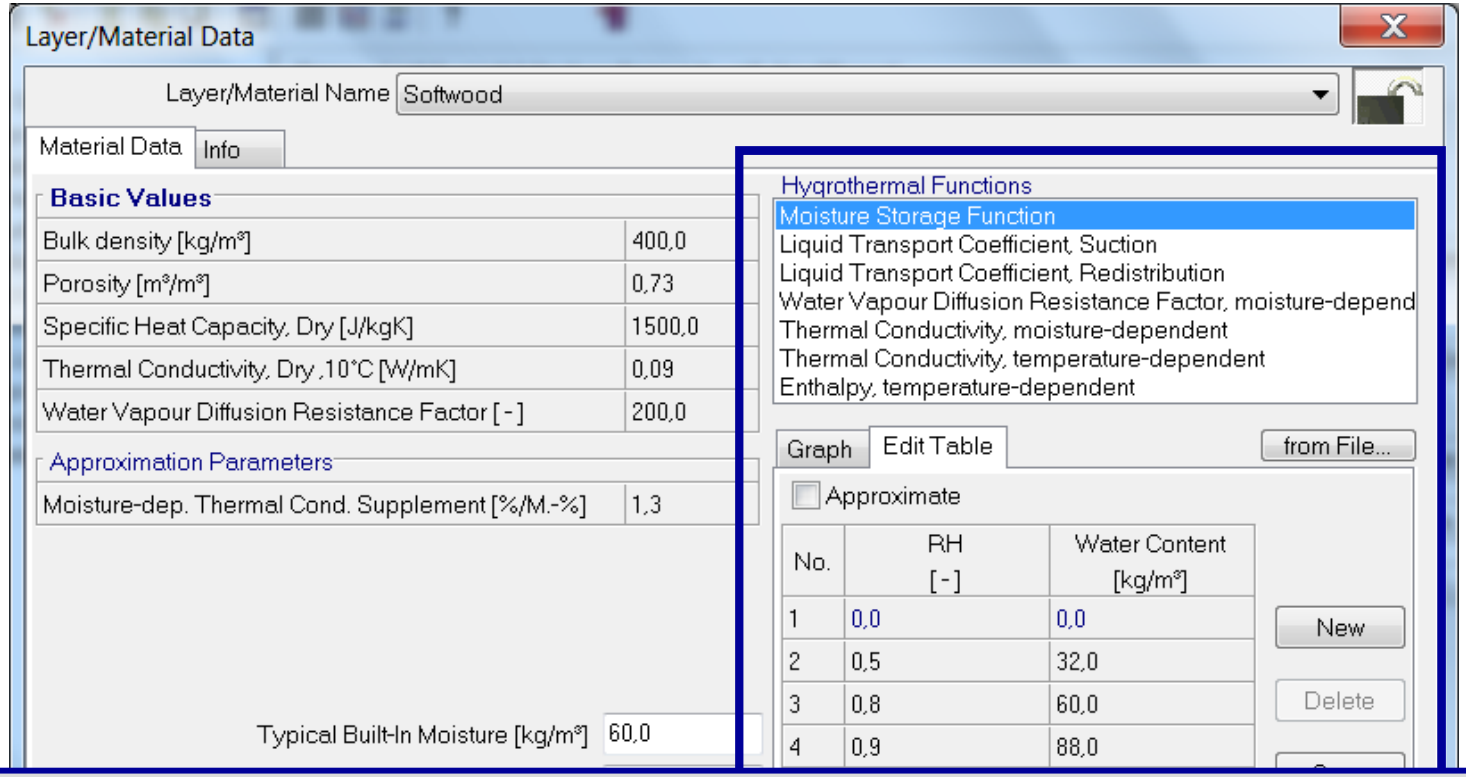
内容 Inhalt

基本的なデータ Grundkennwerte

熱と湿気に関する関数 Hygrothermische Funktionen

熱と湿気に関する関数 Hygrothermische Funktionen



熱と湿気に関する関数 Hygrothermische Funktionen beschreiben:

この関数は、特別な性質（例えば毛細管輸送が行われる）をもつ建材や、基本的な物性をより詳しく記述する（例えば熱伝導率の湿度依存）ために必要。

Eigenschaften, die bei nur bei einem Teil der Materialien vorhanden sind (z.B.: Kapillartransport)
Verfeinerungen von Grundkennwerte (z.B. feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit)

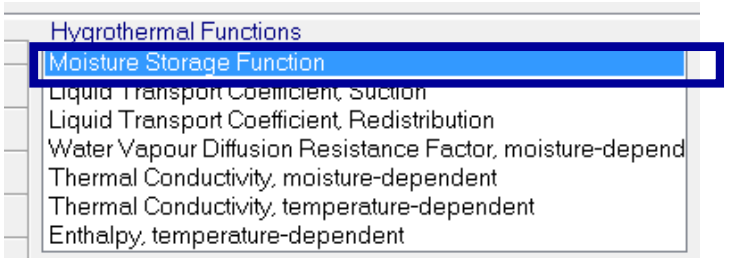
Fraunhofer IBP

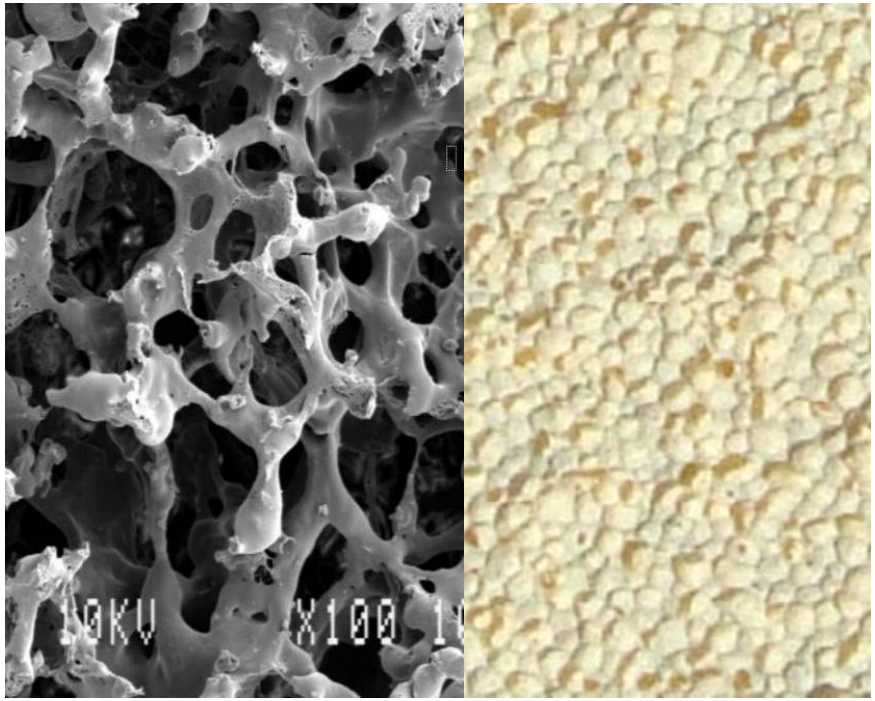
平衡含水率 Feuchtespeicherung

周辺空気の相対湿度により、建材に含まれる湿気の量

Feuchtemenge, die in Abhängigkeit von der relativen Feuchte der Umgebungsluft in das Material eingelagert wird

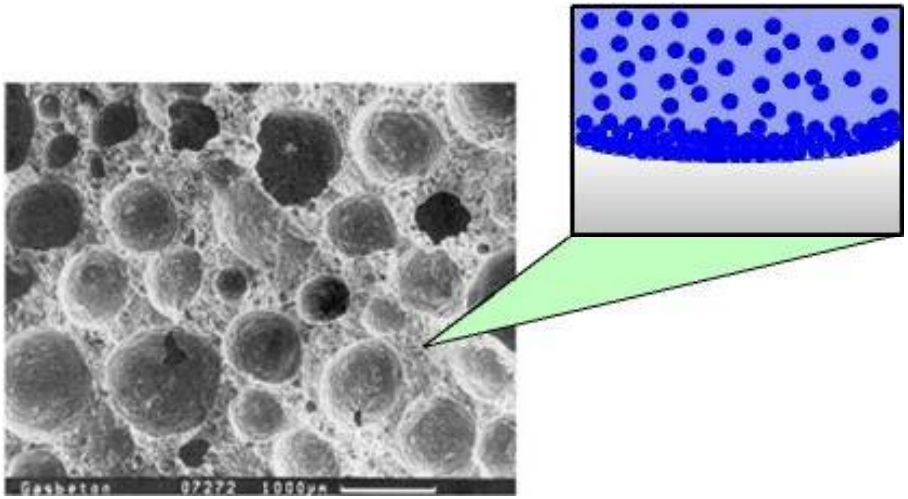
- 吸湿性のある建材に必要
  Wichtig für alle hygroskopischen Baustoffe
- 湿った空気中にあっても乾燥している建材、つまり化学結合のみで水分子を含む建材は、吸湿性がない、と言う
  Materialien, die bei Kontakt mit feuchter Luft trocken bleiben, d. h. kein oder nur chemisch gebundenes Wasser enthalten, bezeichnet man als nicht hygroskopisch

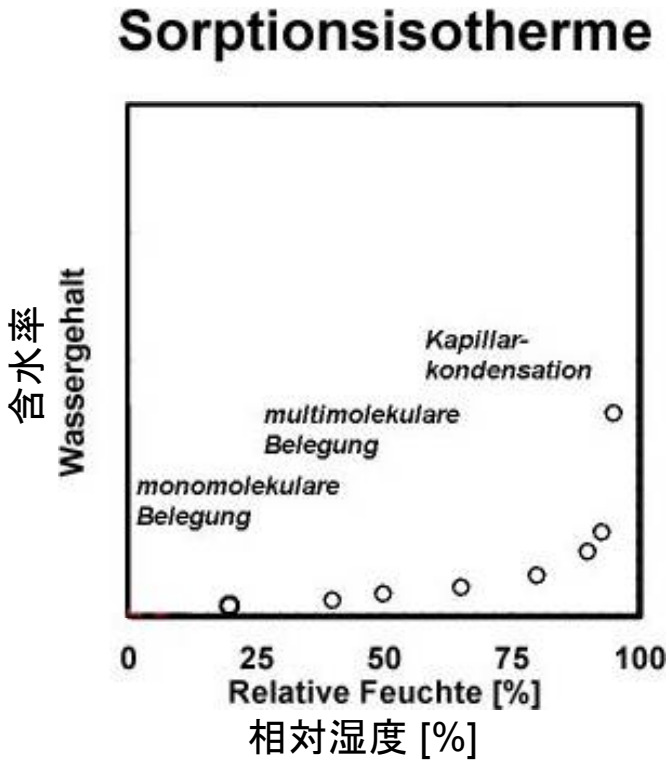




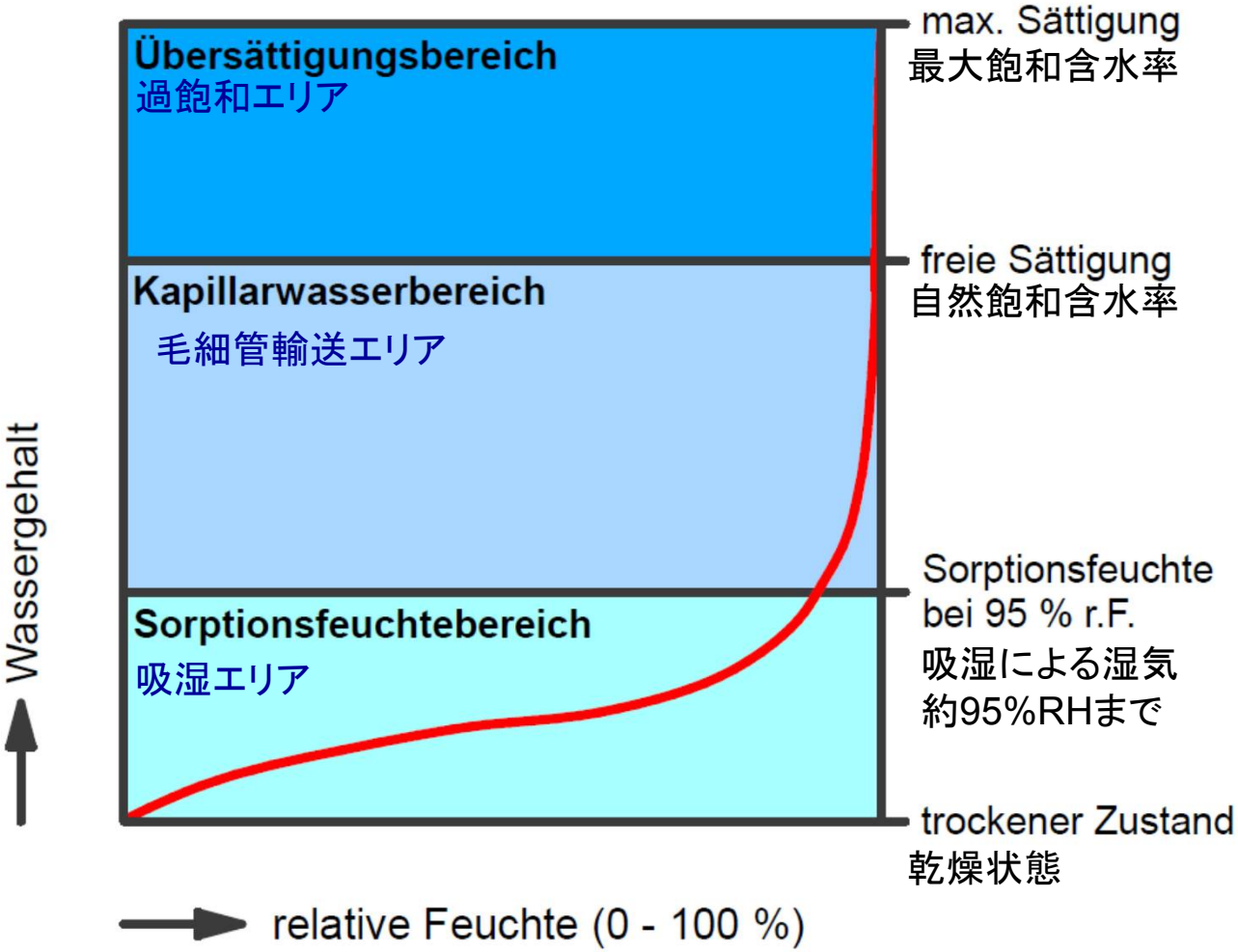
平衡含水率 Feuchtespeicherung

- 水分子は吸湿性のある材料の表面に付着する
  Wassermoleküle lagern sich an Oberflächen von hygroskopischen Stoffen an
- 空隙の表面積は大きい
  Porenraum bietet große Oberfläche
- 湿度が高いほど、分子の層が厚くなる
  Je höher die Feuchte, desto dicker die Molekülschicht





平衡含水率 Feuchtespeicherung



平衡含水率 Feuchtespeicherung

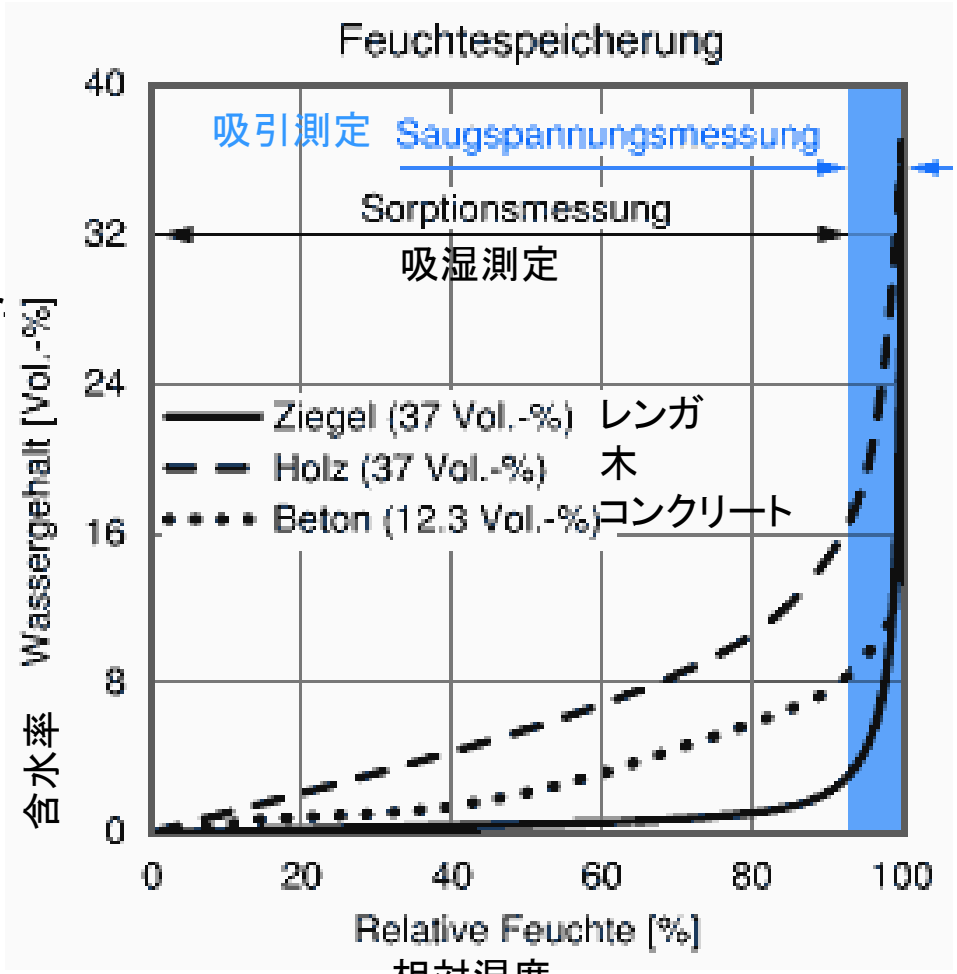
- **97%RHまでは吸湿測定**(ある相対湿度の空気中に、これ以上吸湿しなくなるまで試験体を放置する)で測定する
  Bestimmung der Feuchtespeicherung im Bereich **bis 97 % r.F.** mittels **Sorptionsmessung**:

  Lagerung von Materialproben bei unterschiedlicher Feuchte bis zum Erreichen der Massenkonstanz

- **97%RH 以上は吸引測定**を行う
  Über 97 % r.F. ggf. Bestimmung durch **Saugspannungsmessung**

- 飽和含水率は試験体を水中に沈めてこれ以上吸水しなくなるまで放置する
  Bestimmung von $\mathbf{u_f}$ z.B. durch **Unterwasserlagerung**

平衡含水率



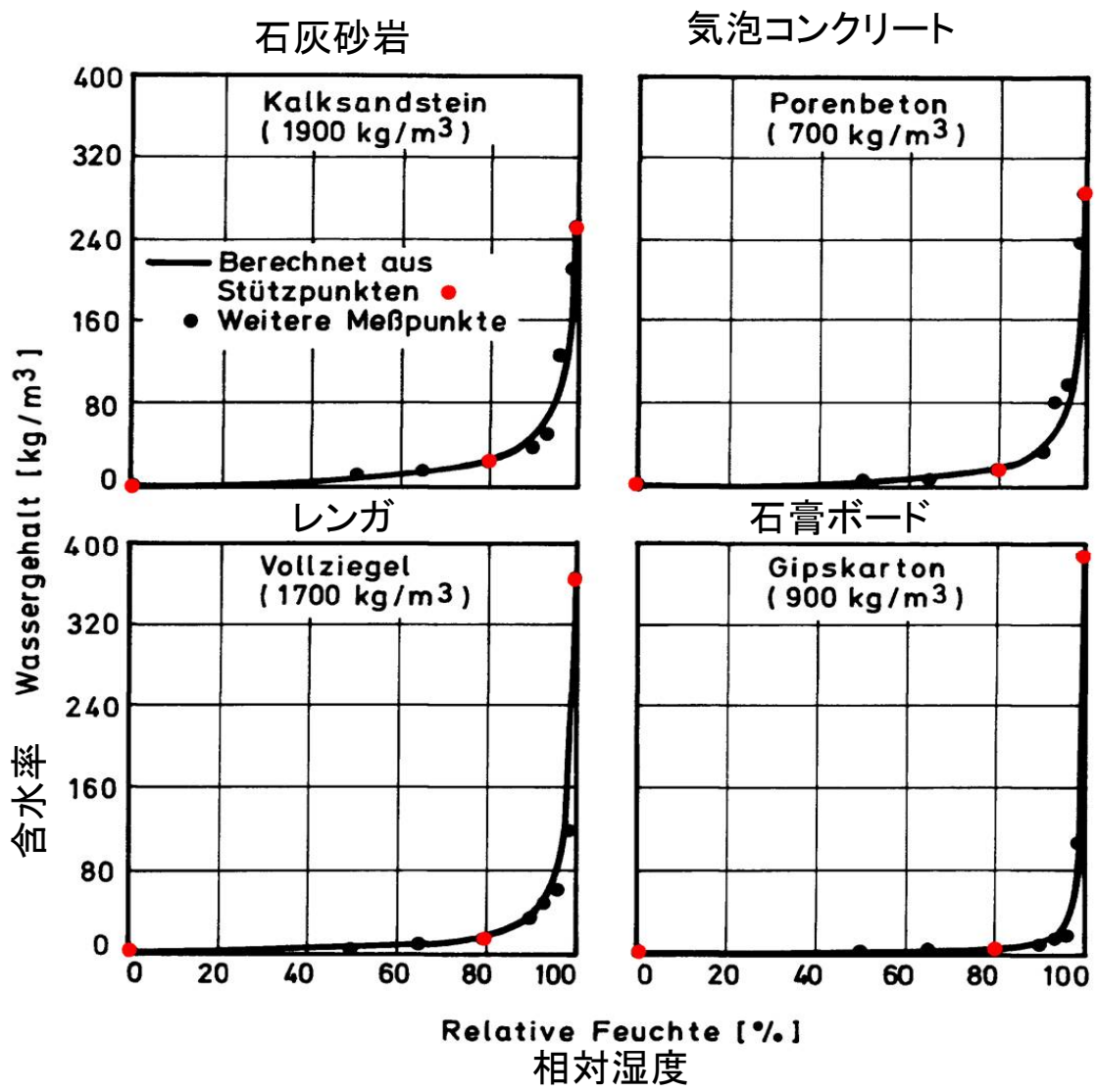
相対湿度

平衡含水率 Feuchtespeicherung

- 測定に時間がかかる
  Messung relativ aufwendig und zeitintensiv
- 一般的な曲線に当てはまるよう、簡単に近似する方法がある
  Einfache Einschätzung mittels typ. Kurve, angepasst an Stoffkennwerte

簡単な近時には相対湿度が0%,80%,100%の時の含水率を使う
Einfache **Approximation** basierend auf drei Stützpunkten: w_0, w_{80}, w_f

木材と木質材料にはこの方法は使えない！
Nicht für Holz und Holzwerkstoffe geeignet!



架空の平衡含水率曲線—Interne Feuchtespeicherfunktion –
吸湿性のない材料に与える架空の平衡含水率曲線

Berücksicht. von Materialien ohne Feuchtespeicherung in WUFI

- すべてのグリッド要素に含水率が割り当てられる必要がある

  für jedes Gitterelement muss ein Wassergehalt gegeben sein

- 相対湿度と含水率はいつも関連付けられていることが前提

  Definierter Zusammenhang Wassergehalt & relative Feuchte

- 吸湿性のない材料には注意が必要 Vorsicht bei Materialien ohne Feuchtespeicherung
  - 金属（親水性だが空隙がない）Metalle (hydrophil aber keine Porosität),
  - 発泡プラスチック（空隙があるが疎水性）Schaumkunststoffe (porös aber hydrophob)
  - 発泡ガラス（空隙があり親水性であるが、空隙が閉じていて透湿性がない）

    Schaumglas (porös, hydrophil, aber geschlossenzellig und dampfdicht)

⇨ **全ての材料**に、平衡含水率曲線が定義されている必要がある！
よってWUFIは、本来は吸湿性のない材料にも、架空の平衡含水率曲線を設定する
Jedem Material – auch ohne Feuchtespeicherung - muss für die Berechnung eine geringe Feuchtespeicherung zugewiesen werden! Daher verwendet WUFI für diese Materialien eine „interne Feuchtespeicherfunktion“

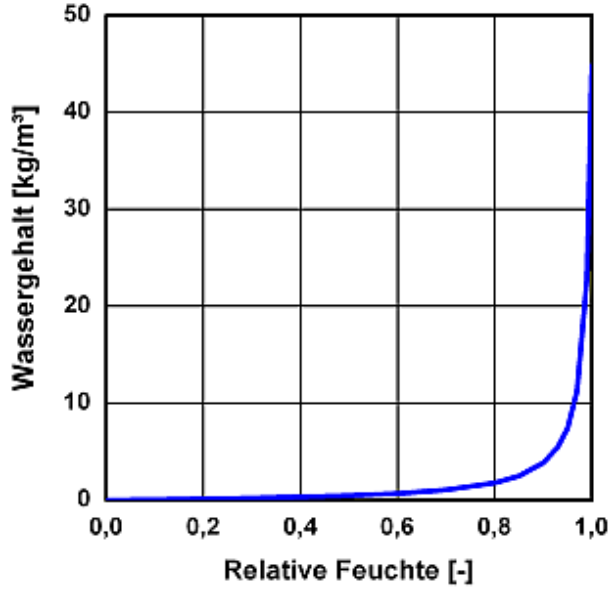
熱と湿気に関する関数 Hygrothermische Funktionen

架空の平衡含水率曲線は材料の**空隙率**を使って作成される。空隙率が大きいほど平衡含水率曲線の値が大きくなる

Die interne Feuchtespeicherfunktion wird in Abhängigkeit von der angegebenen **Porosität** des Materials erstellt – je höher die Porosität, desto höher das Niveau der internen FSP.

例：空隙率が0.95の材料(ロックウールなど)の内部の平衡含水率曲線

Beispiel: interne Feuchtespeicherfunktion für eine Porosität von 95 % (z.B. Mineralwolle)



架空の平衡含水率曲線を使った計算による含水率は人工的に高めの値となっているので、結果の検証には注意が必要！

⇒ 相対湿度のみを検証するべき。

ヒント：他の材料に与える影響は小さく、含水率は「安全側」の結果となる

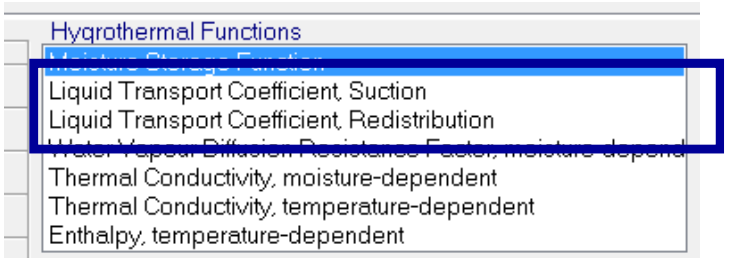
Resultierende Wassergehalte in diesen Materialien sind „künstlich“ erhöht und nur bedingt für eine Bewertung geeignet!!

⇨ Eine Bewertung sollte anhand der relativen Luftfeuchte erfolgen.

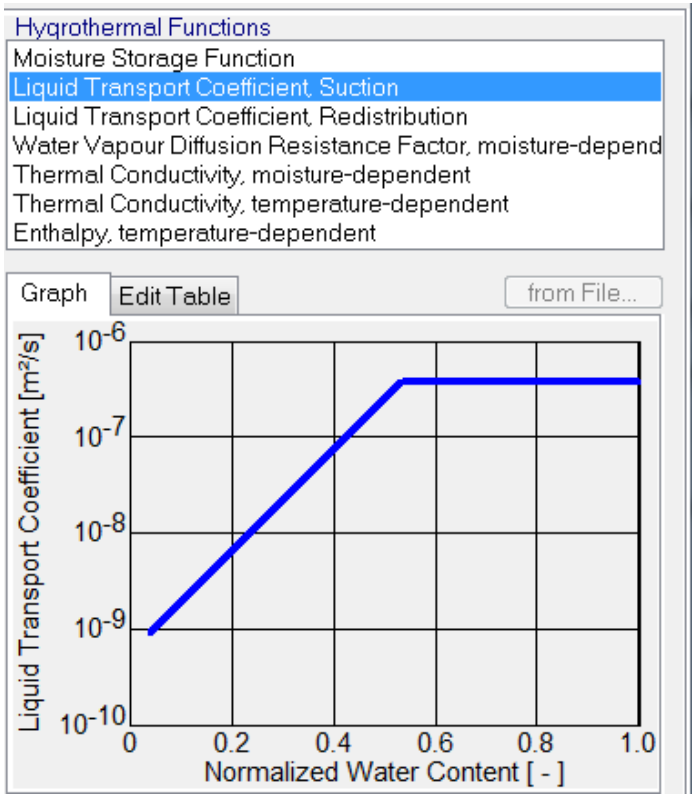
Hinweis: Einfluss auf andere Materialien eher gering und bezüglich der Feuchtegehalte i.d.R. auf der „sicheren Seite“

熱と湿気に関する関数 Hygrothermische Funktionen

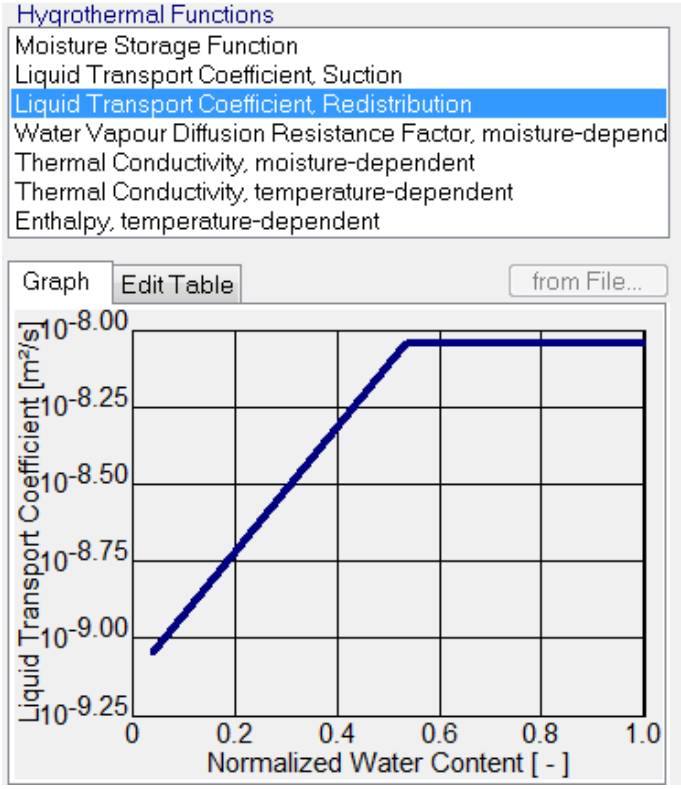
毛細管輸送 Kapillartransport



吸水 Saugen



分配、乾燥 Weiterverteilen, Trocknen

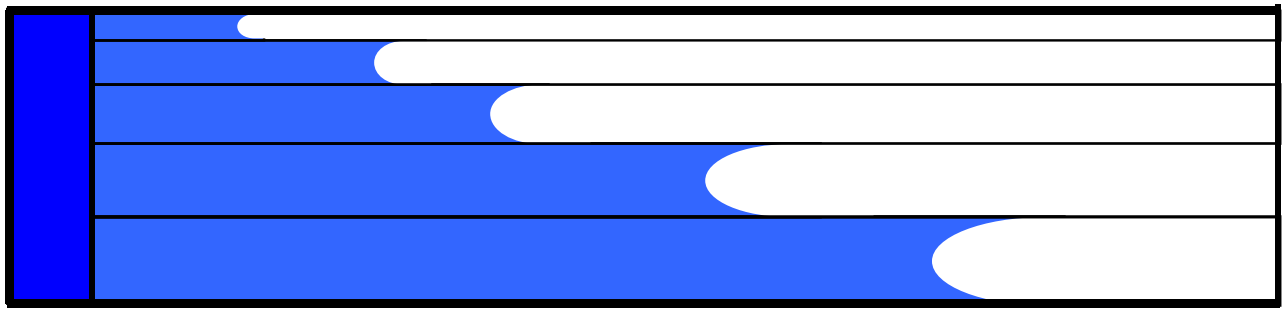


毛細管輸送—天候との関係 Kapillartransport – Freie Bewitterung

雨が降ると Beregnung

建材は液体としての水と接触することで湿る

Material wird nass durch Kontakt mit flüssigem Wasser:

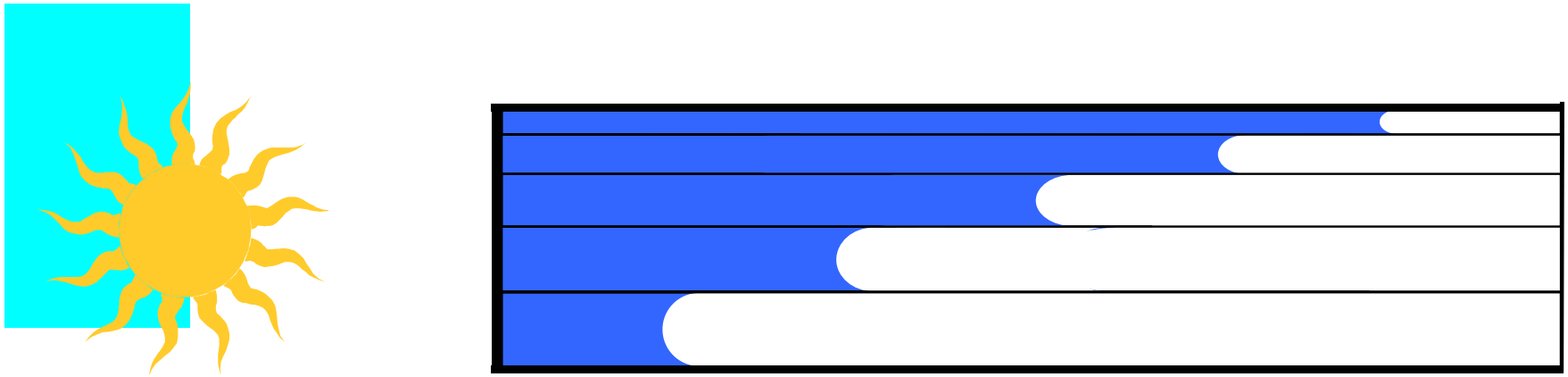


大きな毛細管ほど早く吸水する

Transportgeschwindigkeit in den großen Kapillaren dominant

毛細管輸送—天候との関係 Kapillartransport – Freie Bewitterung

雨がやむと Weiterverteilung, Trocknung



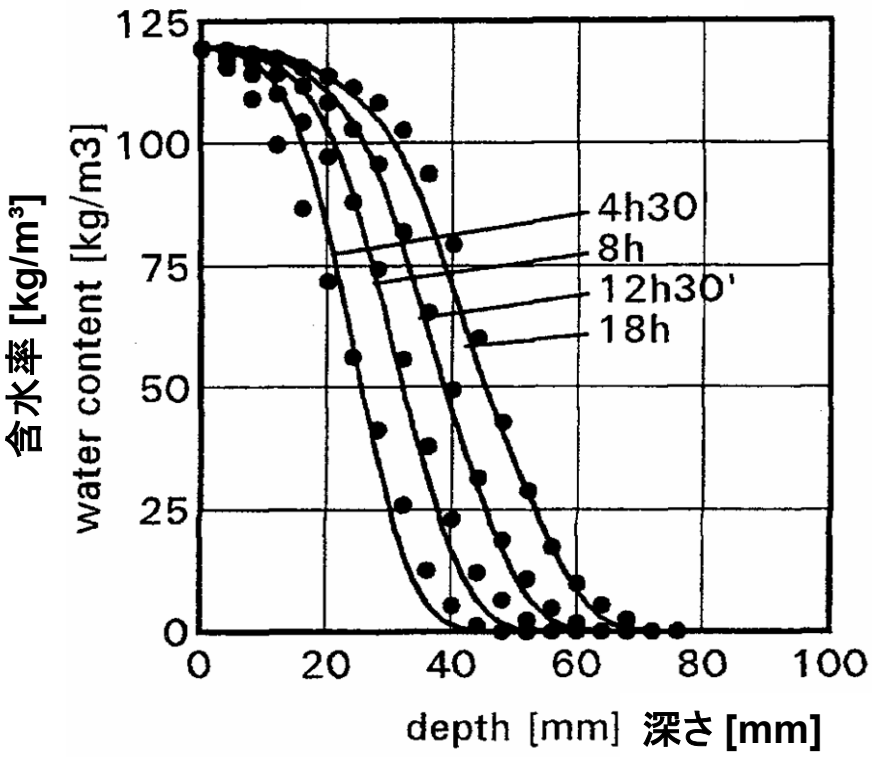
吸水された雨が建材の中のより小さな毛細管に分配される
Umverteilung des aufgenommenen Wassers in die kleinen, saugstarken Kapillaren

速度は遅くなる。

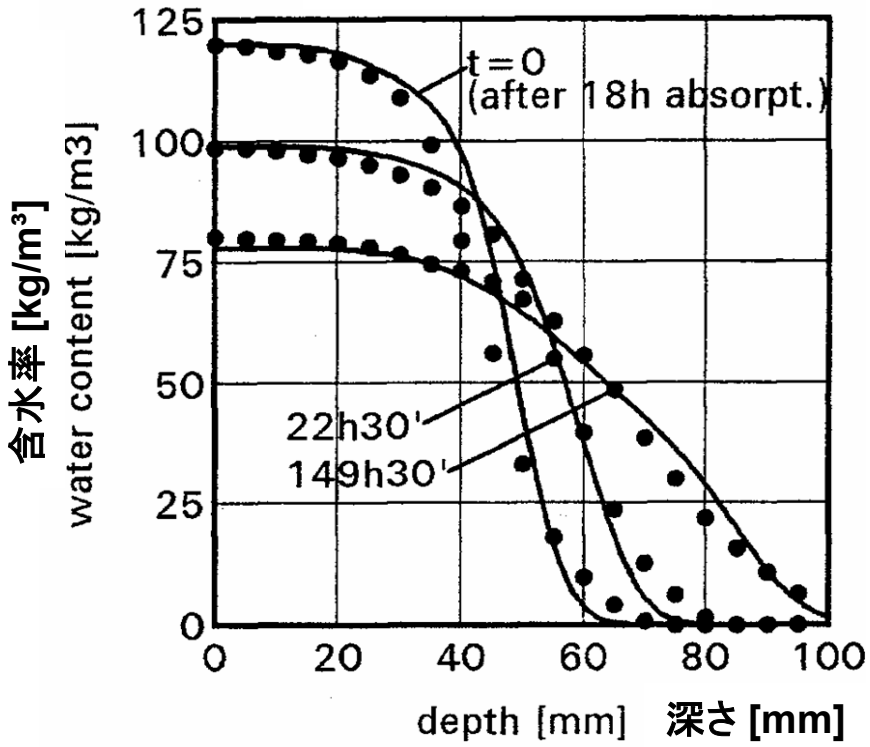
Abnehmende Transport-geschwindigkeit mit niedrigerem lokalem Wassergehalt

毛細管輸送—湿気の分布の測定 Kapillartransport - Messung der Feuchteprofile

吸水 Saugen



分配、乾燥 Weiterverteilen, Trocknen



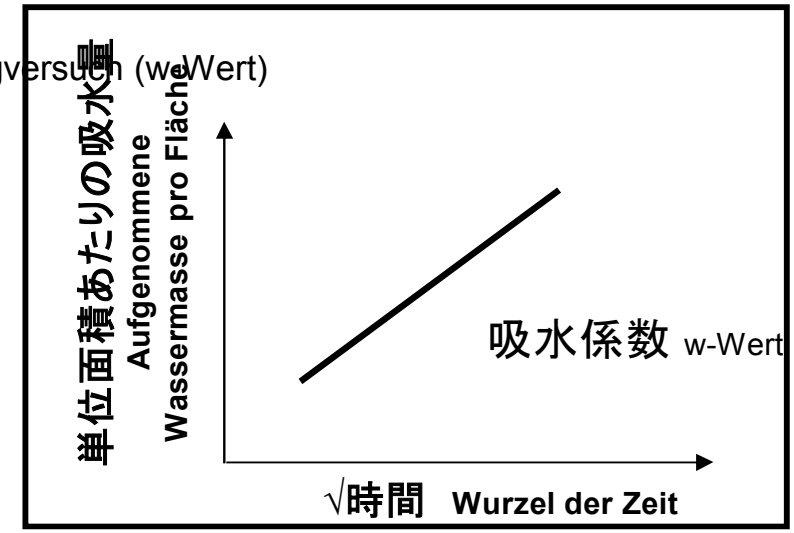
速度が明らかに異なる ⇒ ふたつの水分拡散係数が必要

Deutlich unterschiedliche Geschwindigkeiten → zwei Flüssigtransportkoeffizientenkurven notwendig!

毛細管輸送—吸水実験(w値) Kapillartransport – Saugversuch (w-Wert)

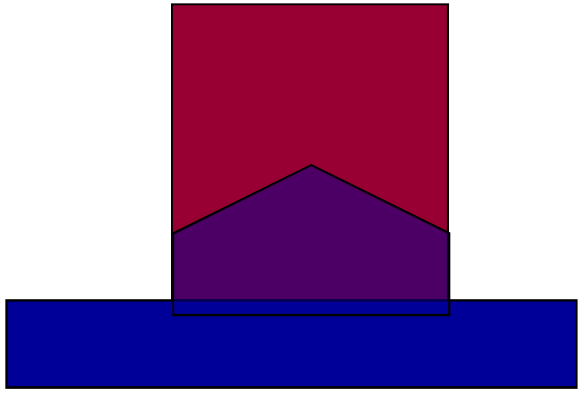
液体の水が建材の空隙に入っていく速度

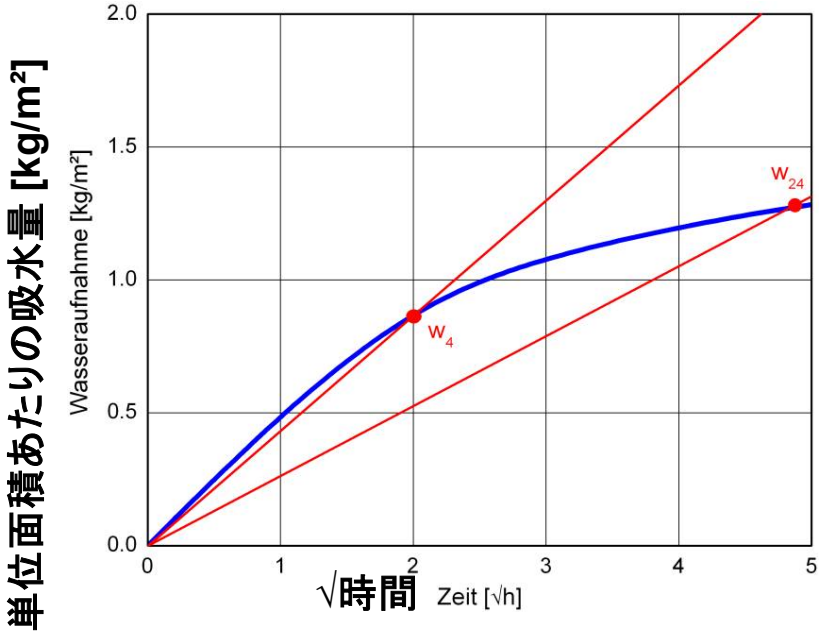
Transport von flüssigem Wasser in der Porenstruktur des Baustoffs.



吸水係数：建材が水と接触した場合に、単位時間あたり、単位面積あたりに、建材に入る水の量

Wasseraufnahmekoeffizient:
Wassermenge, die beim Kontakt mit flüssigem Wasser pro Zeiteinheit und Saugfläche von dem Baustoff aufgenommen wird





毛細管輸送 Kapillartransport

測定に時間がかかる！ Zeitaufwendige Messung!

代替方法：Alternative Möglichkeit:

吸水係数を使って見積もる

Transportkoeffizienten basieren auf w-Wert

Approximation mit Exponentialfunktion.

$$D_{ws}(w) = 3{,}8 \cdot (A / w_f)^2 \cdot 1000^{\,w / w_f - 1}$$

$$D_{ww}(w_f) = \frac{D_{ws}(w_f)}{10}$$

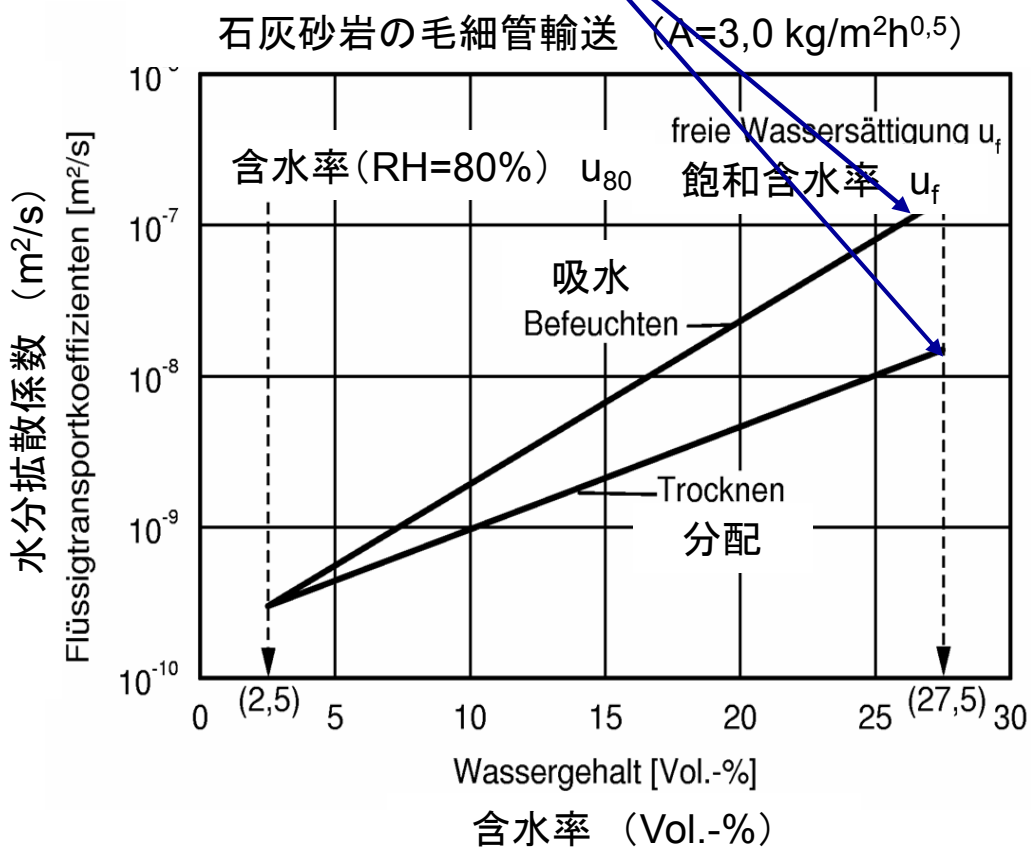
$D_{ws/ww}$ [m²/s] 水分拡散係数(ws:吸水、ww:分配)
Kapillartransportkoeffizient für den Saugvorgang

w [kg/m³] 含水率 Wassergehalt

A [kg/m²s^0,5] 吸水係数 Wasseraufnahmekoeffizient

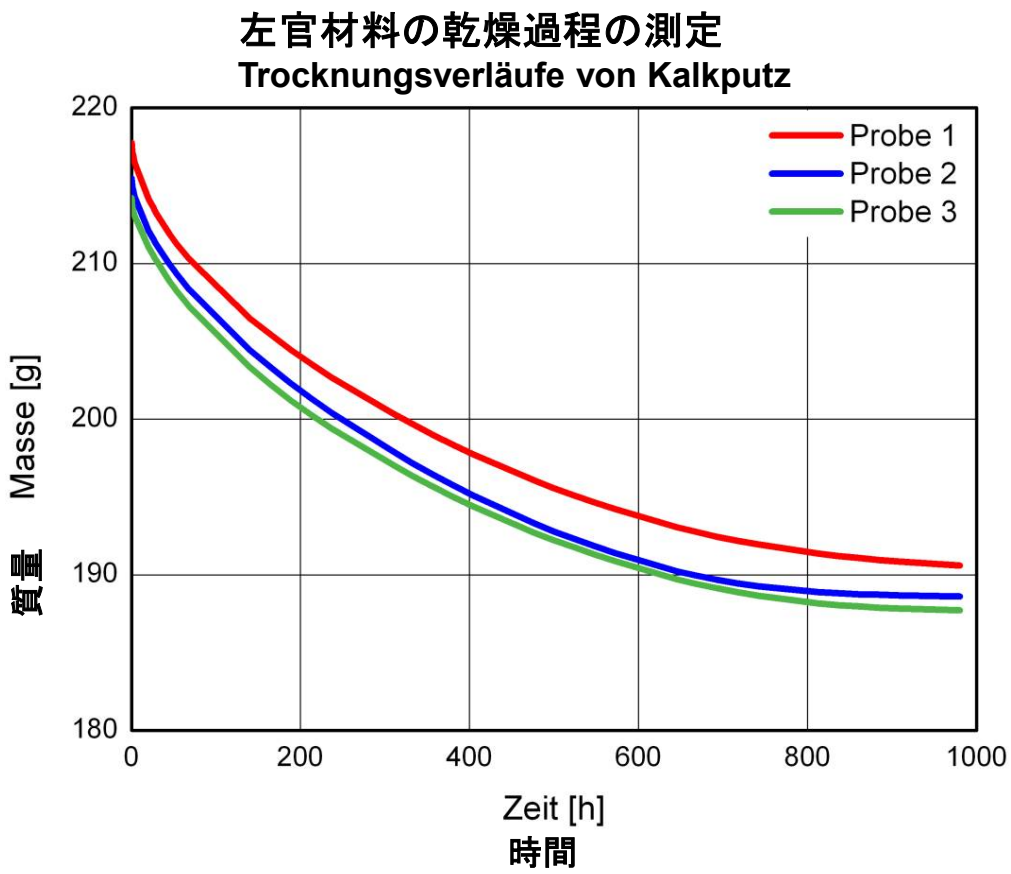
w_f [kg/m³] 飽和含水率 freie Wassersättigung

D_{ww} (w_f) は D_{ws} の10分の1
D_{ww} (w_f) um Faktor 10 kleiner als D_{ws}



毛細管輸送—乾燥過程の測定 Kapillartransport - Trocknungsversuch

- 自然飽和した材料を、人工気候室の中で乾燥させる
  Trocknung einer frei gesättigten Materialprobe unter stationären Randbedingungen
- 定期的に試験体の重さを量るRegelmäßige Wägung der Probe
- 測定によって得た含水率の変化を、熱湿気シミュレーションで再現することによって、より正確な水分拡散係数(分配)を求めることができる
  Nachberechnung des Wassergehaltsverlaufs mittels hygrothermischer Simulation ermöglicht genauere Werte für D_{ww}



相対湿度によって変わる水蒸気拡散抵抗係数 Dampfdiffusionswiderstandszahl „μ“

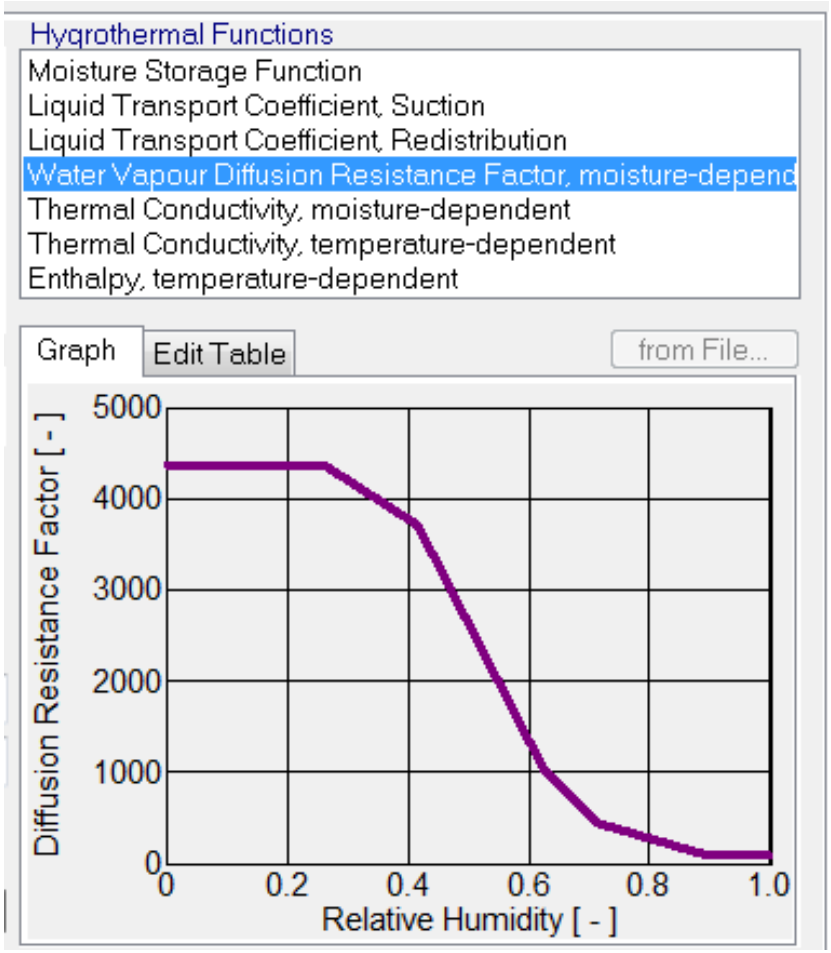
相対湿度によってμ値の大きさが変化する、調湿シート
例：PA（ポリアミド）シート

Material, those myu-value changes depend on the relative humidity.

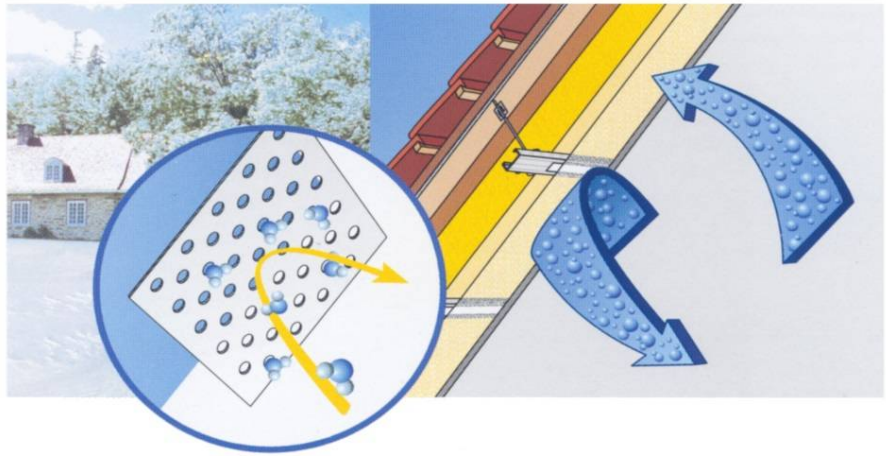
Ex. PA-sheet

Bild | Tabelle/Editieren | aus Datei...

Nr.	R.F. [-]	μ-Wert [-]
1	0	4380,0
2	0,265	4350,0
3	0,415	3700,0
4	0,625	1000,5
5	0,715	440,0
6	0,9	90,0
7	1,0	80,0
Copy		

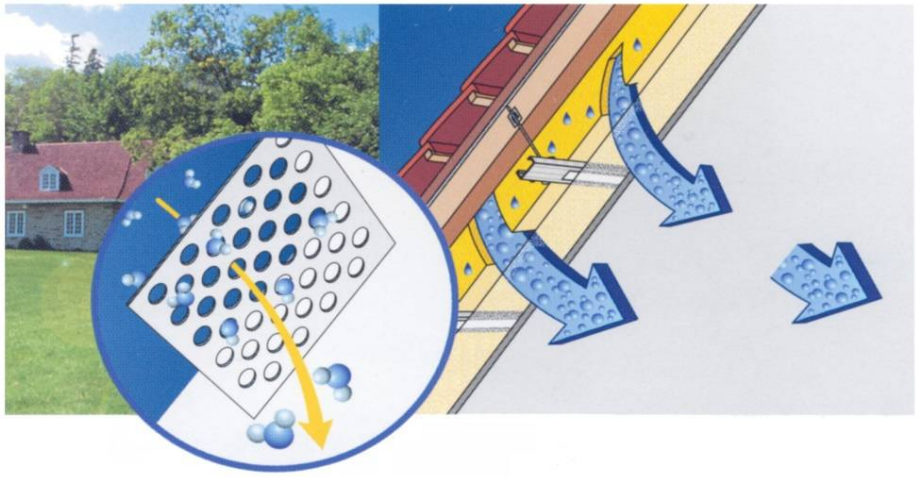


相対湿度によって変わる水蒸気拡散抵抗係数 Dampfdiffusionswiderstandszahl „μ“



冬に相対湿度が低い場合はPAシートの穴が閉じ、構造体での結露発生を防ぐ

Die geringe relative Feuchte im Winter schließt die Poren der PA-Folie und schützt so die Konstruktion vor Tauwasser

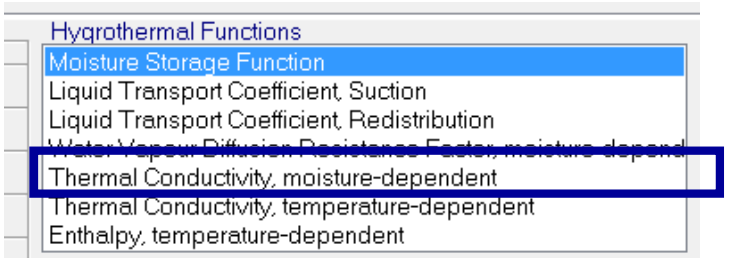


夏に相対湿度が高い場合はPAシートの穴が開き、構造体の湿気を外に逃がして乾燥させる

Die höhere relative Feuchte im Sommer öffnet die Poren der PA-Folie und lässt so die Feuchte aus der Konstruktion austrock-nen

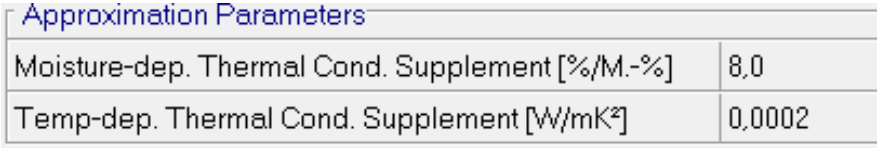
熱と湿気に関する関数 Hygrothermische Funktionen

熱伝導率、湿気に依存 Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig

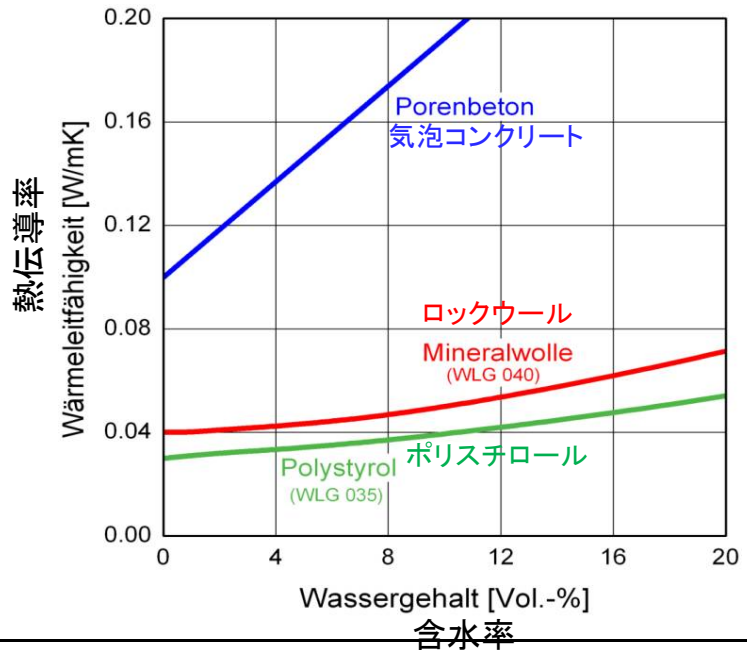


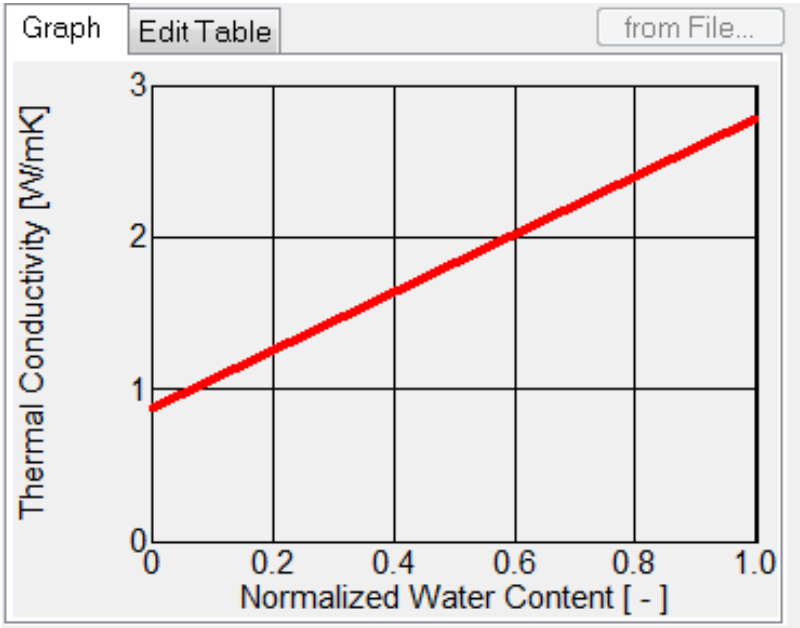
- 湿気に依存する熱伝導率は表または「熱伝導率の湿気依存係数 [%/M.-%]」を入力する

  Die feuchteabhängige Wärme-leitfähigkeit ist entweder als Tabelle hinterlegt oder kann über den „Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Feuchte [%/M.-%]“ generiert werden

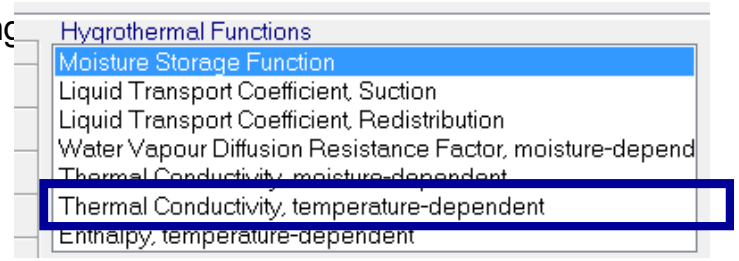


Approximation Parameters	
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement [%/M.-%]	8,0
Temp-dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK²]	0,0002





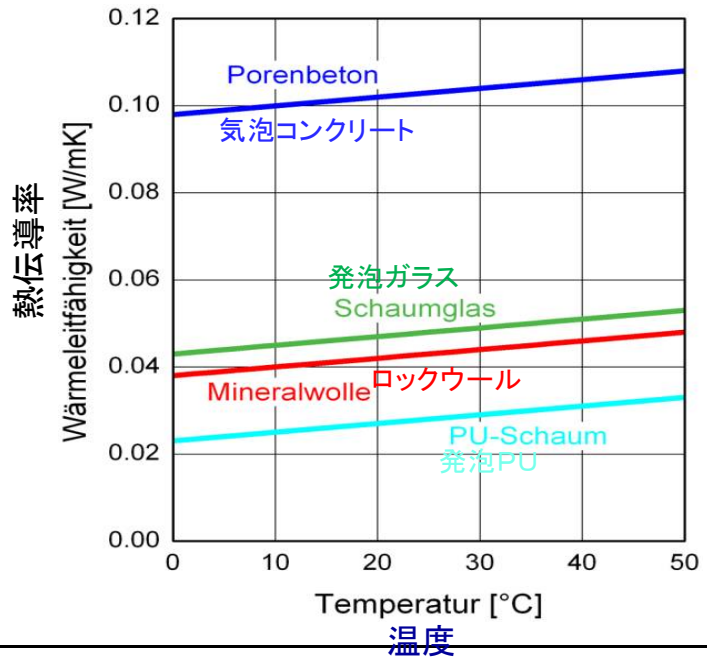
熱伝導率、温度に依存 Wärmeleitfähigkeit, temperaturabhäng

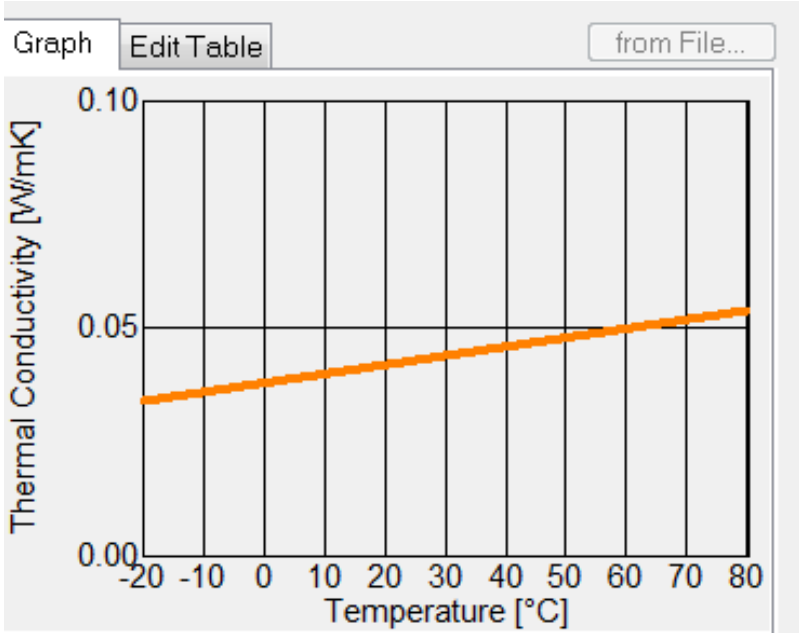


- 温度に依存する熱伝導率は表または「熱伝導率の温度依存係数[W/mK²]」を入力する

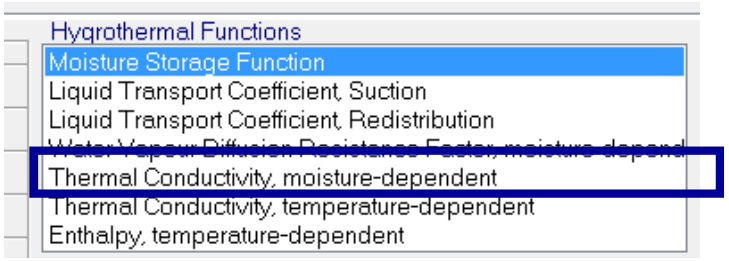
  Die temperaturabhängige Wärme-leitfähigkeit ist entweder als Tabelle hinterlegt oder kann über den „Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Temp. [W/mK²]“ generiert werden

Approximation Parameters	
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement [%/M.-%]	8,0
Temp-dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK²]	0,0002

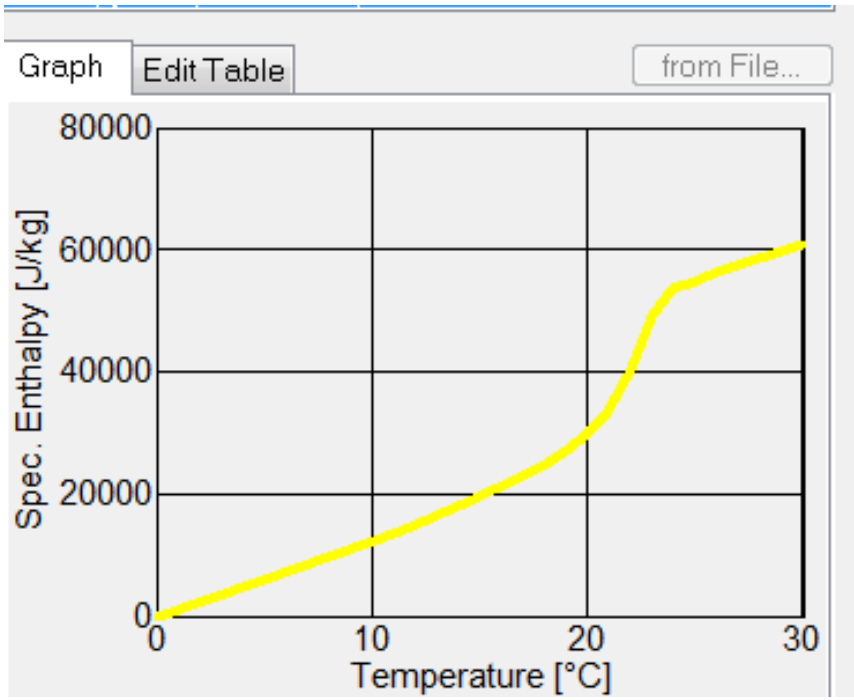


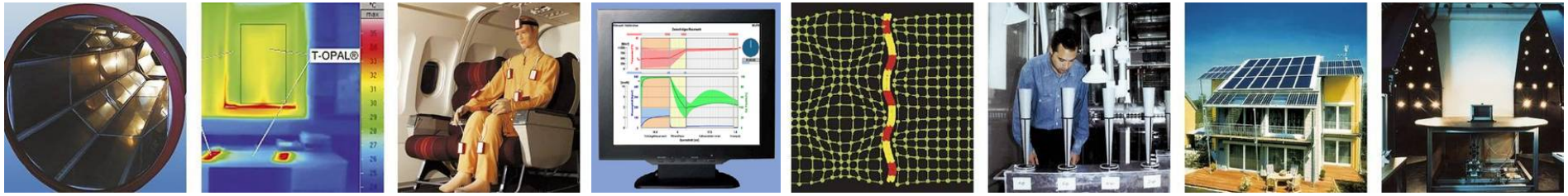


エンタルピーの温度依存 Enthalpie, temperaturabhängig



- PCM（Face Chage Material）のように温度によってエンタルピーが変わる材料の計算に必要
  Zur Berechnung von z.B. PCM-Werkstoffen kann die temperatur-abhängige Enthalpie tabelliert werden





WUFI® Basis-Seminar 2013

熱と湿気に関する物性データ

Hygrothermische Materialkennwerte

Fraunhofer
IBP