

Kurzfassung

Kenntnisse über den Holzfeuchtezustand in einem Holzbauteil sind von essentieller Bedeutung zur Vorhersage dessen mechanischen Verhaltens. Nicht nur hat die Holzfeuchte großen Einfluss auf Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften sondern auch auf Diffusionskoeffizienten, die Dichte, die spezifische Wärmekapazität sowie auf die Wärmeleitfähigkeit. Für die Entwicklung von neuen Holzprodukten können daher moderne Vorhersagetools, welche in der Lage sind diese Effekte zu beschreiben, von großem Nutzen sein. Speziell wenn diese Produkte komplexe Geometrien aufweisen und aus Werkstoffen mit unterschiedlichen Feuchteigenschaften bestehen, wie es beim neuen Schalungsträger *Itec pro* von Doka der Fall ist. Dieser setzt sich aus drei unterschiedlichen Materialien zusammen: Fichte in den Flanschbereichen, einer Aluminiumschiene ebenfalls im Flanschbereich und einer Spezial-Flachpressplatte als Steg. Durch unterschiedliche und richtungsabhängige Ausdehnungskoeffizienten dieser Materialien kommt es zu Spannungen infolge Formänderung. Die Größe der Spannungen ist von den geometrischen und klimatischen Bedingungen abhängig. In ungünstigen Fällen können diese so groß werden, dass die Festigkeit des Klebers zwischen Materialien überschritten wird oder im Holz selbst Risse entstehen.

Ziel dieser Diplomarbeit war es diese geometrie-, feuchte- und temperaturinduzierten Prozesse zu verstehen und Vorhersagen auf Basis eines numerischen Simulationstools zu tätigen. Die Modellierung der Feuchtetransportprozesse unterhalb des Fasersättigungsbereichs erfolgt dabei über einen Multi-Fickschen Ansatz, bestehend aus zwei Feuchtetransportgleichungen. Zur Beschreibung von Feuchte- und Wärmetransport wird dieser Ansatz mit einer Energieerhaltungsgleichung nach Eitelberger [2011] erweitert. Die resultierenden drei gekoppelten Differentialgleichungen wurden mittels Subroutinen in *Abaqus* implementiert und werden dort in sequentieller Art und Weise iterativ gelöst.

Die Simulationsergebnisse wurden mit Ergebnissen aus Versuchen in Frandsen et al. [2007a] und Dvinskikh et al. [2011] verglichen. Im Wesentlichen wurde eine sehr gute Übereinstimmung der simulierten und gemessenen Feuchtefelder erhalten. Als zusätzliche Validierung wurden von der Holzforschung-Austria [2010] durchgeführte Klimawechselversuche an Schalungsträgern simuliert. Auch hier zeigte sich eine gute Vorhersagequalität des entwickelten Simulationstools. Schlussendlich wurde ein Wechselklimaversuchszyklus nach DIN EN 321 [2002] des oben beschriebenen Schalungsträgers *Itec pro* vollständig simuliert. Dieser besteht aus vier Phasen: Wasserlagerung, Gefrieren, Trocknen und Abkühlen. Spannungszustände und Verformungen bei niedrigeren Holzfeuchtigkeiten als dem Ausgangszustand können damit gut vorhergesagt werden. Einen wesentlichen Einfluss hat nach Betrachtung der Ergebnisse auch die Lage der Steife des Aluminiumprofils.

Mit dem in dieser Diplomarbeit vorgestellten numerischen Simulationstool ist es also möglich in einem beliebigen Holzquerschnitt zu jedem Zeitpunkt die Werte der relativen Luftfeuchtigkeit, der Holzfeuchtigkeit und der Temperatur in Abhängigkeit von sich ändernden äußeren Klimazuständen zu berechnen. Wichtige, aus Experimenten nicht identifizierbare, Informationen über kritische Spannungs- und Feuchtwerte sowie gute Verformungsprognosen können daraus gewonnen werden.

Abstract

Knowledge about the wood moisture condition in a timber component is essential to predict its mechanical behaviour. Not only stiffness and strength properties are highly dependent on the wood moisture content but also diffusion coefficients, density, specific heat capacity and the thermal conductivity. Therefore, modern prediction tools, which are able to describe these effects, can be of great benefit for the development of new wood-based products. Especially if these products exhibit complex geometries and are made of materials with different moisture characteristics, as it is the case with the new formwork beam *Itec pro* developed by *Doka*, which is made up of three different materials: spruce in the flange, an aluminium rail also in the flange, and a special particleboard as web. Different and direction-dependent coefficients of expansion of these materials may lead to critical stresses due to deformation. The stress levels depend on geometric and climatic conditions. These stresses can, under unfavourable circumstances, exceed the adhesive strength of the glue between materials or lead to cracks within wood itself.

For this reason, the aim of this thesis has been to better understand these geometry, moisture- and temperature-induced processes and to make predictions based on a newly-developed numerical simulation tool. Thereby, the moisture transport processes below the fibre saturation point have been modelled by a multi-Fickian approach, consisting of two moisture transport equations. For a description of heat and moisture transport, this approach has been expanded by an energy conservation equation according to Eitelberger [2011]. The resulting three coupled differential equations were implemented with user subroutines into Abaqus and solved iteratively in a sequential manner.

The simulation results were compared with results from experiments in Frandsen et al. [2007a] and Dvinskikh et al. [2011]. Essentially, a very good agreement between the simulated and measured moisture fields was obtained. As additional validation, a climate change experiment on a formwork beam, performed by Holzforschung-Austria [2010], was simulated. Again, a good predictive quality of the developed simulation tool was obtained. Finally, an alternating climate test cycle, as defined in DIN EN 321 [2002], of the above described formwork beam *Itec pro* was fully simulated. This consists of four phases: water storage, freezing, drying and cooling. Important trends, like the stress level and deformation at lower humidities than the initial state, could be well predicted. Moreover, it was found that the position of the stiffener of the aluminium profile has a significant influence on the results.

With the numerical simulation tool presented in this thesis, it is possible to calculate at any time the values of the relative humidity, the wood moisture content and temperature in any point of a timber cross-section. Important information, unidentifiable from experiments, on critical stress and moisture states as well as good deformation predictions can be obtained therefrom.