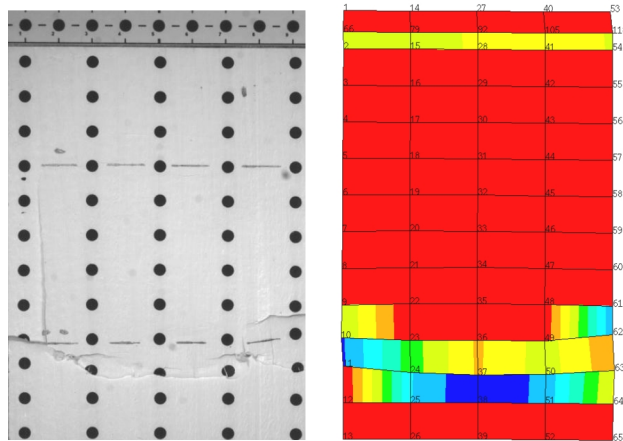


# Diplomarbeit

## Das nichtlineare Tragverhalten von Holz bei longitudinaler Druckbeanspruchung oberhalb der Proportionalitätsgrenze



**eingereicht von:** Götz Hüsken  
**geboren am:** 03.09.1978 in Eisenach  
**Seminargruppe:** B / 98 / C  
  
**Reg.-Nr.:** B / 2004 / 103

## Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, das Festigkeitsverhalten von Holz bei longitudinaler Druckbelastung zu untersuchen und anhand von Versuchsergebnissen die Versagensmechanismen in einem numerischen Modell zu beschreiben.

Bereits im Vorfeld dieser Arbeit wurden dazu Versuche unter Voll- und Teilflächenbelastung am Lehrstuhl für Holz- und Mauerwerksbau durchgeführt. Für die Auswertung der Versuche lagen Messdaten aus einer klassischen induktiven Wegmessung sowie aus einer photogrammetrischen Messung vor. Diese Daten mussten im Vorfeld der Versuchsauswertung aufgearbeitet werden. Hierbei bildete die Aufarbeitung der photogrammetrischen Messdaten einen Schwerpunkt, da auf diesem Gebiet nicht auf vorhandene Methoden für eine graphische Darstellung der Messdaten zurückgegriffen werden konnte. Mit der Verarbeitung der photogrammetrischen Messdaten in dem FE-Programm ANSYS konnte eine praktikable Methode für die Darstellung der Dehnungen gefunden werden.

Basierend auf den Daten der induktiven und photogrammetrischen Verformungsmessung wurden die Beziehungen im Kraft-Verformungs-Diagramm durch das vorgeschlagene numerische Modell beschrieben und konnten durch eine Simulationsrechnung an den zu Vergleichszwecken ausgewerteten Druckversuchen von *Poulsen* nachvollzogen werden.

Als feste Eingabeparameter aus den Versuchen stehen für eine numerische Simulation bis zur Phase II der Druck-Elastizitätsmodul  $E_{c,0}$ , die Proportionalitätsgrenze sowie die Druckfestigkeit  $f_{c,0}$  mit dem zugehörigen Dehnungsmaß  $\varepsilon_{c,0,2}$  zur Verfügung. Diese Eingabewerte können, bis auf das Dehnungsmaß  $\varepsilon_{c,0,2}$ , in Übereinstimmung zu anderen Druckversuchen an fehlerfreiem Holz bestimmt werden.

Für die Beschreibung der Versagensvorgänge in der Phase III des Druckversagens wurden in der Verfestigungsvorschrift des numerischen Modells zwei unterschiedliche Varianten für die Beschreibung des Verlaufs der Arbeitslinie gewählt. Die notwendigen Eingabeparameter in diesem Bereich werden durch die Randbedingungen der gewählten Variante der Verfestigungsvorschrift bestimmt.

Für eine numerische Simulation werden bei Verwendung der Variante 1 der Verfestigungsvorschrift die Druckfestigkeit  $f_{c,0,3}$  am Ende der Phase III, das zugehörige Dehnungsmaß  $\varepsilon_{c,0,3}$  sowie der den Anstieg in der Phase IV beschreibende Parameter  $E_{c,0,4}$  benötigt. In der Variante 2 der Verfestigungsvorschrift entfällt

der Wert des Dehnungsmaßes  $\varepsilon_{c,0,3}$ . Die Versagensvorgänge werden hierbei durch die während der Phase III benötigte Schädigungsenergie  $G_{c,0,D,pl}$  beschrieben.

Durch die Auswertung der Versuche zeigte sich, dass lediglich die Druckfestigkeit  $f_{c,0,3}$  am Ende der Phase III einen festen Wert darstellt und sich im Bereich des Festigkeitsniveaus der Proportionalitätsgrenze einstellt. Die verbleibenden Eingabeparameter für eine numerische Simulation sind stark von den Randbedingungen des Versuchs abhängig. Dabei haben der Verlauf der Stauchschicht in tangentialer Richtung und das die Versagensvorgänge in der Phase IV begleitende Aufreißen der Probekörper einen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf der Arbeitslinie und dadurch die Eingabeparameter. Eine aussagekräftige Bestimmung dieser Parameter ist nur durch eine Auswertung weiterer Druckversuche in ausreichend großer Stichprobenanzahl möglich.

Eine Verfestigung des Materials bei sehr großen Stauchungen, wie sie von *Adalian* und *Morlier* beobachtet wurde, konnte durch die eigenen Druckversuche aufgrund der geringeren während des Versuchs aufgebrachten Gesamtverformung nicht belegt werden und ist daher auch nicht Bestandteil der Simulationsrechnung.

Die Auswertung der photogrammetrischen Messdaten verdeutlichte, dass die plastischen Verformungen nach Erreichen der Höchstlast eindeutig auf den Bereich der Versagenszone begrenzt sind und durch die seitliche Erweiterung der Stauchschicht hervorgerufen werden. Entstehungsort der anfänglich lokal begrenzten und makroskopisch sichtbaren Schädigungsbereiche sind bei den eigenen Druckversuchen unter vollflächiger Belastung die Randbereiche der Bohrungen. Die hier gemessenen plastischen Verformungen, verursacht durch ein beginnendes Ausknicken der Fasern, übersteigen mögliche plastische Verformungen im Restquerschnitt, deren Ursache wiederum in der Ausbildung feiner Stauchlinien in den Faserwänden besteht. Somit konzentrieren sich bei den eigenen Druckversuchen die plastischen Verformungen nach Erreichen der Proportionalitätsgrenze auf den Bereich der späteren Versagenszone.

Im Lasteinleitungsbereich konnte gezeigt werden, dass die durch das Aufbringen der Belastung hervorgerufenen Vorgänge auf den unmittelbaren Bereich der Fuge beschränkt sind und durch den Einsatz entsprechender Elemente im Bereich der Fuge Berücksichtigung finden sollten.

Mit Hilfe der Auswertung der Versuche ist es gelungen die Versagensvorgänge bei longitudinaler Druckbeanspruchung durch ein numerisches Modell zu beschreiben.

Diese numerische Formulierung der Festigkeitsentwicklung bildet innerhalb eines Materialmodells die Grundlage für die rechnerische Modellierung des Tragverhaltens verschiedener Bauteile aus Holz bei Druckbeanspruchung.

Der vollständige Text der Arbeit kann am Lehrstuhl für Holz- und Mauerwerksbau der Bauhaus-Universität Weimar, Marienstraße 13a eingesehen werden.