\quad \cos(\psi) = (\cos(\delta) * \cos(\omega) * \sin(\varphi) - \sin(\delta) * \cos(\varphi)) / \cos(\gamma) \\ &\quad \psi = \text{atn2}(\sin(\psi), \cos(\psi)) \\ \text{end}\end{aligned}$$

Dabei ist $\text{atn2}(A,B)$ die in vielen Programmiersprachen vorhandene Arcustangensfunktion für zwei Argumente A und B , welche den Arcustangens von A/B quadrantenrichtig liefert. Falls Ihnen diese nicht zur Verfügung steht, können Sie den normalen Arcustangens verwenden und selbst eine Fallunterscheidung durchführen (d.h. Sie berechnen $\psi = \text{atn}(A/B)$, und im Fall $B < 0$ addieren Sie 180° , wenn $\psi <= 0$ ist bzw. subtrahieren 180° , wenn $\psi > 0$ ist. Bei $B=0$ und $A < 0$ ist $\psi = -90^\circ$, bei $B=0$ und $A > 0$ ist $\psi = +90^\circ$).

Der Azimut ψ wird von Süden= 0° positiv nach Westen und negativ nach Osten gezählt.

Beispiele für München (48.13°N , 11.58°E):

	MEZ	Höhe	Azimut	Deklination
(J=1)				
1. Jan. 2001	09:00	6.436°	-44.614°	-22.987°
1. Jan. 2001	12:00	18.836°	-4.209°	-22.977°
1. Jan. 2001	16:00	3.441°	49.590°	-22.962°
1. Jan. 2001	16:25	0.434°	54.316°	-22.961°
(J=79)				
20. Mär. 2001	07:00	6.498°	-82.661°	-0.126°
20. Mär. 2001	12:21	41.851°	-0.041°	-0.038°

20	Mär.	2001	16:00	22.726°	62.242°	+0.022°
(J=172)						
21.	Jun.	2001	08:00	34.501°	-87.522°	+23.437°
21.	Jun.	2001	12:00	65.126°	-8.437°	+23.437°
21.	Jun.	2001	18:00	19.771°	103.475°	+23.436°

Diese Werte wurden mit einem astronomischen Ephemeridenprogramm berechnet. Die oben angegebene vereinfachte Methode kann natürlich diese Werte nicht exakt reproduzieren, vor allem bei tiefstehender Sonne (1.Jan. 16:25), da sie die atmosphärische Refraktion nicht berücksichtigt. Sie können durch den Vergleich aber auch gleichzeitig die generelle Genauigkeit dieser einfachen Methode abschätzen. Sie sollte innerhalb etwa einiger Zehntelgrad mit den exakten Positionen übereinstimmen. Zu Testzwecken sind auch die Deklinationen mit angegeben.

Strahlungsumrechnung:

Wir gehen davon aus, daß Ihnen gemessene stündliche Werte der globalen (I_{glob}) und der diffusen Strahlung (I_{diff}) auf eine horizontale Messfläche zur Verfügung stehen.

Die auf die Mess- bzw. Bauteiloberfläche fallende Strahlung wird in einen direkten und einen diffusen Anteil zerlegt. Der direkte Anteil kommt direkt von der Sonne und ist daher eine vom Sonnenstand abhängige gerichtete Größe. Die auf eine in Richtung der Sonne zeigende Fläche senkrecht einfallende Direktstrahlung ist die Direktnormalstrahlung I_{dir_normal} . Die auf eine horizontale Messfläche geneigt einfallende Direktstrahlung I_{dir} hängt von der Sonnenhöhe γ ab:

$$I_{dir} = I_{dir_normal} * \sin(\gamma).$$

Da I_{dir} sich als Differenz aus den gemessenen Global- und Diffusstrahlungswerten bestimmen läßt und γ nach der oben angegebenen Methode aus der Kenntnis des Messortes und des Messzeitpunkts berechnet werden kann, ergibt sich die zugehörige Direktnormalstrahlung als

$$I_{dir_normal} = (I_{glob} - I_{diff}) / \sin(\gamma).$$

Für den Einstrahlwinkel η , unter dem die Direktnormalstrahlung auf eine um den Winkel β geneigte und in Richtung α orientierte Bauteiloberfläche trifft, gilt

$$\cos(\eta) = \sin(\gamma) * \cos(\beta) + \cos(\gamma) * \sin(\beta) * \cos(\alpha - \psi)$$

η : Einfallswinkel (senkrecht=0°)

γ : Höhenwinkel der Sonne

ψ : Azimut der Sonne (Süden=0°, positiv nach Westen, negativ nach Osten)

β : Neigung der Bauteiloberfläche gegen die Horizontale (senkrechte Wand=90°)

α : Azimut der Flächennormale des Bauteils (Süden=0°).

Die auf die Bauteiloberfläche fallende Direktstrahlung ist somit

$$\begin{aligned}
I_{\text{dir_ein}} &= I_{\text{dir_normal}} * \cos(\eta) \\
&= (I_{\text{glob}} - I_{\text{diffus}}) * \cos(\eta) / \sin(\gamma).
\end{aligned}$$

Der diffuse Anteil umfaßt die an der Luft ("Himmelsblau") und den Wolken gestreuten Strahlungsanteile, die aus allen Richtungen einfallen und näherungsweise als richtungsunabhängig behandelt werden. Gemessen wird der diffuse Anteil, indem durch einen Schattenring um das Solarimeter die direkte Einstrahlung der Sonne ausgeblendet wird. Das Messergebnis ist die aus dem gesamten Halbraum auf die horizontale Messfläche fallende Diffusstrahlung I_{diff} . Dieselbe Diffusstrahlung fällt (da richtungsunabhängig) auch auf eine beliebig orientierte und geneigte Bauteiloberfläche, nur muß hier berücksichtigt werden, daß für eine nicht horizontale Fläche der Himmel einen geringeren Teil ihres Gesichtsfeldes einnimmt und die Gesamtmenge an einfallender Diffusstrahlung entsprechend reduziert wird (eine senkrecht stehende Wand sieht nur in der oberen Hälfte ihres Gesichtsfeldes Himmel):

$$I_{\text{diff_ein}} = I_{\text{diff}} * (\cos(\beta/2))^2.$$

Zusätzlich können Sie noch die vom Erdboden reflektierte Globalstrahlung berücksichtigen:

$$I_{\text{refl_ein}} = \rho * I_{\text{glob}} * (\sin(\beta/2))^2,$$

wobei ρ die kurzwellige Albedo der Erdoberfläche ist und isotrope Reflexion angenommen wird. WUFI vernachlässigt in der gegenwärtigen Version diesen reflektierten Beitrag.

Die gesamte Einstrahlung auf die Bauteiloberfläche ist nun die Summe der Einzelbeiträge:

$$I_{\text{ein}} = I_{\text{dir_ein}} + I_{\text{diff_ein}} + I_{\text{refl_ein}}.$$

Sie können diese Umrechnungsmethoden nun nach Ihren eigenen Bedürfnissen modifizieren oder erweitern. Beispielsweise können Sie Verschattungen berücksichtigen, indem Sie für die Zeitpunkte, zu denen die Sonne hinter dem Hindernis steht, die Direktstrahlung auf Null setzen und für alle Zeitpunkte das durch das Hindernis eingeschränkte Gesichtsfeld für die diffuse Einstrahlung berücksichtigen. Andererseits ist für die Zeitpunkte, zu denen die Sonne die Vorderseite des Hindernisses bescheint, evtl. reflektierte Strahlung anzusetzen.

Hinweis: wenn Sie über einen längeren Zeitraum (z.B. eine Stunde) gemittelte Strahlungsdaten vorliegen haben und umrechnen wollen, ist folgendes zu beachten:

Es empfiehlt sich, die Sonnenstände für die Mitte des Messintervalls zu berechnen, also z.B. die zwischen 9h und 10h gemessenen und gemittelten Daten mit der für 9:30h berechneten Sonnenposition umzurechnen.

Wenn während eines solchen Messintervalls die Sonne auf- oder untergegangen ist (was Sie anhand der Sonnenhöhe leicht feststellen können), so ist die Sonnenposition nicht für die Mitte des Messintervalls, sondern für die Mitte des Sichtbarkeitszeitraums zu bestimmen.

Unabhängig von der Dauer des Messintervalls sollte auf die Auswertung von Strahlungsdaten bei sehr niedrig stehender Sonne verzichtet werden, da die Direktnormalstrahlung unter diesen Umständen aus sehr kleinen und stark fehlerbehafteten Messwerten für die streifend einfallende Direktstrahlung hochgerechnet werden muß.

Nähere Details zu diesen Umrechnungsmethoden sind zu finden in:
VDI 3789 Umweltmeteorologie, Blatt 2: Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung.

Die mit WUFI gelieferte Wetterdatei IBP1991.WET enthält neben Global- und Diffusstrahlung auch gemessene Weststrahlungsdaten, an denen Sie Ihr Umrechnungsprogramm ggf. testen können.

Weiter mit [Umrechnungstabelle](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Umrechnungstabelle

Diese Tabelle enthält die Umrechnungsfaktoren, die WUFI zum Übergang zwischen SI-Einheiten und IP-Einheiten verwendet:

Größe	SI-Einh.	IP-Einh.	SI→IP	IP→SI
Länge	m	in	1/0.0254	0.0254
Länge	cm	in	1/2.54	2.54
Länge	mm	in	1/25.4	25.4
Länge	m	ft	1/0.3048	0.3048
Rohdichte	kg/m ³	lb/ft ³	1/16.01846	16.01846
Porosität	m ³ /m ³	ft ³ /ft ³	1.0	1.0
Temperatur	°C	°F	(**)	(**)
Temperaturunterschied	°C	°F	1.8	1/1.8
spez. Wärmekapazität	J/kgK	Btu/lb°F	1/4.1868E3	4.1868E3
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	Btu/h ft°F	0.57779	1/0.57779
Wärmeleitfähigkeitszuschlag	%/M.-%	%/M.-%	1.0	1.0
Wärmeübergangswiderstand	m ² K/W	h ft ² °F/Btu	5.679	1/5.679
Wärmeübergangskoeffizient	W/m ² K	Btu/h ft ² °F	1/5.678263	5.678263
Wärmestrom	W/m ²	Btu/h ft ²	1/3.154591	3.154591
relative Feuchte	-	-	1.0	1.0
relative Feuchte	%	%	1.0	1.0
sd-Wert	m	perm	(***)	(***)
Diffusionswiderstandszahl	-	perm in	(****)	(****)
Wassergehalt	kg/m ³	lb/ft ³	1/16.01846	16.01846
w-Wert	kg/m ² √s	lb/in ² √s	1/703.0696	703.0696 (*)
Flüssigtransportkoeffizient	m ² /s	ft ² /s	10.764	1/10.764
Wassergehaltsbilanz	kg/m ²	lb/ft ²	1/4.882428	4.882428
Druck	kPa	lbf/in ²	1/6.894757	6.894757
Regenmenge	Ltr/m ² =mm	in	1/25.4	25.4

$$(*) = 0.4535924 / 0.0254^2$$

$$(**) \quad t/^{\circ}\text{F} = 9/5 * (t/^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$t/^{\circ}\text{C} = 5/9 * (t/^{\circ}\text{F}) - 17.777\dots$$

$$(***) \quad \text{sd/m} = 3.28 / (\Delta/\text{perm})$$

$$\Delta/\text{perm} = 3.28 / (\text{sd/m})$$

Δ : permeance

$$(****) \quad \mu/[-] = 128.8 / (\Pi/(\text{perm in}))$$

$$\Pi/(\text{perm in}) = 128.8 / (\mu/[-])$$

Π : permeability

Bitte beachten Sie, daß beim **Umschalten** zwischen den Einheitensystemen die neuen Zahlenwerte eventuell gerundet werden müssen, um in die Textfelder der Dialoge zu passen, so daß sich beim Zurückschalten nicht mehr genau die

ConversionFactorTable

\$ Umrechnungstabelle

+ 6020

K Umrechnungstabelle;Umrechnungsfaktoren;SI;IP;Einheitensysteme

Originalwerte ergeben.

Weiter mit [Versionsinfo](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Versionsinfo

	WUFI Pro	WUFI light	WUFI ORNL/IBP
Bauteilaufbau:			
manueller Gittereditor	•	-	-
Gitterdaten als Tabelle	•	-	-
Materialdaten editierbar	•	1)	1)
Anz. Monitorpos.	beliebig	0	2
Max. Anz. Schichten	120	10	10
Orientierung/Neig./Höhe:			
Neigung frei wählbar	•	0° oder 90°	0° oder 90°
Neigung kann als Gradzahl eingegeben werden	•	-	-
Anz. Richtungen	8	4	4
Vordefinierte Gebäudehöhen wählbar	•	•	•
Regenkoeff. editierbar	•	-	-
Regenlast nach ASHRAE 160P	•	-	nur vordef. Parameter
Oberfl.überg.koeff.:			
Werte editierbar	•	-	-
Explizite Strahlungsbilanz	•	-	-
Anfangsbedingungen:			
"konstant"er Wert editierbar	•	•	•
"in einzelnen Schichten"	•	-	-
"Aus Datei"	•	-	-
Anfangstemp. editierbar	•	•	•
Quellen und Senken:			
Anzahl Wärmequellen	beliebig	0	0
Anzahl Feuchtequellen	beliebig	0	1 (1% fest)
Anzahl Belüftungsquellen	beliebig	0	0
Klima:			
Mitgelieferte Dateien	alle	je nach Sprache	Nordamerika
Benutzerdefinierte Dateien	•	-	-
Für linke Seite nur Auswahl aus Karte	-	•	•
Für rechte Seite nur Sinuskurven	-	•	•
WTA-Außenbedingungen	•	-	-
Sinusparameter editierbar	•	-	-

Rechnung:

VersionInfo

\$ VersionenInfo

+ 6030

K Version;Versionen;WUFI Pro;WUFI light;WUFI ORNL/IBP

Numerische Optionen	•	-	-
Rechnung über max. 2 Jahre	-	•	•
Rechnungsbeginn editierbar	•	•	•
Zeitschritt editierbar	•	-	-
Zusätzliche Profile	•	-	-
Schnellgrafik:			
Export der Schnellgrafiken	•	-	-
Film:			
Filmbetrachter auch nach der Rechnung aufrufbar	•	-	-
Filmexport möglich	•	-	-
Externer Filmbetrachter wird mit Film "example.fid" gestartet	-	•	•
Allgemein:			
Optionen für Report	•	-	-
Editieroptionen für Ergebnisgrafiken	•	-	-
Öffnen alter Projektdateien	•	-	-
Einheitensystem umschaltbar	•	-	•
Einlesen von Messdaten	•	-	-
ASCII-Ausgabe möglich	•	-	-
Anzahl Varianten	beliebig	2	2

1) nur Dicke, typische Baufeuchte, Info-Text.

Weiter mit [Batch-Betrieb](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Batch-Betrieb

WUFI kann auch über die Kommandozeile aufgerufen werden, so dass mit einer entsprechenden Batch-Datei ein automatisierter Betrieb möglich wird. Damit lassen sich z.B. umfangreichere Rechnungen (wie etwa Parameterstudien) übers Wochenende erledigen.

Der Aufruf erfolgt über

```
WUFI Projektdateiname [Optionen]
```

Der Name der zu bearbeitenden Projektdatei wird über den Parameter *Projektdateiname* übergeben. Es stehen mehrere Optionen zur Verfügung, mit denen die auszuführenden Aktionen gesteuert werden können:

- c** Berechnung der aktuellen Variante starten
- C** Berechnung aller Varianten starten
- s** Speichern
- f** Film-Export. Die erstellte Filmdatei erhält den Namen %Projektdateiname%_%Variantenindex%.fid; der Variantename wird als Filmtitel übernommen
- v** ASCII-Export ausgewählter Verläufe. Die Auswahl der gewünschten Verläufe erfolgt über eine Bitmaske (z.B. 0110001), die sich auf die Liste zur Verfügung stehender Verläufe im Dialog [Ergebnisse: ASCII-Ausgabe](#) bezieht. Anzahl und Reihenfolge der Verläufe in dieser Liste hängen von der Anzahl der Schichten und der Anzahl der Monitorpositionen im Projekt ab.
Beispiele:
-v010 gibt den Verlauf der Strahlung (Außenklima) aus,
-v0000000000001 gibt den Verlauf des Gesamtwassergehalts aus (Listenposition 13), falls keine zusätzlichen Monitorpositionen definiert wurden. Für zusätzliche Monitorpositionen vorhandene Verläufe würden den Gesamtwassergehalt in der Liste weiter nach hinten verschieben.

Diese Option kann nicht zusammen mit der Option **-C** verwendet werden.

Der Name der ausgegebenen Datei ist %Projektdateiname%_%Variantenindex%.asc, falls kein anderer Dateiname voreingestellt ist. Um einen anderen Namen für die Ausgabedatei vorzugeben, öffnen Sie den Dialog [Ergebnisse: ASCII-Ausgabe](#), geben Sie in das Eingabefeld "Ausgabedatei" den gewünschten Dateinamen ein, schließen Sie den Dialog mit "OK" und

```
# BatchJob
$ Batch-Betrieb
+ 6035
^K Batch-Job;Batch-Betrieb;Batch
```

speichern Sie das Projekt ab.

Die Optionen werden nur ausgeführt, wenn der Projektdateiname angegeben und **-c** oder **-C** in der Optionenliste enthalten ist. Die Reihenfolge der Optionen in der Optionenliste ist beliebig; die Schreibweise **/c** etc. ist ebenfalls zulässig.

Versionsnotiz: Batchbetrieb ist nur mit WUFI Pro möglich.

Weiter mit [Glossar](#)

Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

Glossar

Bauteil

Das Bauteil ist das Bauelement, das mit WUFI untersucht werden soll. Es kann sich z.B. um einen kompletten Wand- oder Dachquerschnitt handeln, oder nur einen Teil davon. In den meisten Fällen setzt es sich aus mehreren Schichten zusammen, welche aus verschiedenen Materialien bestehen.

Die Schichtabfolge, die den Aufbau des Bauteils definiert, ist der →Bauteilaufbau.

Bauteilaufbau

Der Bauteilaufbau beschreibt die Abfolge und Dicke der Schichten, aus denen das →Bauteil besteht, sowie ihre jeweiligen Materialkennndaten.

Die Eingabe des Bauteilaufbaus im Dialog "[Aufbau / Monitorpositionen](#)" ist eine der Hauptaufgaben bei der Durchführung einer WUFI-Simulation.

Film

Beim Film handelt es sich um einen der von WUFI ausgegebenen Ergebnistypen. Der Film enthält alle Profile der Temperatur, der relativen Feuchte und des Wassergehalts, die während der Simulation berechnet wurden. Diese Profile werden unmittelbar während der [Simulation](#) in schneller Abfolge angezeigt, können aber auch nach der Rechnung noch einmal in Ruhe im Filmdialog betrachtet werden. Das Betrachten dieser Profilabfolge als 'Film' verschafft dem Benutzer einen dynamischen Eindruck von den Vorgängen im Bauteil und ein vertieftes Verständnis der ablaufenden thermischen und hygrischen Transportprozesse. Siehe auch "[Was liefert mir WUFI?](#)".

Die anderen Ergebnistypen sind die →Verläufe und die →Profile.

Klima

Das Klima beschreibt die Randbedingungen, die auf die Innen- und Außenoberflächen des →Bauteils einwirken. In der Regel wird das Außenklima vom Wetter bestimmt (und daher durch Wetterdaten beschrieben), das Innenklima wird von den Innenraumbedingungen bestimmt. Die Begriffe "Wetter" und "Klima" werden in WUFI gleichbedeutend benutzt.

Außenklima und Innenklima werden im Dialog "[Klima](#)" spezifiziert.

Konstruktion

→Bauteil

Profile

Bei den Profilen handelt es sich um einen der von WUFI ausgegebenen

Glossary

\$ Glossar

+ 6040

K

Glossar;Bauteilaufbau;Bauteil;Variante;Klima;Wetter;Konstruktion;Verläufe;Film;Profile;Projekt;WUFI

Ergebnistypen. Die Profile zeigen die Verteilung bestimmter Größen über den Bauteilquerschnitt zu einem gewählten Zeitpunkt, wie z.B. die Temperatur oder die Feuchteverteilung. Im Dialog "[Ergebnisgrafiken](#)" werden die Profile als graphische Kurven ausgegeben. Siehe auch "[Was liefert mir WUFI?](#)".

Die anderen Ergebnistypen sind die →Verläufe und der →Film.

Projekt

Alle Eingabedaten und die Rechenergebnisse zusammen stellen das Projekt dar. Alle diese Daten werden in einer Projektdatei *.WUG abgespeichert. Vergessen Sie nicht, nach einer Rechnung das Projekt nochmals abzuspeichern, da sonst die Rechenergebnisse beim Schließen von WUFI verlorengehen.

Die Rechenergebnisse in der Projektdatei umfassen die →Verläufe, die →Profile und den →Film. Sie können beliebige dieser Daten vom Speichern [ausschließen](#), um die Dateigröße zu reduzieren.

Verläufe

Bei den Verläufen handelt es sich um einen der von WUFI ausgegebenen Ergebnistypen. Verläufe beschreiben die zeitliche Entwicklung bestimmter Größen wie des Wassergehalts im Bauteil oder der Wärmeströme durch die Oberflächen. Im Dialog "[Ergebnisgrafiken](#)" werden die Verläufe als graphische Kurven ausgegeben. Siehe auch "[Was liefert mir WUFI?](#)".

Die anderen Ergebnistypen sind die →Profile und der →Film.

Wetter

→Klima

Variante

Eine Projektdatei kann mehrere →Projekte, sogenannte Varianten, enthalten. Dies dient zur übersichtlichen Verwaltung von Untersuchungen, die eine Reihe von Rechnungen mit demselben Thema erfordern, welche sich aber im Detail unterscheiden (z.B. Parameterstudien). Im Prinzip sind allerdings alle Varianten unabhängig voneinander, und Sie können völlig unterschiedliche Projekte in einer Projektdatei abspeichern, wenn Sie wollen.

WUFI

WUFI (**W**ärme **u**nd **F**euchte **i**nstationär) ist ein PC-Programm zur hygrothermischen (d.h. Wärme und Feuchte betreffenden) Simulation von Bauteilen.

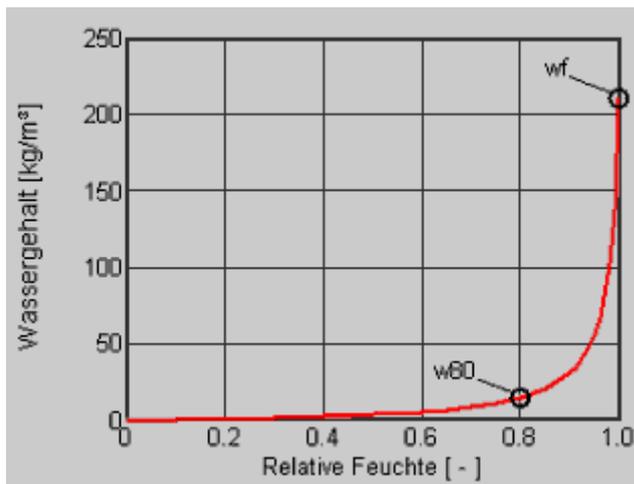
Zum [Inhaltsverzeichnis](#)

#§

Die **approximierte** Feuchtespeicherfunktion ist eine analytische Kurve, die durch die Feuchtegehalte für 0%, 80% and 100% rF gelegt wird. Diese Feuchtegehalte sind für viele Materialien bekannt, selbst wenn für diese keine vollständig gemessene Feuchtespeicherfunktion vorliegt: der Feuchtegehalt bei 80% rF ist der praktische Feuchtegehalt und der Feuchtegehalt bei 100% rF ist die freie Sättigung.

Die Approximation kann nützlich sein, wenn zu erwarten ist, daß die Form der tatsächlichen Feuchtespeicherfunktion der analytischen Kurve hinreichend ähnlich ist, was aber nicht immer zutrifft.

Beispiel:

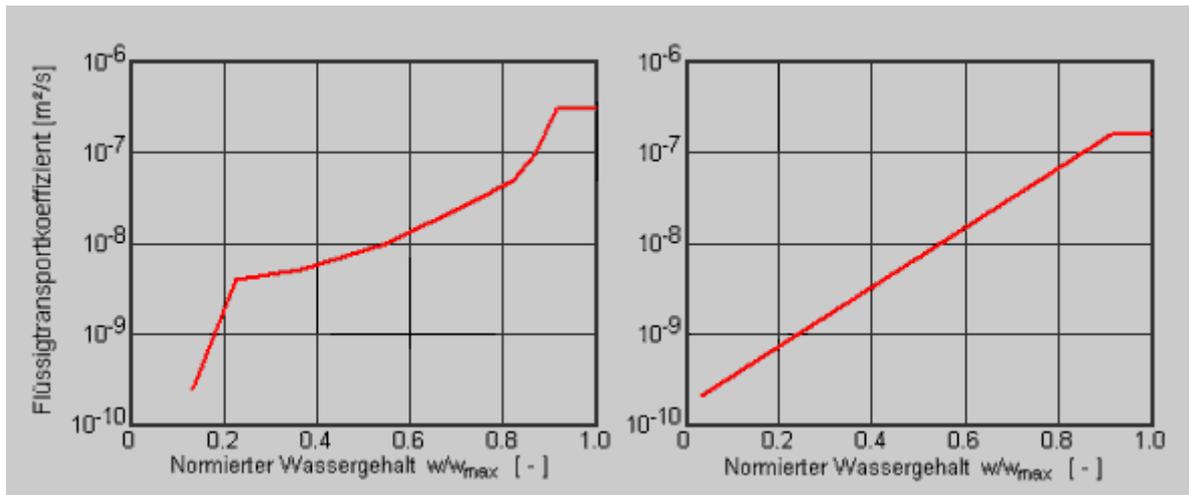


#§

Wenn zur Feuchteabhängigkeit bestimmter Materialkenndaten keine detaillierten Werte vorliegen, kann eine Tabelle mit für bestimmte Feuchtegehalte geschätzten Werten aus geeigneten Standardkennwerten **generiert** werden.

Einige der für diese Schätzungen benutzten Methoden beruhen auf theoretischen Annahmen, die nicht für alle Materialien zutreffen müssen (d.h. bei den meisten Materialien führt das Schätzen zu brauchbaren Werten, bei einigen nicht).

Beispiel: Flüssigtransportkoeffizienten, gemessen (links) und aus einem Wasseraufnahmekoeffizienten von $0.043 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{s}}$ generiert (rechts).



WUFI kann generieren:

- Flüssigtransportkoeffizienten (aus Wasseraufnahmekoeffizient und freier Sättigung)
- Wärmeleitfähigkeit feuchteabhängig (aus Wärmeleitfähigkeit trocken, Rohdichte und Feuchtezuschlag)

Hilfe_Allgemein_C_DEF2

\$ Def: Generieren

#§

Zahlreiche Daten werden in WUFI in Form einer **Tabelle** eingegeben. Einträge werden direkt im betreffenden Feld vorgenommen. Mit den Cursortasten können Sie sich zwischen den einzelnen Einträgen und Zeilen bewegen. Sie können **neue** Zeilen anlegen und alte **entfernen**, ganze Zeilen in eine Art "Zwischenablage" **kopieren** und an anderer Stelle wieder **einfügen**. Reicht der Platz nicht zur Darstellung der ganzen Tabelle, können Sie andere Teile mit dem Rollbalken oder den "Bild auf"- und "Bild ab"-Tasten erreichen.

Beispiel:

Nr.	Rel. Feuchte [-]	Wassergehalt [kg/m³]
1	0,0	0,0
2	0,1	8,5
3	0,3	17,6
4	0,65	27,5
5	0,8	35,6
6	0,9	43,1
7	0,93	46,5
Kop.: 0,8	35,6	

Neu
Entleeren
Kopieren
Einfügen

WF_HLP_DEF1
\$ Def: Tabelle

