

Ein Beitrag zur Detektion von schädigungsbasiertem und linear-elastischem Materialverhalten zum Monitoring tragender Holzbauteile basierend auf hochauflösender optischer Dehnungsmessung

**Von der Fakultät Bauingenieurwesen der technischen Universität Dresden
genehmigte Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)**

von Dipl.-Ing. Rupert Heinrich Michael Nieberle
Geboren am 17.02.1983 in Gräfelting

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Hänsel
Prof. Dr.-Ing. Alexander Stahr

Verteidigung: 30.01.2025

Kurzfassung der Dissertation –

Ein Beitrag zur Detektion von schädigungs-basiertem und linear-elastischem Materialverhalten zum Monitoring tragender Holzbauteile basierend auf hochauflösender optischer Dehnungsmessung

In der vorliegenden Arbeit wurden Grundlagen zu einem Materialmodell für Holz als Basis für ein Schädigungsmonitoring entwickelt. Dabei wurde ausschließlich auf ein Schädigungsszenario eingegangen, bei welchem das Versagen aus einer kurzfristig einwirkenden übermäßigen Last resultiert. Als nicht schädigungs-basierte Dehnungsarten wurde auf die linear-elastische Dehnung sowie auf störungsbedingte Dehnungsanteile (Messfehler) eingegangen. Das entwickelte Modell sollte dabei die Möglichkeit eröffnen, aus gemessenen Dehnungsverteilungen an einem Bauteil auf die Anwesenheit von schädigungs-basierter Dehnung in der Gesamtdehnung zurückschließen zu können.

Als Messgröße für die Bewertung wurde ausschließlich auf Dehnungen in Richtung der Hauptachse des Bauteils eingegangen. Weitere Größen (Holzfeuchte, -temperatur, einwirkende Lasten bzw. Spannungen etc.) wurden nicht in das Modell integriert. Die Grundlagen, insbesondere hinsichtlich der linear-elastischen Dehnung, wurden der Literatur entnommen. Daraus nicht beantwortbare Fragestellungen wurden durch eigene Betrachtungen basierend auf zyklischen Zug- und Biegeversuchen bei geringen Lasten sowie auf zerstörenden Biegeversuchen an Fichtenholzproben bearbeitet. Die Dehnungsaufnahme erfolgte kamerabasiert (digitale Bildkorrelation).

Als Indiz für eine Schädigungsfreiheit wurde ein lineares Dehnungsverhalten genutzt. Hierbei zeigte sich, dass insbesondere Dehnratenverhältnisse – das Verhältnis der gemessenen Dehnrate an einem betrachteten, vergleichsweise kleinen Abschnitt bezogen auf die mittlere Dehnrate über größere Bereiche des betrachteten Bauteils – geeignet sind, die Schädigungsfreiheit der betrachteten Bauteile zu beurteilen. Im schädigungsfreien Zustand ergab das Dehnratenverhältnis jedes Abschnitts eine Konstante, wobei die Messwerte auf Grund der Messfehler (störungs-basierte Dehnung) um diese streuten. Durch die Anwendung statistischer Tests ist es möglich, zu beurteilen, ob diese Abweichungen auf Messfehler oder Schädigung zurückzuführen sind.

Durch die verwendete Methodik war es möglich, nicht-lineares Materialverhalten weit vor einem Bruch zu detektieren. Bei den untersuchten Biegeproben wurde ein solches Verhalten bereits bei einer Krafteinwirkung von 25 – 83 % der späteren Bruchkraft erkannt. Diese Detektion war grundsätzlich im Zug- und im Druckbereich der Proben und in einem sehr breiten betrachteten Holzfeuchtebereich möglich.

Abstract

A contribution to the detection of damage-based and linear-elastic material behaviour for monitoring load-bearing timber components based on high-resolution optical strain measurement

In this thesis, basics for a material model of wood for use in damage monitoring were developed.

The model was developed under consideration of only one damage scenario, wherein the failure results from a short-term excessive load. As non-damage-based types of strain, linear-elastic strain and fault-related strain components (measurement errors) were considered. The developed model should make it possible to draw conclusions about the presence of damage-based strain in the measured overall strain distributions of a construction component.

As measured variables for the monitoring, only strains in the direction of the main axis of the component were used. Other variables (wood moisture and temperature, loads or stresses, etc.) were not integrated into the model. The basics, especially in linear-elastic strain, were taken from the literature. Questions that could not be answered from literature were answered by own observations based on cyclic tensile and bending tests at low loads as well as on destructive bending tests on spruce wood samples. The strain recording was camera-based (digital image correlation).

Linear strain characteristics were used as an indication for a damage free behaviour. This showed that strain rate ratios in particular – the ratio of the measured strain rate on a considered small section in relation to the average strain rate over larger areas of the construction component – are suitable for assessing the freedom from damage of the components. In the damage-free state, the strain rate ratio of each section resulted in a constant, whereby the measured values scattered around this constant due to the measurement errors (fault-based strain). By applying statistical tests, it is possible to assess whether these deviations are due to measurement errors or damage.

The methodology used made it possible to detect non-linear material behaviour long before fracture. In the tested bending samples, such behaviour was already detected at a force of 25 - 83 % of the subsequent breaking force. This detection was basically possible in the tensile and compression range of the samples and in a very wide range of wood moisture content.