

**Forschungsbericht für das Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Aktionsplan Holz**

**„Datenbank für Kennwerte zum Feuchte- und Wärme-
transport in Holz und Holzwerkstoffen“**

Abschlussbericht

Projektleitung:

Prof. Dr. Peter Niemz

Bearbeitung:

Dr. Walter Sonderegger
Verena Krackler
Dr. Matus Joscak

Industriepartner:

Création Holz GmbH, Herisau
Gisler Holzbau, Ganterschwil
Honka – Nordic Home AG, Schwyz
Isofloc AG, Bütschwil
Naegeli AG, Gais
Pavatex SA, Cham
Pius Schuler AG, Rothenthurm
Tschopp Holzbau AG, Hochdorf

Zürich, Oktober 2011

Aktionsplan Holz

Datenbank für Kennwerte zum Feuchte- und Wärmetransport in Holz und Holzwerkstoffen

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
1.1 Einleitung	3
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Beteiligungen	4
1.4 Projektübersicht	4
2 Kenntnisstand der Hauptparameter und deren Einflussgrößen	5
3 Datenbank	8
3.1 Datenbankstruktur	8
3.2 Kennwerte	10
3.3 Start der Datenbank	12
3.4 Datenabfragen	13
3.5 Eingabe neuer Kennwerte	19
3.6 Veröffentlichung der Datenbank im Internet	27
4 Ausblick	27
Literaturverzeichnis	28
Normenverzeichnis	31
Abbildungsverzeichnis	32
Tabellenverzeichnis	32
Abkürzungsverzeichnis	33
Lateinische Symbole	33
Griechische Symbole	33
Indizes	33
Abkürzungen	33

1 Einführung

1.1 Einleitung

In den letzten Jahren hat die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen im Bauwesen stark zugenommen. Es werden zunehmend neue Produkte mit spezifischen Eigenschaften entwickelt. Hauptursachen dafür sind das gewachsene Umweltbewusstsein, eine günstige Ökobilanz, aber auch bauphysikalische Vorteile von Holz und Holzwerkstoffen im Vergleich zu Beton oder anderen Baumaterialien. Dabei sind z.B. zu nennen:

- Das Feuchtepuffervermögen von Holz und Holzwerkstoffen (Teischinger 1987, Mauritz et al. 1989, Hameury 2005).
- Geringe Temperaturschwankungen im Hausinneren und hohe Phasenverschiebung der Amplitude des Temperaturmaximums (bedingt durch die niedrige Wärmeleitfähigkeit des Holzes gekoppelt mit einer hohen Wärmekapazität).
- Der erzielbare hohe Vorfertigungsgrad und die mögliche Trockenbautechnik.

Beim Einsatz von Holzprodukten im Bauwesen spielt deren Feuchte- und Wärmetransport deshalb eine wichtige Rolle. Allerdings wird das Potenzial auf Grund der Verwendung veralteter oder geschätzter Kennwerte oft nur ungenügend ausgeschöpft. So werden in Firmenschriften oder Broschüren (z.B. Merz et al. 1997) häufig zu ungünstige Kennwerte für die Wärmeleitung und die Diffusion eingesetzt. Beispielsweise werden bei Massivholzplatten und Vollholz um bis zu 30% zu hohe Wärmeleitfähigkeitswerte angenommen. Zudem ist insbesondere im Winter durch die reduzierte Materialfeuchte eine noch niedrigere Wärmeleitung vorhanden. Das Potential des Werkstoffes Holz wird damit nicht vollständig ausgeschöpft.

Durch die Erstellung einer Datenbank mit relevanten Kennwerten zum Feuchte- und Wärmetransport von Holz und Holzwerkstoffen, wie in diesem Projekt vorgesehen, kann die Grundlage für einen effizienten Umgang mit dem Werkstoff Holz im Sinne der Ressourcenpolitik des Bundes geschaffen werden.

Deren Nutzung durch Hersteller, Architekten, Ingenieure und Baufirmen soll zur Steigerung der (inter-)nationalen Wettbewerbsfähigkeit der Holzbau-Branche beitragen.

1.2 Zielsetzung

Folgende Ziele werden im Projekt: “Datenbank für Kennwerte zum Feuchte- und Wärmetransport in Holz und Holzwerkstoffen“ anvisiert:

- Erstellung einer detaillierten Datenbank mit relevanten Kennwerten zum Feuchte- und Wärmetransport von Holz und Holzwerkstoffen als:
 - ➔ Entscheidungshilfe für das Bauen mit Holz.
 - ➔ Datenbasis für bauphysikalische Simulationsprogramme.
- Veröffentlichung der Datenbank im Internet.
 - ➔ Dadurch wird die Datenbank einem breiteren Zielpublikum (Holzwerkstoffhersteller, Architekten, Ingenieure) zugänglich gemacht, und es ermöglicht den Nutzern einen einfachen Zugang zu den in der Datenbank erfassten Daten.

Die Datenbank soll folgende Zielgruppen ansprechen:

- Produzenten von Dämmstoffen und Holzwerkstoffen für den konstruktiven Einsatz: Mit der Aufnahme ihrer Produkte in die Datenbank können sie eine Absatzsteigerung erwarten. Bei Produktentwicklungen können die gewünschten Eigenschaften anhand der Datenbank einfacher verbessert werden.
- Fertighaushersteller und Anbieter von Komplett-Systemen: Effizienter Einsatz der Materialien in ihren Gebäudehüllen und dadurch Reduzierung der Kosten.
- Architekten und Ingenieure: Datenbank dient als wichtige Entscheidungshilfe beim Einsatz von Holzkonstruktionen oder der Optimierung von Gebäudehüllen.

1.3 Beteiligungen

Folgende Firmen haben sich am Projekt beteiligt (Tab. 1):

Tabelle 1: Beteiligte Industriepartner.

Firma	Adresse	Ansprechpartner
Création Holz GmbH	Tobelackerstrasse 6 9100 Herisau	Hermann Blumer
Gisler Holzbau	Neckertalstrasse 27 9608 Ganterschwil	Hans Gisler, Christof Deutsch
Honka – Nordic Home AG	Mangelegg 96-98 6430 Schwyz	Thomas Bürgler
Isofloc AG	Soorpark 9606 Bütschwil	Willi Senn
Nägeli AG	Zwislenstrasse 27 9056 Gais	Hannes Nägeli
Pavatex SA	Knonauerstrasse 6330 Cham	Volker Brombacher, Matthias Oelhafen
Pius Schuler AG	Kronenstrasse 12 6418 Rothenthurm	Pius Schuler
Tschopp Holzbau AG	An der Ron 17 6280 Hochdorf	Josef Willimann

1.4 Projektübersicht

In Kapitel 2 wird eine Übersicht zum Kenntnisstand der bauphysikalisch relevanten Kennwerte gegeben. Dabei wird besonders auf die in der Datenbank verwendete Literatur eingegangen. In Kapitel 3 wird die Datenbank detailliert beschrieben. Zuerst erfolgt im Unterkapitel 3.1 eine Übersicht zur Struktur und dem Aufbau der Datenbank, gefolgt von einer Beschreibung der in der Datenbank erfassten Kennwerte in 3.2 und einer anschliessenden ausführlichen Erläuterung der Handhabung der Datenbank in 3.3 bis 3.5.

2 Kenntnisstand der Hauptparameter und deren Einflussgrössen

Zum Feuchte- und Wärmetransport in Holz und Holzwerkstoffen liegen umfangreiche Arbeiten vor. Um den Rahmen nicht zu sprengen, wird in diesem Kapitel aus der grossen Fülle an Literatur besonders auf die in der Datenbank verwendeten Arbeiten hingewiesen.

Neben dem immer noch gebräuchlichen Werk von Kollmann (1951) zur Technologie von Holz und Holzwerkstoffen mit ausführlichen Kapiteln zum Feuchte- und Wärmeverhalten, geben besonders Skaar (1988) und Siau (1995) eine umfassende Einführung in das Feuchte- und nebenbei auch zum Wärmeverhalten von Holz. Neuere Arbeiten, welche sich mit diesen beiden Themengebieten befassen, sind z.B. Vanek und Teischinger (1989), Hukka (1999), Ganev et al. (2003), Popper et al. (2004b), Foglia et al. (2006), Bader et al. (2007), Pavlekovics et al. (2008) und Sonderegger (2011).

Bezüglich des Wärmetransports sind bauphysikalisch hauptsächlich zwei Kennwerte relevant, die Wärmeleitfähigkeit λ und die Wärmekapazität c , woraus unter Einbezug der Dichte ρ die Temperaturleitfähigkeit a bestimmt werden kann (vgl. Niemz 1993):

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \text{Gleichung (1)}$$

Die Wärmeleitfähigkeit ist dabei stark von der Dichte und der Feuchte sowie etwas geringer von der Temperatur abhängig. Weiter spielt auch die Ausrichtung des Materials und die Holzart eine bedeutende Rolle. Bei Vollholz(-werkstoffen) erfolgt meistens nur eine Unterscheidung zwischen parallel und quer zur Faserrichtung und bei Plattenwerkstoffen zwischen den Richtungen in und quer zur Plattenebene. Allerdings bestehen je nach Holzart auch deutliche Unterschiede zwischen der radialen und der tangentialen Richtung. Für Ausrichtungen zwischen den anatomischen Hauptrichtungen wurde zudem schon zusätzlich der Einfluss des Jahrring- und des Faserwinkels erfasst (Sonderegger 2011).

Für Vollholz hat Kollmann (1951) die Wärmeleitfähigkeit in und quer zur Faserrichtung unter Berücksichtigung einer grossen Anzahl von Holzarten bei 27°C und 12% Holzfeuchte folgendermassen bestimmt (nach Niemz 1993):

$$\lambda_{\perp} = 0.026 + 0.000195 \cdot \rho \quad \text{Gleichung (2a)}$$

$$\lambda_{\parallel} = 0.026 + 0.00046 \cdot \rho \quad \text{Gleichung (2b)}$$

wobei:

$\lambda_{\perp}$ Wärmeleitzahl senkrecht zur Faserrichtung [W/(m·K)]

$\lambda_{\parallel}$ Wärmeleitzahl in Faserrichtung [W/(m·K)]

ρ Rohdichte [kg/m³]

Die Gleichungen 2a und 2b stellen noch heute gute Annäherungen für Vollholz dar. Bei Untersuchungen an 45 Holzarten senkrecht zur Faserrichtung erhielt Niemz (2007) eine nur gering von Kollmann (1951) abweichende Steigung. Allerdings muss beachtet werden, dass gewisse Holzarten merklich von diesem linearen Trend abweichen können. Deshalb sind spezifische Werte für eine bestimmte Holzart, sofern Kennwerte vorliegen, diesem allgemeinen Trend vorzuziehen.

Die Wärmeleitfähigkeit von Holz und Holzwerkstoffen nimmt generell mit zunehmender Temperatur und zunehmender Feuchte zu (Cammerer und Achtziger 1984, Niemz et al. 2007, Sonderegger et al. 2011a). Bei gleicher Dichte nimmt die Wärmeleitfähigkeit generell mit

zunehmendem Aufschlussgrad des Holzwerkstoffes (d.h. von Vollholz- über Furnier- und Span- zu Faserwerkstoffen) auf Grund der Abnahme der Berührungsflächen zwischen den einzelnen Partikeln ab (Kollmann und Malmquist 1956, Sonderegger und Niemz 2009). Weiter hat auch das Herstellungsverfahren und der Klebstoff einen Einfluss (Niemz et al. 2007, Sonderegger und Niemz 2010).

Bei der Wärmekapazität besteht eine starke Abhängigkeit von der Feuchte sowie ein Einfluss der Temperatur. Dagegen ist sie von der Dichte und der Ausrichtung des Materials unabhängig. Auch besteht nur eine geringe Abhängigkeit von der Holzart, bedingt durch Unterschiede im chemischen Aufbau (vgl. Niemz 1993, Sonderegger et al. 2011a). Für Vollholz im darrtrockenen Zustand zeigt bereits Dunlap (1912), zitiert in Kollmann und Côté (1968), eine deutliche Abhängigkeit der Wärmekapazität c_o von der Temperatur T zwischen 0°C und 106°C:

$$c_o = 1114 + 4.86 \cdot T \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \quad \text{Gleichung (3)}$$

Die Wärmekapazität in Abhängigkeit von der Feuchte kann vereinfacht, wie folgt, berechnet werden (Kollmann und Côté, 1968):

$$c_\omega = \frac{\omega \cdot c_w + c_o}{1 + \omega} \quad \text{Gleichung (4)}$$

wobei:

c_ω	Wärmekapazität bei einer bestimmten Feuchte [J/(kg·K)]
c_w	Wärmekapazität von Wasser [J/(kg·K)]
c_o	Wärmekapazität im darrtrockenen Zustand [J/(kg·K)]
T	Temperatur [°C]
ω	Materialfeuchte [-]

Allerdings ergeben sich dadurch bei hohen Feuchten eher zu niedrige Werte (vgl. Sonderegger et al. 2011a).

Bei wärme- und feuchtegekoppelten, bauphysikalischen Simulationsprogrammen besteht die Möglichkeit, die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur und der Feuchte zu berechnen. So wird beim Simulationsprogramm WUFI die Wärmeleitfähigkeit im darrtrockenen Zustand angegeben (z.B. bei 10°C) und für die Feuchte- und Temperaturabhängigkeit ein entsprechender Zuschlag (pro % Feuchte bzw. pro °C) eingesetzt. Bei der Wärmekapazität wird mit den Werten des darrtrockenen Materials gerechnet und für den Feuchteanteil die Wärmekapazität von Wasser analog zu Gleichung 4 verwendet (Anonymus 2010).

Bei den feuchtebezogenen Kennwerten sind einerseits die Sorptionsisothermen von Bedeutung, da damit die Ausgleichsfeuchte eines Materials bei einer bestimmten Luftfeuchte dargestellt wird. Andererseits spielen die Wasserdampf-Diffusion im hygroskopischen Bereich und die Wasseraufnahme bei direktem Wasserkontakt im überhygroskopischen Bereich eine bedeutende Rolle.

Die Kennwerte für die Sorptionsisothermen werden meistens experimentell bestimmt. Anhand von auf diesen Daten aufbauenden Modellen können die Werte für den gesamten hygroskopischen Bereich berechnet werden. Häufig verwendete Modelle sind das Hailwood-Horrobin-Modell und das Dent-Modell (Hailwood und Horrobin 1946, Dent 1977, Skaar 1988, Popper et al. 2004a, Popper und Niemz 2006 u. 2009, Sonderegger und Niemz 2010). Der Fasersättigungspunkt (Holzfeuchte bei 100% rel. Luftfeuchte), welcher oft als Vergleichspunkt für den Verlauf der gesamten Sorptionsisotherme herangezogen wird, liegt bei Raumtemperatur für Vollholz bei ca. 28%, kann aber je nach Holzart stark variieren (Boss-

hard (1984) gibt dafür bei Verwendung von Daten von Trendelenburg (1939) einen Bereich zwischen 22% und 35% an) und nimmt mit steigendem Extraktstoffgehalt ab (Popper et al. 2006 u. 2007, Niemz und Sonderegger 2007). Die Sorptionsisothermen nehmen mit zunehmender Temperatur ab; sie sind weiter stark von der thermischen Behandlung des Materials abhängig und werden mit zunehmender Behandlungsintensität stark reduziert (Kollmann 1951, Kollmann 1963, Niemz et al. 2003, Bächle und Niemz 2005, Poblete et al. 2005, Popper et al. 2005). Ebenfalls beeinflussen der Klebstoff, der Klebstoffanteil, die Dichte und die Partikelgrösse die Sorptionsisothermen von Holzwerkstoffen (Roffael und Schneider 1978, Popper et al. 2004a, Sonderegger und Niemz 2006, Bekhta und Niemz 2009, Sonderegger 2011).

Die Wasserdampf-Diffusion kann, je nach zugrunde gelegtem Feuchtepotential, über unterschiedliche Kenngrössen definiert werden (Siau 1995). Bei bauphysikalischen Berechnungen wird häufig die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, welche anhand eines Dampfdruckgefälles bestimmt wird, verwendet. Der Diffusionskoeffizient wird dagegen anhand von Feuchtekonzentrationsunterschieden innerhalb einer Probe bestimmt. Bei Firmendatenblättern wird meistens die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl angegeben, da diese im Gegensatz zum Diffusionskoeffizienten bezüglich der Temperatur relativ unabhängig ist. Der Diffusionswiderstand kann daraus relativ einfach berechnet oder abgeschätzt werden (s. Gleichungen 5 u. 6).

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl und der Diffusionskoeffizient von Holz und Holzwerkstoffen sind stark von der Feuchte und der Richtung abhängig. Ebenfalls besteht eine erhebliche Abhängigkeit von der Dichte (für Fichte und Buche siehe z.B. Sonderegger et al. 2011b). Weiter hat der Klebstoff, z.B. bei Klebfugen quer zur Diffusionsrichtung, einen erheblichen Einfluss auf die Diffusion (Gereke et al. 2009, Sonderegger et al. 2010).

Die Kennwerte bezüglich der Wasseraufnahme werden bei direktem Kontakt mit Wasser (= überhygroskopischer Bereich) verwendet. Dabei besteht bei Vollholz eine starke Abhängigkeit von der anatomischen Richtung (längs >> radial <> tangential) und bei Holzwerkstoffen von den Richtungen in und senkrecht zur Plattenebene (Wang und Niemz 2002, Niemz et al. 2003, 2004, 2005).

Für die Simulation des Feuchtetransports in bauphysikalischen Simulationsprogrammen wird für den hygroskopischen Bereich die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl und für den überhygroskopischen Bereich der Wasseraufnahmekoeffizient (z.B. bei WUFI und Delphin) benötigt (Nicolai und Grunewald 2006, Anonymus 2010).

3 Datenbank

3.1 Datenbankstruktur

Die Datenbank besteht aus insgesamt 21 Tabellen, welche in unterschiedlicher Art miteinander verknüpft sind. Abbildung 1 zeigt die Beziehungsstruktur der Tabellen untereinander. Dabei bilden die folgenden vier Tabellen das Grundgerüst:

1. **Haupttabelle zur Diffusion** (,tbl1Diffusion‘)
2. **Haupttabelle zur Sorption** (,tbl2Sorption‘)
3. **Haupttabelle zur Wasseraufnahme** (,tbl3Wasseraufnahme‘)
4. **Haupttabelle zur Wärmeleitfähigkeit** (,tbl4Wärmeleitfähigkeit‘)

Mit diesen sind alle weiteren Tabellen in irgendeiner Weise verknüpft. Allen vier Grundtabellen zugeordnet sind die Tabellen mit folgenden Inhalten:

- Materialgruppen (,tblMaterialgruppe‘)
- Werkstoffe (,tblWerkstoff‘)
- Holzarten (,tblHolzart‘)
- Herstellerfirmen (,tblHersteller‘)
- Produktnamen (,tblProduktname‘)
- Behandlungsarten (,tblBehandlung‘)
- Behandlungsverfahren (,tblBehandlungsverfahren‘)
- Messrichtungen (,tblMessrichtung‘)
- Quellenangaben (,tblQuelle‘)
- Rating (,tblRating‘)

Nur mit der Haupttabelle zur Diffusion verbunden sind die Tabellen ,tblDiffusionsart‘ und ,tblDiffusionsmethode‘, womit die Diffusionsart und die Diffusionsmethode unterschieden werden können.

Der Haupttabelle zur Sorption zugeordnet ist die Sorptionswerte-Tabelle (,tblSorptionswerte‘), wodurch jedem Material mehrere Sorptionswerte, verteilt über den gesamten hygroskopischen Bereich, zugewiesen werden können. Ebenfalls nur mit dieser Haupttabelle verknüpft sind die Tabellen zur Sorptionsart (,tblSorptionsart‘) und zur Auswertungsart (,tblDatenauswertung‘).

Lediglich mit der Haupttabelle zur Wasseraufnahme verknüpft ist die Tabelle, womit die Art des Holzes (Kern-, Splintholz, etc.) spezifiziert werden kann (,tblSpezifikationHolzart‘).

Die Tabelle, womit der Monat spezifiziert werden kann (,tblMonat‘), ist ausschliesslich mit der Tabelle zu den Quellenangaben verbunden.

3.2 Kennwerte

Die in der Datenbank erfassten Kennwerte beruhen zu einem Teil auf Werten aus der Literatur. Ein weiterer Teil wurde aus technischen Datenblättern verschiedener Firmen zusammengetragen oder stammt aus internen, bisher unveröffentlichten Messungen der Gruppe Holzphysik am Institut für Baustoffe der ETH Zürich.

Folgende, bauphysikalisch relevanten Kennwerte werden in der Datenbank erfasst.

Diffusion

Erfasst wird die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ [-], welche nach DIN EN ISO 12572:2001 oder DIN EN 12086:1997 im stationären Zustand ermittelt wird. Nach Siau (1995) kann daraus der Diffusionskoeffizient folgendermassen berechnet werden (vgl. Sonderegger et al. 2011b):

$$D_{st} = \frac{\delta_p \cdot p_o \cdot V}{m_o} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \omega} \quad \text{Gleichung (5)}$$

mit

$$\delta_p = \frac{\delta_a}{\mu} \quad \text{Gleichung (6)}$$

wobei:

D_{st}	Diffusionskoeffizient im stationären Zustand [m^2/s]
δ_a	Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient der Luft, bezogen auf den Dampfteildruck [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]
δ_p	Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient, bezogen auf den Dampfteildruck [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]
p_o	Normaler Luftdruck = 1013.25 [hPa]
V	Volumen [m^3]
m_o	Darrgewicht [kg]
φ	Rel. Luftfeuchte [%]
ω	Materialfeuchte [%]

Sofern möglich, wird deshalb der Diffusionskoeffizient im stationären Zustand mit aufgeführt. Oft wird in der Literatur der Diffusionskoeffizient jedoch im instationären Zustand D_{inst} [m^2/s] bestimmt (vgl. Comstock 1963). Dieser wird daher, falls vorhanden, ebenfalls dargestellt. Weitere Kennwerte sind die Dichte ρ [kg/m^3], die Dicke d [mm], die Temperatur T [$^{\circ}\text{C}$], der Luftfeuchtebereich φ [%] sowie die mittlere Holzfeuchte ω [%] des geprüften Materials.

Sorptionswerte

Erfasst wird die Temperatur T [$^{\circ}\text{C}$], die rel. Luftfeuchte φ [%] sowie die dazugehörige Holzfeuchte ω [%] und, sofern bekannt, die Dichte ρ [kg/m^3]. Für die meisten Materialien sind nur die experimentell ermittelten Werte aufgelistet (ca. 5 Werte, verteilt über den Feuchtebe-

reich). Bei einigen Holzarten bzw. Holzwerkstoffen ist die Sorptionsisotherme nach dem Modell von Hailwood-Horrobin (Hailwood und Horrobin 1946) erfasst (bis zu 50 Werte in 2 Prozent-Schritten bezüglich der rel. Luftfeuchte). Unterschieden wird weiter nach Desorptions- und Adsorptionskurven, soweit dies aus den Quellen ersichtlich ist.

Wasseraufnahme

Erfasst wird der Wasseraufnahmekoeffizient A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$] bei teilweisem Eintauchen nach der DIN EN ISO 15148:2002, wobei die Materialien vorgängig im Normalklima (für Holz und Holzwerkstoffe bei 20°C und 65% rel. Luftfeuchte) konditioniert werden. Zusätzlich erfasste Kenngrößen sind die Dichte ρ [kg/m^3], die wasseraufnehmende Fläche A [mm^2] sowie die Dicke d [mm] des geprüften Materials.

Wärmeleitfähigkeit

Erfasst wird die Wärmeleitfähigkeit λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] und, wo vorhanden, die Wärmekapazität c [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]. Bei der Wärmeleitfähigkeit wird in den meisten Fällen der Mittelwert angegeben. Firmendatenblätter verwenden dagegen den Nennwert und/oder Bemessungswert. Begleitend werden die Temperatur T [°C], die Dichte ρ [kg/m^3], die Dicke d [mm], die Materialfeuchte ω [%] sowie der Messdruck p [Pa] und die Temperaturdifferenz ΔT [°C] während der Messung erfasst. Zusätzlich ist bei einigen Datensätzen der Temperaturkoeffizient $\Delta \lambda_T$ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ pro °C] und der Feuchtekoefizient $\Delta \lambda_\omega$ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ pro % Holzfeuchte] angegeben.

Gesamthaft wurden bis jetzt 1285 Datensätze erfasst, welche sich folgendermassen in die vier Bereiche aufteilen:

- 460 Datensätze zur Diffusion
- 301 Datensätze zur Sorption mit insgesamt 3025 Einzelwerten
- 198 Datensätze zur Wasseraufnahme
- 326 Datensätze zur Wärmeleitfähigkeit

Diese lassen sich 32 verschiedenen Werkstoffen und 100 Holzarten zuordnen.

3.3 Start der Datenbank

Beim Starten der Datenbank erscheint als erstes folgendes Formular (Abbildung 2).

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Datenbank für bauphysikalische Kennwerte
Startseite

IfB
Institut für Baustoffe
Institute for Building Materials

Willkommen auf der Datenbank für Bauphysikalische Kennwerte

Wählen Sie ein Themengebiet aus

Diffusion

Sorption

Wasseraufnahme

Wärmeleitfähigkeit

Verwaltung (intern)

Datenbank schliessen

In Zusammenarbeit mit: Creation Holz GmbH / Hersiau
Gisler Holzbau / Gantersewil
Honka - Nordic Home AG / Schwyz
Isoflo AG / Bultschwil
Naegeli AG / Gais
Pavatex SA / Cham
Plus Schuler AG / Rothenthurm
Tschopp Holzbau AG / Hochdorf

Gefördert durch: Bundesamt für Umwelt BAFU
aus dem Aktionsplan Holz

Copyright © 2011 ETH Zürich/Institut für Baustoffe
Schafmattstrasse 6, CH-8093 Zürich

Abbildung 2: Startformular der Datenbank.

Durch das Anklicken eines der vier gelben Buttons gelangt man zum entsprechenden Suchformular, womit Kennwerte zur Diffusion, Sorption, Wasseraufnahme oder Wärmeleitfähigkeit abgefragt werden können. Durch Anklicken des nebenstehenden, weissen Buttons „Datenbank schliessen“ wird das Programm geschlossen. Die Schaltfläche „Verwaltung (intern)“ dient der Pflege der Datenbank und kann nur vom entsprechenden Administrator über ein Passwort geöffnet werden.

3.4 Datenabfragen

Die Datenabfrage erfolgt über Suchformulare, welche für die vier Haupttabellen zur Verfügung stehen, also zu Abfragen zur Diffusion, Sorption, Wasseraufnahme und Wärmeleitfähigkeit. In Abbildung 3 ist das Suchformular zur Diffusion dargestellt. Die Suchformulare sind zweigeteilt. Im oberen Teil kann nach einem bestimmten Produkt bzw. einer Produktgruppe gesucht werden, indem für ein oder mehrere Felder eine Auswahl getroffen wird. Im unteren Teil werden alle verfügbaren Datensätze angezeigt.

Im oberen Teil können bei allen Haupttabellen folgende Felder ausgewählt werden:

- Materialgruppe
- Werkstoff
- Holzart
- Hersteller
- Produktname
- Behandlung
- Verfahren

Zusätzlich können noch, je nach Tabelle, unterschiedliche, kennwertspezifische Auswahlen getroffen werden. Für die Diffusion sind dies zum Beispiel:

- Messrichtung
- Diffusionsart
- Diffusionsmethode

ETH
École Polytechnique Fédérale de Lausanne
 Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Datenbank für bauphysikalische Kennwerte
D i f f u s i o n

ITB
Institut für Baustoffe
 Institute for Building Materials

D i f f u s i o n
Suche

Geben Sie die Suchkriterien für die Diffusion ein

Materialgruppe

Werkstoff

Holzart

Hersteller

Messrichtung

Produktname

Behandlung

Verfahren

Diffusionsart

Diffusionsmethode

zur Sorption

zur Wasseraufnahme

zur Wärmeleitfähigkeit

Anzahl der gefundenen Datensätze:

Materialgruppe

Werkstoff

Holzart

Hersteller

Produktname

Behandlung

MW μ -Wert:

StAbw μ -Wert:

MW Diffusionskoeffizient:

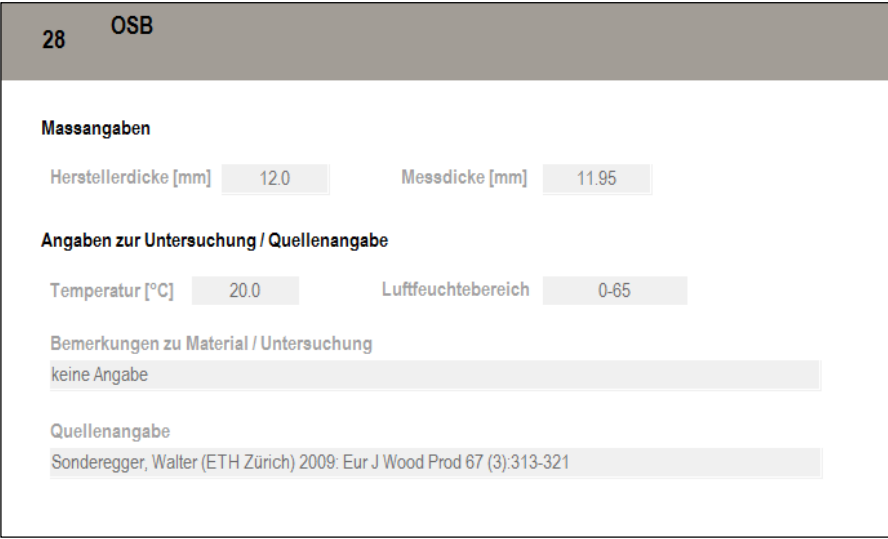
StAbw Diffusionskoeffizient:

Behandlungsverfahren Messrichtung Diffusionsart Diffusionsmethode

Infos zu Nr.	Werkstoff	Handelsname	Behandlung	Behandlungsverfahren	Hersteller
1	Vollholz	Fichte	unbehandelt	unbehandelt	keine Angabe
2	Vollholz	Fichte	unbehandelt	unbehandelt	keine Angabe
3	Vollholz	Fichte	Oberfläche/Beschichtung	U-653 (oberflächig)	keine Angabe
4	Vollholz	Fichte	Oberfläche/Beschichtung	U-653 (oberflächig)	keine Angabe
5	Vollholz	Fichte	Modifizierung	Vakuum, 200°C, 24h	keine Angabe
6	Vollholz	Fichte	Modifizierung	Vakuum, 200°C, 24h	keine Angabe
7	Vollholz	Fichte	Oberfläche/Beschichtung	Osmo Color (oberflächig)	keine Angabe
8	Vollholz	Fichte	Oberfläche/Beschichtung	Osmo Color (oberflächig)	keine Angabe
9	Vollholz	Fichte	Oberfläche/Beschichtung	Pento-Fluid IP (oberflächig)	keine Angabe
10	Vollholz	Fichte	Oberfläche/Beschichtung	Pento-Fluid IP (oberflächig)	keine Angabe
11	Massivholzplatte	Fichte	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
12	Massivholzplatte	Fichte	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe

Abbildung 3: Suchformular für die Diffusion.

Nachdem eine Auswahl getroffen wurde, werden durch Anklicken des Such-Buttons  nur noch die mit den Suchkriterien übereinstimmenden Datensätze (im unteren Teil des Formulars) angezeigt. Dabei werden im Kopfbereich dieses Formulareils die Anzahl der gefundenen Datensätze sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen der Kennwerte (z.B. für die Diffusion von der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl und dem Diffusionskoeffizienten) angegeben. Ebenfalls werden nochmals die Abfragekriterien angezeigt. Durch das Anklicken des Buttons „Neue Suche“ werden diese gelöscht und es werden wieder alle Datensätze angezeigt. Wird auf die Nummer eines Datensatzes geklickt, werden Zusatzinformationen (Abbildung 4) angezeigt, welche in der Datentabelle des Suchformulars fehlen.



28 OSB

Massangaben

Herstellerdicke [mm] 12.0 Messdicke [mm] 11.95

Angaben zur Untersuchung / Quellenangabe

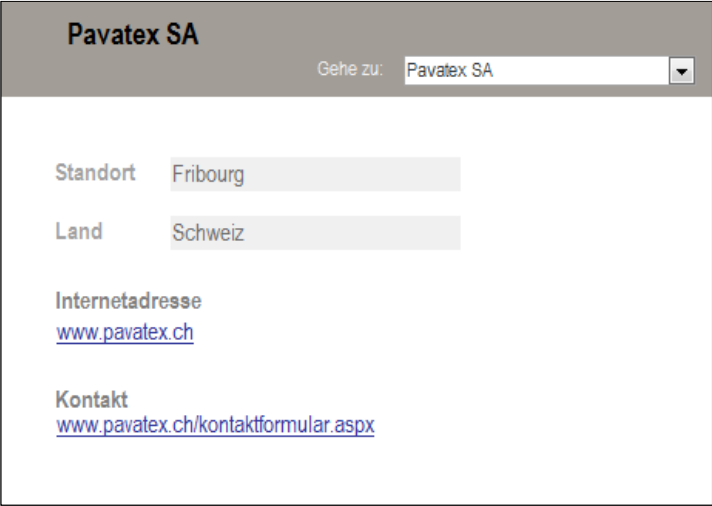
Temperatur [°C] 20.0 Luftfeuchtebereich 0-65

Bemerkungen zu Material / Untersuchung
keine Angabe

Quellenangabe
Sonderegger, Walter (ETH Zürich) 2009: Eur J Wood Prod 67 (3):313-321

Abbildung 4: Zusatzinformationen zu einem Datensatz (Beispiel: Diffusion, Datensatz Nr. 28).

Bei der Auswahl eines Herstellers bzw. einer Holzart, kann dieser bzw. diese anschliessend im Kopfbereich der aufgeführten Datensätze angeklickt werden, worauf Zusatzinformationen zum Hersteller (Abbildung 5) bzw. der Holzart (Abbildung 6) erscheinen. Über das Suchfenster „Gehe zu“ kann ein weiterer Hersteller bzw. eine weitere Holzart ausgewählt werden.



Pavatex SA

Gehe zu: Pavatex SA ▼

Standort Fribourg

Land Schweiz

Internetadresse
www.pavatex.ch

Kontakt
www.pavatex.ch/kontaktformular.aspx

Abbildung 5: Zusatzinformationen zu einem Hersteller (Beispiel: Pavatex SA).

Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.)
Nadelholz

Gehe zu:

Handelsname

WissName

Gattung

Familie

Abbildung 6: Zusatzinformationen zu einer Holzart (Beispiel: Fichte).

Über die Buttons „Ergebnisbericht anzeigen“ bzw. „Ergebnisbericht drucken“ rechts oben im Formular kann ein Bericht (Abbildung 7) mit den ausgewählten Datensätzen angezeigt bzw. gedruckt werden. Über die untere Navigationsleiste kann von einer Seite zur nächsten gesprungen werden.

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
 Swiss Federal Institute of Technology - Zurich

Datenbank für bauphysikalische Kennwerte
 D i f f u s i o n

IFB

Institut für Bauphysik
 Institute for Building Physics

Suchergebnisse

Spanwerkstoffe

OSB

Holzart

keine Angabe

Behandlungsverfahren

keine Angabe

Messrichtung

Quer zur Plattenebene

Diffusionsart

stationär

Diffusionsmethode

Dry-cup

Produktname	Luftfeuchtebereich	Dichte [kg/m³]	Holzfeuchte [%]	μ-Wert [-]	Diffusionskoeffizient [m²/s]
OSB 3	0-65	618	7.530	112.61	5.06E-11
Mittelwert		618		112.61	5.06E-11
Standardabweichung					

04.08.2011 / 09:34:49

a)



ETH

Hörsaalgebäude, Technische Hochschule Zürich
Hörsaalgebäude, Technical University of Switzerland

Datenbank für bauphysikalische Kennwerte

D i f f u s i o n

ifb

Institut für Bauphysik
Institute for Building Physics

Suchergebnisse

Behandlungsverfahren

PMDI und MUPF verleimt

Messrichtung

Quer zur Plattenebene

Diffusionsart

stationär

Diffusionsmethode

Dry-cup

Produktname	Luftfeuchtebereich	Dichte [kg/m³]	Holzfeuchte [%]	μ-Wert [-]	Diffusionskoeffizient [m²/s]
OSB 3	0-65	629	7.250	139.07	4.34E-11
OSB 3	0-65	646	7.180	98.81	5.97E-11
OSB 3	0-65	639	6.980	116.81	4.98E-11
OSB 3	0-65	664	7.110	100.45	5.59E-11
Mittelwert		645		113.79	5.22E-11
Standardabweichung		15		18.71	7.14E-12

04.08.2011 / 09:34:56

b)

Abbildung 7: Bericht der gesuchten Werte mit a) Seite 1 und b) Seite 2 (Beispiel: Diffusion von OSB, stationär, dry-cup).

Beim Suchformular für die Sorption werden die gesuchten Werte in drei separaten Unterformularen dargestellt: den Materialdaten, den Sorptionswerten und der Diagrammdarstellung (Abbildung 8). Dabei entsprechen die Materialdaten den Grunddaten eines Datensatzes, ohne die dazugehörigen Sorptionswerte. Da jeweils mehrere Sorptionswerte einem Datensatz zugeordnet sind, werden diese in einem eigenen Unterformular dargestellt. Zu jeweils einem Datensatz können diese Werte auch graphisch über das Unterformular ‚Diagrammdarstellung‘ abgerufen werden.

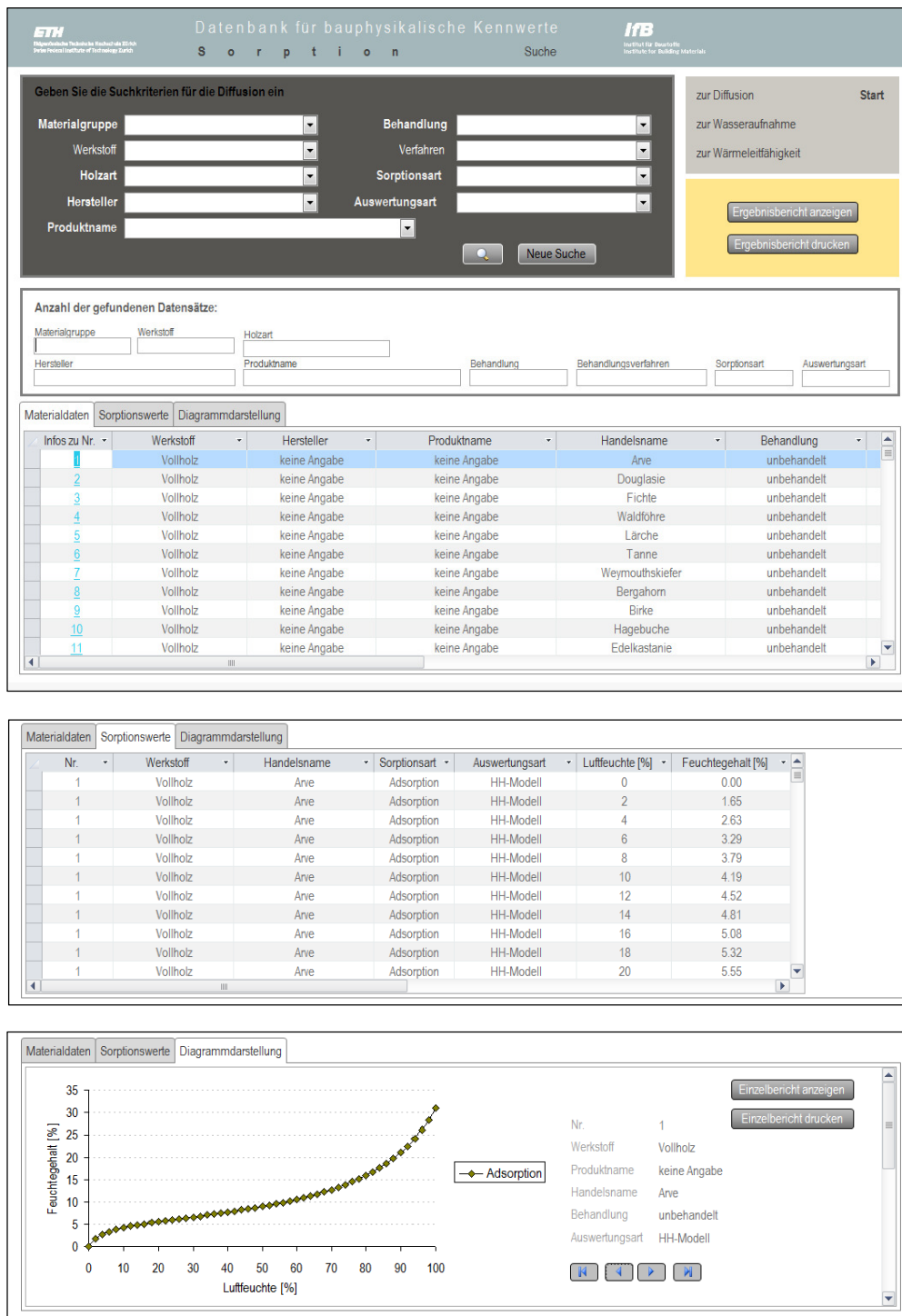
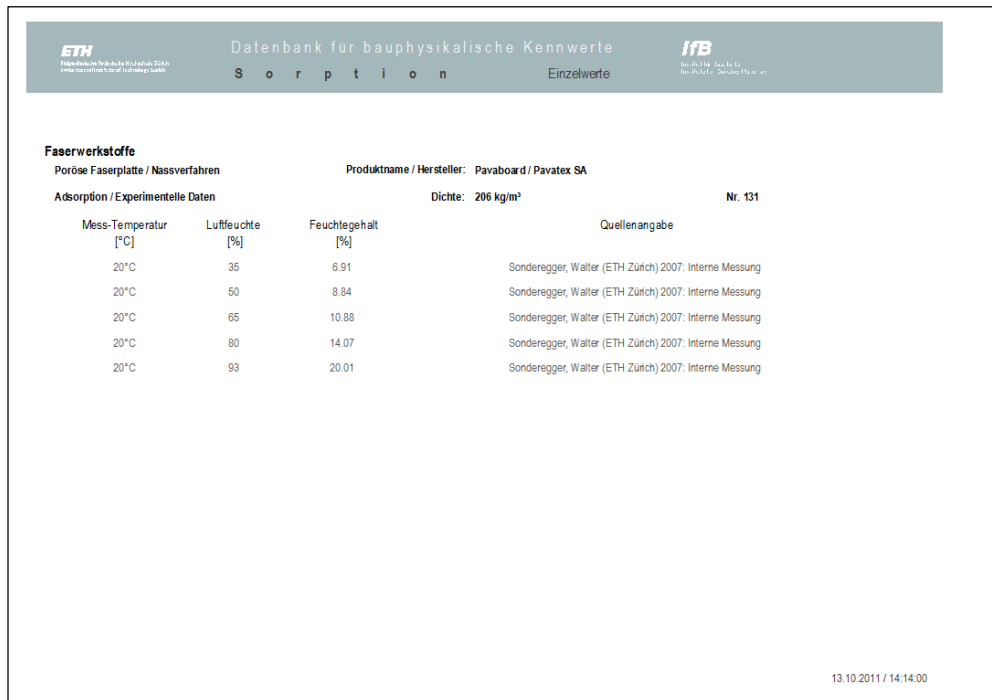
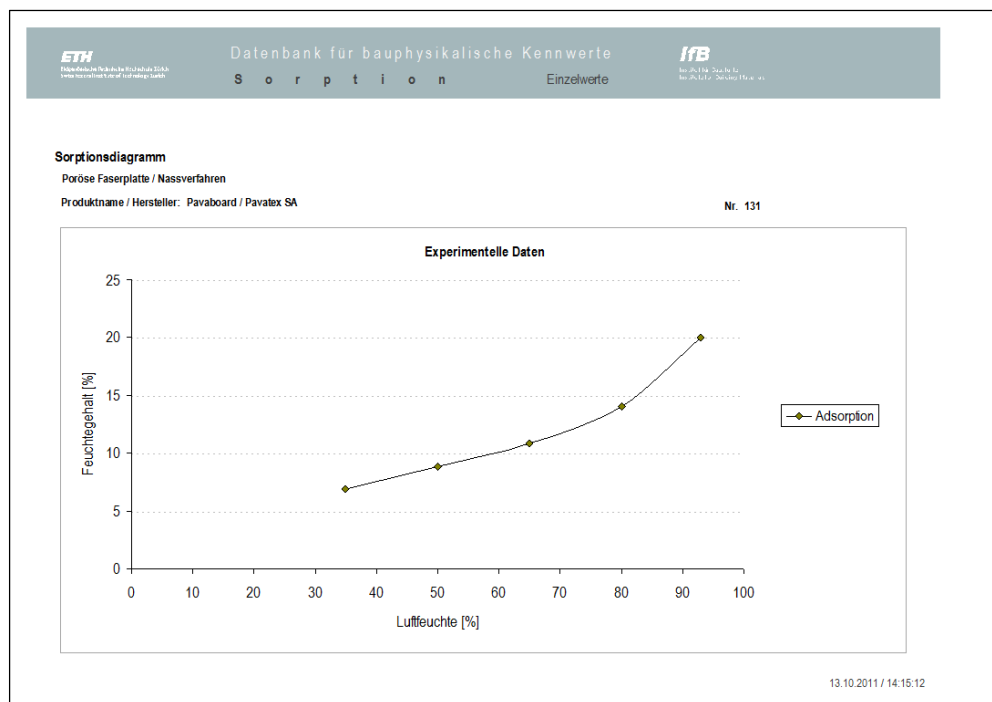


Abbildung 8: Suchformular für die Sorption mit Sicht a) der Materialdaten, b) der einzelnen Sorptionswerte und c) der Sorptionsisotherme eines Datensatzes (Beispiel: Arve).

Durch die Verwendung der Navigations-Buttons () neben dem Diagramm wird das Diagramm eines weiteren Datensatzes entsprechend der gewählten Filterkriterien angezeigt. Neben dem Bericht zu allen Suchresultaten (Abbildung 7) kann auch das Diagramm eines einzelnen Datensatzes (inkl. den dazugehörigen Sorptionswerten) mittels der Buttons rechts oben im Unterformular als Bericht angezeigt oder gedruckt werden (Abbildung 9).



a)



b)

Abbildung 9: Einzelbericht mit Wertetabelle (a) und Diagramm (b). (Beispiel: Sorption, Datensatz Nr. 131).

3.5 Eingabe neuer Kennwerte

Die Datenbank kann laufend ergänzt werden. Es können in allen vier Haupttabellen mittels der Eingabeformulare (Abbildung 10 u. Abbildung 17 - Abbildung 19) neue Werte eingegeben werden. Die Eingabeformulare aller vier Haupttabellen sind unterteilt in:

1. Eingabe der Materialinformationen
2. Eingabe der Prüfparameter und -werte
3. Eingabe weiterer Informationen

Dabei ist die Eingabe der Materialinformationen und der weiteren Informationen bei allen Formularen gleich. Nur die Eingabe der Prüfparameter und -werte ist für jedes Formular verschieden. Abbildung 10 zeigt als Beispiel das Formular für die Diffusion.

zur Übersicht **Diffusion Neu**

DiffusionID

1. Eingabe der Materialinformationen

Materialgruppe [neu](#) Holzart [neu](#)

Werkstoff [neu](#) Hersteller [neu](#)

Behandlung [neu](#) Produktname [neu](#)

Behandlungsverfahren [neu](#) Herstellerdicke [mm]

2. Eingabe der Prüfparameter und -werte

Messdicke [mm] Dichte [kg/m³] Feuchtegehalt [%]

Messrichtung Temperatur [°C]

Diffusionsmethode ☐ Dry Cup ☐ Wet Cup Diffusionsart μ-Wert

Luftfeuchtebereich (z. B. 0-65; 65-100) Diffusionskoeffizient [m²/s]

3. Eingabe weiterer Informationen

Rating

Quelle [neu](#)

Bemerkungen zu Material / Untersuchung

Abbildung 10: Eingabeformular für Diffusionswerte.

Die Eingabe der Daten erfolgt bei allen Formularen und Unterformularen gleich. Je nach Eingabefeld kann aus einer bestehenden Liste eine Bezeichnung ausgewählt werden (durch Klicken auf das Pfeil-Symbol im jeweiligen Eingabefeld) oder es kann selber ein Wert oder Text eingegeben werden. Nach der Eingabe eines neuen Datensatzes kann dieser gespeichert werden (Speicher-Button auf der linken Seite oben). Anschliessend ist es möglich einen weiteren Datensatz einzugeben und zu speichern. Mit dem rechts neben dem Speicherbutton befindlichen Retourpfeil kann die Eingabe eines neuen Datensatzes rückgängig gemacht werden, sofern er noch nicht mittels des Speicher-Buttons gespeichert wurde. Über den -Button (oben rechts) kann das Formular geschlossen werden. Falls dabei ein neuer Datensatz noch nicht gespeichert wurde, erfolgt beim Klicken die Nachfrage auf Speicherung oder Löschen.

Eingabe der Materialinformationen

Als erstes werden Informationen zum Material eingegeben. Diese sind in folgende acht Rubriken unterteilt:

- Materialgruppe
- Werkstoff
- Behandlung
- Behandlungsverfahren
- Holzart
- Hersteller
- Produktname
- Herstellerdicke

Die Rubrik ‚Materialgruppe‘ umfasst folgende Werkstoffkategorien (*Eingabe zwingend erforderlich*):

- Vollholz (*wird für alle Holzarten ohne näheren Beschrieb des Werkstoffes verwendet*)
- Vollholzwerkstoffe
- Furnierwerkstoffe
- Spanwerkstoffe
- Faserwerkstoffe
- Verbundwerkstoffe
- Klebstoffe
- Mineralische Werkstoffe
- Kunststoffe

Falls keine Materialgruppe passt, kann eine neue Materialgruppe durch Klicken auf den Button „[neu](#)“ definiert werden, wobei das in Abbildung 11 dargestellte Formular erscheint. Durch Speichern (📁) und Schliessen (❌) des Unterformulars gelangt man wieder zum Hauptformular zurück.

Abbildung 11: Eingabeformular für Materialgruppen.

Unter der Rubrik ‚Werkstoff‘ kann das Material spezifiziert werden (*bei Holzarten wird nochmals Vollholz ausgewählt*). Beim Anwählen des Pfeil-Symbols ▼ rechts im Eingabefeld werden die möglichen Werkstoffe pro Materialgruppe angezeigt. Falls kein Werkstoff passt, kann ein neuer Werkstoff durch Klicken auf den Button „[neu](#)“ eingegeben werden, worauf das Formular in Abbildung 12 erscheint.

Unter Auswahl einer Materialgruppe (oberes Feld) kann nun ein neuer Werkstoff (unteres Feld) eingetragen werden. Durch Speichern und Schliessen gelangt man wieder zum Hauptformular.

Abbildung 12: Eingabeformular für Werkstoffe.

Die ‚Behandlung‘ und das ‚Behandlungsverfahren‘ sind ähnlich miteinander gekoppelt wie die ‚Materialgruppe‘ und der ‚Werkstoff‘. Unter ‚Behandlung‘ sind bis anhin folgende Auswahlmöglichkeiten vorhanden:

- unbehandelt
- Herstellungsverfahren
- Modifizierung
- Oberfläche/Beschichtung
- Verleimung
- keine Angabe

Da z.T. mehrere Möglichkeiten der Behandlung für einen Werkstoff in Frage kommen, muss abgewogen werden, welche Auswahl den Werkstoff am besten charakterisiert. Auch hier kann durch Klicken des Buttons „[neu](#)“ eine neue Behandlung (Abbildung 13) bzw. ein neues Behandlungsverfahren (Abbildung 14) eingegeben werden. Die Eingabe erfolgt analog zum Vorgehen bei der Eingabe für neue Materialgruppen bzw. Werkstoffe.

Abbildung 13: Eingabeformular für die Behandlung.

Abbildung 14: Eingabeformular für das Behandlungsverfahren.

Unter der Rubrik ‚Holzart‘ kann der Handelsname einer Holzart angegeben werden. Bis jetzt sind ca. 100 verschiedene Holzarten in der Datenbank erfasst. Durch Klicken des Buttons „[neu](#)“ ist die Erfassung einer neuen Holzart möglich (Abbildung 15). Bei einer Neueingabe muss jeweils zusätzlich zum Handelsnamen der wissenschaftliche Name, die Gattung sowie die Familie genannt und durch Anklicken bestimmt werden, ob es sich um ein Nadel- oder ein Laubholz handelt.

Abbildung 15: Eingabeformular für Holzarten.

Unter der Rubrik ‚Hersteller‘ kann die Herstellerfirma eines Werkstoffs ausgewählt werden. Die Neuerfassung eines Herstellers erfolgt wie oben durch Anklicken des Buttons „[neu](#)“, worauf das Eingabeformular in Abbildung 16 erscheint.

Abbildung 16: Eingabeformular für Hersteller.

Angegeben wird der Name des Herstellers (Firma), der Standort, das Land sowie nach Möglichkeit die Internetadresse und das E-mail.

Bei Plattenwerkstoffen kann zusätzlich zu den bereits genannten Angaben die Plattendicke gemäss den Herstellerangaben unter der Rubrik ‚Herstellerdicke‘ erfasst werden.

Eingabe der Prüfparameter und -werte

Beim Formular für die Diffusion (Abbildung 10) können folgende Prüfparameter und -werte eingegeben werden:

- Gemessene Dicke [mm]
- Dichte [kg/m^3]
- Mittlere Holzfeuchte [%]
- Messrichtung
- Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- Diffusionsmethode
- Diffusionsart
- Luftfeuchtebereich [%]
- μ -Wert
- Diffusionskoeffizient [m^2/s]

Bei der Diffusionsmethode kann zwischen Trockenbereich (Dry Cup) und Feuchtbereich (Wet Cup) unterschieden werden. Diese Bereiche können über den Luftfeuchtebereich (z.B. ,0-65‘ oder ,0-35‘ für eine ,Dry Cup‘-Messung) noch präzisiert werden. Ebenfalls kann die Diffusionsart (stationär oder instationär) angegeben werden (siehe auch Kap. 2.1).

Das Formular für die Sorption ist in Abbildung 17 dargestellt. Es können folgende Prüfparameter und -werte eingegeben werden:

- Sorptionsart
- Mess-Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- Mess-Dichte [kg/m^3]
- Sorptionswerte (φ [%], ω [%])

Bei der Sorptionsart kann zwischen Adsorption und Desorption unterschieden werden. Es können mehrere Sorptionswerte (rel. Luftfeuchte φ mit entsprechender Holz- bzw. Materialfeuchte ω) pro Datensatz eingegeben werden, welche jeweils eine gesamte Sorptionskurve umfassen.

The screenshot shows a web-based form titled "Sorption Neu". It is organized into three numbered sections:

- 1. Eingabe der Materialinformationen:** Contains several input fields and dropdown menus. "Materialgruppe", "Werkstoff", "Behandlung", and "Behandlungsverfahren" are text inputs with a "neu" button next to each. "Holzart", "Hersteller", and "Produktname" are dropdown menus, also with "neu" buttons. "Behandlungsverfahren" is a dropdown menu with a "neu" button. "Herstellerdicke [mm]" is a text input.
- 2. Eingabe der Prüfparameter und -werte:** Includes "Sorptionsart" (dropdown menu), "Messtemperatur [$^{\circ}\text{C}$]" (text input), and "Messdichte [kg/m^3]" (text input). A sub-section titled "Eingabe der Sorptionswerte" contains a table with columns: "ID", "SorptionID", "Luftfeuchte [%]", and "Feuchtegehalt [%]". The table has one row with "(Neu)" in the "ID" column. Below the table is a search bar with "Datensatz: 1 von 1", "Kein Filter", and a "Suchen" button.
- 3. Eingabe weiterer Informationen:** Includes "Rating" (dropdown menu), "Datenauswertung" (dropdown menu), and "Quelle" (text input with a "neu" button). At the bottom is a large text area labeled "Bemerkungen zu Material und Untersuchung".

Abbildung 17: Eingabeformular für Sorptionswerte.

Das Formular für die Wasseraufnahme ist in Abbildung 18 dargestellt. Es können folgende Prüfparameter und -werte eingegeben werden:

- Spezifikation
- Dichte [kg/m^3]
- Messrichtung
- Mess-Fläche [mm]
- Mess-Dicke [mm]
- Wasseraufnahmekoeffizient [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$]

Bei der Spezifikation kann für Holzarten die Herkunft des Holzes innerhalb eines Baumes noch näher präzisiert werden (z.B. Kern- oder Splintholz, Astholz, Wurzelholz, etc.).

zur Übersicht [↶](#) [🖨](#) Wasseraufnahme Neu ✖

WasseraufnahmeID (Neu)

1. Eingabe der Materialinformationen

Materialgruppe neu Holzart keine Angabe neu

Werkstoff neu Hersteller keine Angabe neu

Behandlung keine Angabe neu Produktname neu

Behandlungsverfahren neu Herstellerdicke [mm]

2. Eingabe der Prüfparameter und -werte

Spezifikation keine Angabe Dichte [kg/m³] Messrichtung keine Angabe

Messfläche [mm²] Messdicke [mm] Wasseraufnahmekoeffizient [kg/(m²·s^{0.5})]

3. Eingabe weiterer Informationen

Rating kein Rating

Quelle neu

Bemerkungen zu Material / Untersuchung

Abbildung 18: Eingabeformular für die Wasseraufnahme.

Das Formular für die Wärmekennwerte ist in Abbildung 19 dargestellt. Es können folgende Prüfparameter und -werte eingegeben werden:

- Holzfeuchte [%]
- Dichte [kg/m³]
- Mess-Dicke [mm]
- Messrichtung
- Klimatisierung
- Mess-Druck [Pa]
- Temperatur [°C]
- Temperaturdifferenz [°C]
- Lambda (Mittelwert der Wärmeleitfähigkeit) [W/(m·K)]
- Nennwert (der Wärmeleitfähigkeit) [W/(m·K)]
- Bemessungswert (der Wärmeleitfähigkeit) [W/(m·K)]
- Feuchtekoefizient (Zunahme der Wärmeleitfähigkeit pro Prozent Holzfeuchte) [W/(m·K·%)]
- Temperaturkoefizient (Zunahme der Wärmeleitfähigkeit pro K) [W/(m·K²)]
- Wärmekapazität [J/(kg·K)]

zur Übersicht Wärmeleitfähigkeit Neu

WärmeleitfähigkeitID (Neu)

1. Eingabe der Materialinformationen

Materialgruppe [neu](#) Holzart [neu](#)

Werkstoff [neu](#) Hersteller [neu](#)

Behandlung [neu](#) Produktname [neu](#)

Behandlungsverfahren [neu](#) Herstellerdicke [mm]

2. Eingabe der Prüfparameter und -werte

Feuchtegehalt [%] Messrichtung

Dichte [kg/m³] Klimatisierung (z.B. darrtrocken, 20/65) Bemessungswert [W/(m*K)]

Messdicke [mm] Messdruck [Pa] Feuchtekoeffizient [W/(m*K*%)]

Temperatur [°C] Lambda [W/(m*K)] Temperaturkoeffizient [W/(m*K²)]

Temperaturdifferenz [°C] Nennwert [W/(m*K)] Wärmekapazität [J/(kg*K)]

3. Eingabe weiterer Informationen

Rating

Quelle [neu](#)

Bemerkungen zu Material / Untersuchung

Abbildung 19: Eingabeformular für die Wärmekennwerte.

Eingabe weiterer Informationen

Der dritte Eingabeblock ‚Eingabe weiterer Informationen‘ ist bei allen Hauptformularen (Abbildung 10 u. Abbildung 17 - Abbildung 19) gleich aufgebaut. Es bestehen folgende Rubriken:

- Rating
- Quelle
- Bemerkungen zu Material/Untersuchung

Beim Hauptformular für die Sorption existiert zusätzlich die Rubrik ‚Datenauswertung‘. Hier kann angegeben werden, ob die eingegebenen Werte auf experimentellen Daten beruhen oder anhand eines Modells (HH-Modell, s. Kap. 2.1) bestimmt wurden.

Die Rubrik ‚Rating‘ ermöglicht generell eine Klassierung der Güte der erfassten Daten. Dies wurde bis jetzt jedoch noch nicht durchgeführt.

Unter der Rubrik ‚Quelle‘ muss die Herkunft der Daten angegeben werden. Diese stammen aus wissenschaftlichen Artikeln, Technischen Datenblättern von Herstellerfirmen und internen Messungen am Institut für Baustoffe, Gruppe Holzphysik, der ETH Zürich. Die Eingabe neuer Quellen erfolgt durch Anklicken des Buttons „[neu](#)“. Es erscheint das in Abbildung 20 dargestellte Formular.

zur Übersicht **Quelle Neu**

QuelleID

Geben Sie eine neue Quellenangabe ein

Prüfer / Autor

Institut / Uni / Firma Jahr

Land Monat

Quelle

z.B. Produktdatenblatt Steico; Interne Messung; Holz-Zentralblatt 123 (5): 9-10

Abbildung 20: Eingabeformular für Quellen.

Angegeben werden muss der Prüfer (bei internen Messungen) oder der Autor (nur Erstautor) mit Namen und Vornamen (durch Komma getrennt) sowie das dazugehörige Institut, die Universität oder Firma und das Land, weiter das Jahr und, falls bekannt, der Monat der Veröffentlichung sowie eine genaue Angabe der Quelle (bei Zeitschriften mit ISI-Abkürzung der Zeitschrift, dem Jahrgang, der Heftnummer und den Seitenangaben, jedoch ohne Titel des Artikels, z.B. „Schweiz Z Forstwes 156 (2):47-51“).

3.6 Veröffentlichung der Datenbank im Internet

Die Datenbank steht über das Internet interessierten Fachleuten zur Verfügung. Der Link zur Datenbank findet sich auf der Webseite der Gruppe Holzphysik des Instituts für Baustoffe (IfB) des Departements Bau, Umwelt und Geomatik (D-BAUG) der ETH Zürich:

<http://www.ifb.ethz.ch/wood/links/index>

Um auf die Webseite der Datenbank zu gelangen, wird ein Passwort verlangt. Dieses kann bei der Gruppe Holzphysik des Instituts für Baustoffe beantragt werden.

4 Ausblick

Um die Datenbank aktuell zu halten, ist vorgesehen, diese laufend mit neuen Materialien und um zusätzliche Produzenten zu erweitern.

Es ist zu wünschen, dass die Datenbank einen wichtigen Beitrag zum energieeffizienten Bauen und zu effizientem Materialeinsatz liefern wird. Die z.T. direkt an neu entwickelten Produkten erhobenen Daten mögen dazu beisteuern, Hausbauer, Produkthersteller und Planer von einem zunehmenden Einsatz von Holz in Gebäudehüllen zu überzeugen und durch einen optimierten Einsatz den Anteil der Holzbauten und insbesondere von Minergie-Bauten in der Schweiz zu steigern.

Die Datenbank liefert weiter die Grundlage für eine Aktualisierung der Lignatec-Broschüre „Holzprodukte für den statischen Einsatz“ von Merz et al. (1997). Die Entwicklung neuer Holzprodukte der letzten Jahre ist dort noch nicht berücksichtigt, ausserdem sind die Werte teilweise veraltet. Neue Messungen an Massivholzplatten zeigen z.B. eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit als in der Lignatec-Broschüre angegeben. Die Ausnutzung dieser Reserven wird zu einem effizienteren Materialeinsatz der Werkstoffe führen. Es ist deshalb von der Organisation LIGNUM vorgesehen, die Broschüre hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Kennwerte, zusammen mit einer Anpassung der mechanischen Kennwerte, zu überarbeiten.

Literaturverzeichnis

Anonymus (2010) Software / WUFI / Grundlagen / Materialkennndaten / Grundkennwerte. Fraunhofer IBP, 06.12.2010, http://www.hoki.ibp.fhg.de/wufi/grundl_grund.html.

Bächle, F., Niemz, P. (2005) Untersuchungen zum Einfluss der thermischen Vorbehandlung auf das Sorptionsverhalten und ausgewählte mechanische Eigenschaften von Fichtenholz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 156 (2): 47-51.

Bader, H., Niemz, P., Sonderegger, W. (2007) Untersuchungen zum Einfluss des Plattenaufbaus auf ausgewählte Eigenschaften von Massivholzplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 65 (3): 173-181.

Bekhta, P., Niemz, P. (2009) Effect of relative humidity on some physical and mechanical properties of different types of fibreboard. European Journal of Wood and Wood Products 67 (3): 339-342.

Bosshard, H. H. (1984) Holzkunde. Band 2: Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. 2. Auflage. Birkhäuser Verlag, Basel, 312 S.

Cammerer, I., Achtziger, I. (1984) Einfluss des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Bauforschungsbericht des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn, F 1988. IRB Verlag, Stuttgart, 239 S.

Comstock, G.L. (1963) Moisture diffusion coefficients in wood as calculated from adsorption, desorption, and steady state data. Forest Prod. J. 13:97-103.

Dent, R. W. (1977) A multilayer theory for gas sorption. Part I: Sorption of a single gas. Textile Research Journal 47 (2): 145-152.

Dunlap, F. (1912) The specific heat of wood. USDA For. Serv., For. Prod. Lab. Bull. 110, Madison, Wis.

Foglia, H., Sonderegger, W., Niemz, P., Bader, H., Weber, A. (2006) Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit neuartiger Holzwerkstoffe und Werkstoffverbunde. Forschungsbericht für das Kuratorium des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung Nr. 2004.02.

Ganev, S., Cloutier, A., Beauregard, R., Gendron, G. (2003) Effect of panel moisture content and density on moisture movement in MDF. Wood and Fiber Science 35 (1): 68-82.

Gereke, T., Gustafsson, P.J., Persson, K., Niemz, P. (2009) Experimental and numerical determination of the hygroscopic warping of cross-laminated solid wood panels. Holzforschung 63 (3): 340-347.

Hailwood A.J., Horrobin, S. (1946) Absorption of water by polymers. Analysis in terms of a simple model. Trans. Faraday Soc. 42B:84-92, 94-102.

Hameury, S. (2005) Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study. Building and Environment 40 (10): 1400-1412.

Hukka, A. (1999) The effective diffusion coefficient and mass transfer coefficient of nordic softwood as calculated from direct drying experiments. *Holzforschung* 53 (5): 534-540.

Kollmann, F. 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band: Anatomie und Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität und Festigkeit. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1050 S.

Kollmann, F. (1963) Zur Theorie der Sorption. *Forschung im Ingenieurwesen* 29: 33-41.

Kollmann, F., Côté W.A. Jr. (1968) Principles of Wood Science and Technology. Volume I: Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

Kollmann, F., Malmquist, L. (1956) Über die Wärmeleitzahl von Holz und Holzwerkstoffen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 14 (6): 201-204.

Mauritz, R., Solar, F., Pfitzner, A. (1989) Sorptionsverhalten wohnraumumschliessender Materialien. Teil 1: Einfluss unterschiedlich dichter Anstriche auf das Feuchtepufferungsvermögen von Fichten-, Eichen- und furnierten Spanplattenoberflächen. *Holzforschung und Holzverwertung* 41 (5): 75-79.

Merz, K., Fischer, J., Brunner, R., Baumberger, M. (1997) Holzprodukte für den statischen Einsatz: Teil 1 – Plattenförmige Produkte. *Lignatec* Nr. 5, LIGNUM – Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz.

Nicolai, A., Grunewald, J. (2006): Delphin 5, version 5.2, user manual and program reference. Institut für Bauklimatik, Fakultät Architektur, TU Dresden, Dresden 2005-2006, 113 S.

Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 243 S.

Niemz, P. (2007) Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit ausgewählter einheimischer und fremdländischer Holzarten. *Bauphysik* 29 (4): 311-312.

Niemz, P., Bächle, F., Brox, M. (2003) Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Methoden der thermischen Vergütung von Fichtenholz. *HOLZ* 56 (6): 33-37.

Niemz, P., Jakob, M., Hurst, A. (2005) Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Möglichkeiten der Vergütung von Holz gegenüber holzerstörenden Pilzen. Teil 2: Diffusionswiderstand, Wasseraufnahme und Verhalten bei Freibewitterung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 156 (6): 188-194.

Niemz, P., Sonderegger, W. (2007) Sorptionsisothermen ausgewählter heimischer und fremdländischer Holzarten bei Adsorption und Desorption. *Bauphysik* 29 (5): 381-382.

Niemz, P., Sonderegger, W., Bader, H., Weber, A. (2007) Wärmeleitfähigkeit mehrlagiger Massivholzplatten und weiterer Holzwerkstoffe. *Holztechnologie* 48 (5): 23-28.

Niemz, P., Sonderegger, W., Langenegger, A. (2004) Untersuchungen zur Wasseraufnahme von Holz und Holzwerkstoffen. *HOLZ* 57 (6): 23-24.

- Pavlekovich, A., Niemz, P., Sonderegger, W., Molnar, S. (2008) Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften von Spanplatten und MDF. Holz als Roh- und Werkstoff 66 (2): 99-105.
- Poblete, H., Niemz, P., Bächle, F., Schanack, F. (2005) Investigation on hydrothermal treatment of *Pinus radiata* D. Don. Wood Research 50 (1): 33-41.
- Popper, R., Niemz, P. (2007): Wasserdampf-Sorptionsverhalten ausgewählter Holzarten aus Rwanda. Holztechnologie 47 (4): 39-44.
- Popper, R., Niemz, P. (2009): Wasserdampfsorptionsverhalten ausgewählter heimischer und überseeischer Holzarten. Bauphysik 31 (2): 117-121.
- Popper, R., Niemz, P., Eberle, G. (2004a) Untersuchungen zur Gleichgewichtsfeuchte und Quellung von Massivholzplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 62 (3): 209-217.
- Popper, R., Niemz, P., Eberle, G. (2004b) Untersuchungen zu Diffusionsvorgängen in mehrschichtigen Massivholzplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 62 (4): 253-260.
- Popper, R., Niemz, P., Eberle, G. (2005) Untersuchungen zum Sorptions- und Quellungsverhalten von thermisch behandeltem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 63 (2): 135-148.
- Popper, R., Niemz, P., Eberle, G., Torres, M. (2007) Influence of extractives on water vapour sorption by the example of wood species from Chile. Wood Research 52 (1): 57-68.
- Popper, R., Niemz, P., Torres, M. (2006) Einfluss des Extraktstoffanteils ausgewählter fremdländischer Holzarten auf deren Gleichgewichtsfeuchte. Holz als Roh- und Werkstoff 64 (6): 491-496.
- Roffael, E., Schneider, A. (1978) Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 1: Einfluss des Bindemitteltyps und des Bindemittelaufwands auf die Gleichgewichtsfeuchtigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff 36 (10): 393-396.
- Siau, J. F. (1995) Wood: Influence of moisture on physical properties. Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, Keene NY, 227 S.
- Skaar, C. (1988) Wood-water relations. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 283 S.
- Sonderegger, W. U. (2011) Experimental and theoretical investigations on the heat and water transport in wood and wood-based materials. Dissertation, ETH Zürich, Zürich.
- Sonderegger, W., Niemz, P. (2006) Untersuchungen zur Quellung und Wärmedehnung von Faser-, Span- und Sperrholzplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 64 (1): 11-20.
- Sonderegger, W., Niemz, P. (2009) Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. European Journal of Wood and Wood Products 67 (3): 313-321.
- Sonderegger, W., Niemz, P. (2010) Thermal and moisture flux in soft fibreboards. European Journal of Wood and Wood Products, first online, DOI: 10.1007/s00107-010-0498-7.

Sonderegger, W., Hering, S., Mannes, D., Vontobel, P., Lehmann, E., Niemz, P. (2010) Quantitative determination of bound water diffusion in multilayer boards by means of neutron imaging. *European Journal of Wood and Wood Products* 68 (3): 341-350.

Sonderegger, W., Hering, S., Niemz, P. (2011a) Thermal behaviour of Norway spruce and European beech in and between the principal anatomical directions. *Holzforschung* 65 (3): 369-375.

Sonderegger, W., Vecellio, M., Zwicker, P., Niemz, P. (2011b) Combined bound water and water vapour diffusion of Norway spruce and European beech in and between the principal anatomical directions. *Holzforschung* 65, first online, DOI: 10.1515/HF.2011.091.

Teischinger, A. (1987) Feuchtigkeitsausgleichende Wirkung von Holz in Innenräumen. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.

Trendelenburg, R. (1939) Das Holz als Rohstoff. J. F. Lehmanns Verlag, München, 435 S.

Vanek, M., Teischinger, A. (1989) Diffusionskoeffizienten und Diffusionswiderstandszahlen von verschiedenen Holzarten. *Holzforschung und Holzverwertung* 41 (1): 3-6.

Wang, X., Niemz, P. (2002) Untersuchungen zur Bestimmung der Wasseraufnahmekoeffizienten von Holz in den drei Hauptschnittrichtungen. *HOLZ* 55 (1):32.

Normenverzeichnis

DIN EN 12086:1997 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit.

DIN EN ISO 12572:2001 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit.

DIN EN ISO 15148:2002 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beziehungsstruktur der Datenbank.	9
Abbildung 2: Startformular der Datenbank.	12
Abbildung 3: Suchformular für die Diffusion.	13
Abbildung 4: Zusatzinformationen zu einem Datensatz (Beispiel: Diffusion, Datensatz Nr. 60).	14
Abbildung 5: Zusatzinformationen zu einem Hersteller (Beispiel: Pavatex SA).	14
Abbildung 6: Zusatzinformationen zu einer Holzart (Beispiel: Fichte).	15
Abbildung 7: Bericht der gesuchten Werte (Beispiel: Diffusion von OSB, stationär, dry- cup).	16
Abbildung 8: Suchformular für die Sorption mit Sicht a) der Materialdaten, b) der einzelnen Sorptionswerte und c) der Sorptionsisotherme eines Datensatzes (Beispiel: Faserwerkstoffe der Firma Pavatex SA).	17
Abbildung 9: Eingabeformular für Diffusionswerte.	19
Abbildung 10: Eingabeformular für Materialgruppen.	20
Abbildung 11: Eingabeformular für Werkstoffe.	21
Abbildung 12: Eingabeformular für die Behandlung.	21
Abbildung 13: Eingabeformular für das Behandlungsverfahren.	21
Abbildung 14: Eingabeformular für Holzarten.	22
Abbildung 15: Eingabeformular für Hersteller.	22
Abbildung 16: Eingabeformular für Sorptionswerte.	23
Abbildung 17: Eingabeformular für die Wasseraufnahme.	24
Abbildung 18: Eingabeformular für die Wärmekennwerte.	25
Abbildung 19: Eingabeformular für Quellen.	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beteiligte Industriepartner.	4
--	---

Abkürzungsverzeichnis

Lateinische Symbole

A	Fläche
A_w	Wasseraufnahmekoeffizient
D	Diffusionskoeffizient
T	Temperatur
V	Volumen
a	Temperaturleitfähigkeit
c	Wärmekapazität
d	Dicke
m	Darrgewicht
p	Druck
p_o	Normaler Luftdruck = 1013.25 hPa

Griechische Symbole

δ_a	Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient der Luft, bezogen auf den Dampfteildruck
δ_p	Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizient, bezogen auf den Dampfteildruck
λ	Wärmeleitfähigkeit
μ	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
φ	relative Luftfeuchte
ρ	Dichte
ω	Materialfeuchte

Indizes

	parallel
$\perp$	senkrecht
0, 12, ...	Bei einer bestimmten Materialfeuchte (z.B. 0%, 12% etc.)
T	Temperatur abhängig
inst	im instationären Zustand
st	im stationären Zustand
w	bezüglich Wasser
ω	Materialfeuchte abhängig

Abkürzungen

rel.	relativ
Delphin	Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Luft-, Feuchte-, Schadstoff- und Salztransport (Institut für Bauklimatik, TU Dresden)
HH	Hailwood-Horrobin
LIGNUM	<i>Lignum – Holzwirtschaft Schweiz</i> ist die Dachorganisation der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft
WUFI	„ <u>W</u> ärme <u>u</u> nd <u>F</u> euchte <u>i</u> nstationär“: Software-Familie zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen (Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen)