

## **AiF-Forschungsvorhaben Nr. 484 ZN**

# Entwicklung von Modellen zur Generierung hygrothermischer Kennwerte von Holzwerkstoffen zur numerischen Simulation des Bauteilverhaltens

### **Durchgeführt von:**

**Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)**  
**Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig**  
**Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Norbert Rüter**

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)**  
**Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart**  
**Projektleiter: Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach**

**Laufzeit: 01.07.2013 bis 31.12.2015**

Die numerische Simulation des Bauteilverhaltens gewinnt zunehmenden Einfluss bei der Beurteilung von Bauteilen über die Nutzungsdauer. Die Prognosen können jedoch maximal so genau sein, wie die der Berechnung zu Grunde liegenden Materialkennwerte. Trotz diverser Untersuchungen lagen diese Materialkennwerte in nicht zufrieden stellender Qualität für Holzwerkstoffe vor. Deshalb wurde dieses mit den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie geförderte Forschungsvorhaben durchgeführt. Es sollten die Einflüsse aus den Holzwerkstoffen auf die hygrothermischen Materialeigenschaften erforscht werden, um so die hygrothermischen Materialeigenschaften prognostizierbar zu machen. Die hierzu notwendigen Kennwerte lagen nicht vor und sollten in diesem Vorhaben entwickelt werden.

Die Prognosemodelle sollten dabei gemäß ursprünglichem Forschungsantrag für folgende Materialkennwerte verwendbar sein:

- Porosität
- Wärmekapazität trocken
- Wärmeleitfähigkeit trocken
- feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit
- Freie Wassersättigung
- Flüssigwassertransportkoeffizienten
- Sorptionsisotherme / Feuchtepeicherefunktion

Die Ergebnisse des Vorhabens erlauben die Aussage, dass einige Materialkennwerte mit Hilfe von Prognosemodellen exakt und einige mit baupraktisch ausreichender Genauigkeit vorhergesagt werden können, also ohne Messung der jeweiligen Kennwerte. Die Ergebnisse zeigen aber auch die Erfordernis weiterer Untersuchungen, da die labortechnisch ermittelten Werte immer nur an frischen, nicht gealterten Proben durchgeführt werden. Mit Hilfe von numerischen Simulationen soll jedoch das Bauteilverhalten innerhalb der nächsten Jahrzehnte vorhergesagt werden, so dass eine Alterung in Betracht gezogen werden muss.

Als Beispiel eines sehr exakten Modells kann die Porosität angesehen werden, die mit Hilfe der nachstehenden Gleichung

$$\text{Porosität} = 1 - \text{Rohdichte}/\text{Reindichte von Holz} = 1 - \text{Rohdichte}/1500$$

(mit Eingabe der Rohdichte in  $\text{kg}/\text{m}^3$ )

exakt bestimmt werden kann, ohne dass eine Messung der Porosität vorgenommen werden muss.

Die Sorptionsfeuchte von Holzwerkstoffen kann in gewissen Grenzen mit baupraktisch ausreichender Genauigkeit mit Hilfe der in diversen Literaturstellen angegebenen Werte für Vollholz angenommen werden. Brandschutzmittel oder andere Zuschlagstoffe können jedoch das Sorptionsverhalten, insbesondere bei hoher Luftfeuchte signifikant verändern. Dies gilt auch für Phenolharzklebstoffe, aber nicht für alle anderen üblichen Klebstoffe und Hydrophobierungsmittel. Da diese nicht sorptiv wirksam sind, ist die Holzfeuchte der Holzwerkstoffe üblicherweise um wenige Prozentpunkte geringer als die in der Literatur angegebenen Werte für Vollholz.

Entgegen der ursprünglichen Planung zeichnete sich im Zuge der Projektbearbeitung ab, dass die Parameter Klebstoffanteil und Anteil an Hydrophobierungsmittel problematisch sind, da einzelne Klebstoffe, insbesondere z.B. PMDI-Klebstoffe, hydrophobierend wirken, so dass die beiden Parameter bei einzelnen hygrothermischen Kennwerten zusammengefasst betrachtet werden können. Zudem ist der Anteil, selbst bei Fertigung von Holzwerkstoffen im nichtindustriellen Labormaßstab, nur als Mittelwert einer Platte oder Charge bekannt sind. Hinsichtlich der Ermittlung der tatsächlichen Verteilung innerhalb des Holzwerkstoffes sind bisher keine praktikabel anwendbaren Verfahren bekannt. Dabei ist die Menge des Mittels bei Kontakt mit Flüssigwasser in einer sehr kleinen Spannbreite relevant, die jedoch nur unzureichend exakt beziffert werden kann. Die Untersuchungen zeigen, dass selbst mit einer Zugabe von 0,5 % Hydrophobierungsmitteln ein W-Wert von  $0,5 \text{ kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{h}}$  erreicht wird. Eine größere Menge an Hydrophobierungsmitteln bringt keine nennenswert höhere Hydrophobierung.

Die Wärmeleitfähigkeit korreliert mit der Rohdichte, so dass diese zur Prognose der Wärmeleitfähigkeit mit baupraktisch ausreichender Genauigkeit genügt. Der Einfluss der Feuchte kann mit Hilfe eines Additionsterms beschrieben werden, der davon ausgeht, dass die Poren des Holzwerkstoffes mit Wasser gefüllt werden und somit die Porosität und den normierten Wassergehalt berücksichtigt. Dieses Modell widerspricht jedoch den Angaben der EN 13171 und es wurde im Zuge der Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit deutlich, dass mit dem THB-Verfahren zwar die Feuchteabhängigkeit ermittelt werden kann. Der

tatsächliche Wert der mit dem THB-Verfahren ermittelten Wärmeleitfähigkeit wich jedoch von den Erfahrungen der Projektpartner signifikant ab. Es erscheint erforderlich, für eine exakte Aussage weitere Forschungen durchzuführen.

Die Wärmespeicherfähigkeit ist eine Funktion der Holzfeuchte und kann mit baupraktisch ausreichender Genauigkeit für alle Hölzer und Holzwerkstoffe beschrieben werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens lassen sich zusammenfassend wie folgt beschreiben:

1. Die in der Aufgabenstellung benannten Materialeigenschaften lassen sich mit baupraktisch ausreichender Genauigkeit ausschließlich mithilfe der bei der Herstellung der Holzwerkstoffe bekannten Eigenschaften prognostizieren - **das Ziel des Forschungsvorhabens wurde somit erreicht.**
2. Bis zum heutigen Zeitpunkt ist es jedoch üblich, die hygrothermischen Kennwerte an ungealterten, produktionsfrischen Proben zu ermitteln. Das Alterungsverhalten bleibt somit bis heute unberücksichtigt. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Materialveränderungen aufgrund einer natürlichen Alterung (keine Materialschädigung!) in der Regel nicht sehr gravierend sind. D.h. eine Langzeitprognose ist nach heutigem Stand der Technik trotz Alterung möglich.
3. Die mit diesem Vorhaben entwickelten Modelle beschreiben die Effekte baupraktisch ausreichend genau, die Ursachen und mikroskopischen Vorgänge können damit jedoch nicht vollständig beschrieben werden. Hier ist weiterer Forschungsbedarf vorhanden.
4. Zusätzlicher Forschungsbedarf ist auch bei einzelnen weiteren Fragestellungen gegeben, z.B. hinsichtlich der Frage der Sorptionsgeschwindigkeit. Es ist bekannt, dass sich die Ausgleichsfeuchte bei unterschiedlichen Holzwerkstoffen unterschiedlich schnell einstellt – dieser Effekt wird zum jetzigen Zeitpunkt weder prüftechnisch erfasst und bei der numerischen Simulation nicht berücksichtigt.

### **Danksagung**

Das IGF-Vorhaben 484 ZN der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:  
**Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH)**  
**Bienroder Weg 54 E**  
**38108 Braunschweig**