

# In-situ-Festigkeitssortierung von Holzbauteilen in bestehenden Konstruktionen – eine Fallstudie

Vortragende/Vortragender:

## Linke, Gunter

Dipl.-Ing. (FH)  
BTU Brandenburgische Technische  
Universität, Cottbus  
Konrad-Wachsmann-Allee 2a  
03046 Cottbus  
linke@holzbau-statik.de



- Jahrgang 1987
- 2007-2011 Studium der Holztechnik an der HNE Hochschule für nachhaltige Entwicklung, Eberswalde
- Seit 2011 Mitarbeiter im Sachverständigenbüro Prof. Dr.-Ing. W. Rug (Tätigkeitsschwerpunkt: Bauzustandsbewertung von Holzkonstruktionen)
- Seit 2017 Doktorand an der BTU Brandenburgischen Technischen Universität, Cottbus

Autoren: Gunter Linke; Wolfgang Rug; Hartmut Pasternak

## Zusammenfassung

Das Bauen im Bestand gewinnt auch im Holzbau zunehmend an wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Bedeutung. Eine umfassende Bauzustandsbewertung ist jedoch unbedingte Voraussetzung für die Planung und Ausführung fachgerechter und substanzschonender Eingriffe in das bestehende Tragwerk. Ein wesentlicher Teil ist die Erfassung der vorhandenen Tragfähigkeit, welche in der jüngeren Vergangenheit mehr und mehr in den Fokus der Forschung gerückt ist. Eine visuelle Untersuchung in Kombination mit zerstörungsfreien/-armen Prüfmethode ist dabei allgemeiner Konsens. Grundlegende Anforderungen sind in den Entwürfen internationaler Regelwerke bereits enthalten. Jedoch fehlen bis dato konkrete Festlegungen zur praktischen Durchführung. Der vorliegende Beitrag stellt eine Methode zur in situ-Festigkeitssortierung am Beispiel einer etwa 100 Jahre alten Dachkonstruktion vor. Die Ergebnisse der Fallstudie zeigen, dass durch die kombinierte Betrachtung von visuell und zerstörungsfrei/-arm messbaren Wuchs-, Bauteil- und Materialeigenschaften eine zuverlässige Ermittlung der Materialqualität möglich ist.

## 1. Einleitung

Das Bauen im Bestand hat in der jüngeren Vergangenheit zunehmend an wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Bedeutung gewonnen. Um jedoch bestehende Konstruktionen substanzschonend und fachgerecht zu erhalten, instand zu setzen und zukünftig nutzen zu können, ist eine umfassende Bewertung des Bauzustandes erforderlich. Dies erfordert im Allgemeinen eine Aktualisierung des Kenntnisstandes über das Tragwerk. Neben einer grundlegenden Erfassung des Tragwerkes, der vorhandenen Einwirkungen und etwaiger Schädigungen ist auch die Feststellung der vorhandenen Materialqualität wesentlicher Bestandteil einer detaillierten Bauzustandserfassung. Letzteres ermöglicht die Aufdeckung von Tragfähigkeitsreserven und -defiziten und deren Berücksichtigung bei der Standsicherheitsbewertung und der Planung von Instandsetzungsmaßnahmen. Insbesondere bei bestehenden Holzkonstruktionen ist daher eine besondere Sorgfalt und Sachkenntnis erforderlich.

In der jüngeren Vergangenheit ist die Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von Holzbauteilen in bestehenden Konstruktionen auf internationaler Ebene zunehmend in den Fokus der Forschung gerückt. Die Kombination aus einer visuellen Untersuchung und

zerstörungsfreien/-armen Prüfmethoden hat sich dabei als Konsens herauskristallisiert. Mehrere nationale und internationale Regelwerke legen dazu bereits grundlegende Anforderungen fest. Dennoch existieren bis dato keine konkreten Festlegungen zur Durchführung einer in situ-Festigkeitssortierung.

Eigene, systematische Materialuntersuchungen hierzu haben gezeigt, dass der kombinierte Einsatz der visuellen Sortierung mit zerstörungsfreien/-armen Prüfmethoden eine wesentlich genauere Erfassung der Materialeigenschaften ermöglicht. Die Erprobung der in Untersuchungen an neuem Bauholz entwickelten Sortiermethode ist Gegenstand des vorliegenden Beitrags. Am Beispiel von Materialversuchen an etwa 100 Jahre alten Holzbauteilen wird das generelle Vorgehen erläutert und wesentliche Rahmenbedingungen dargestellt.

## **2. Festigkeitssortierung von Holzbauteilen in bestehenden Konstruktionen**

### **2.1 Ausgangssituation**

Die in Deutschland bauaufsichtlich eingeführten Bemessungsnormen (Eurocodes) gelten grundsätzlich nur für die Errichtung von Neubauten. Im Zuge von Instandsetzungsmaßnahmen an bestehenden Konstruktionen sind sie analog anzusetzen (s. [1-3]). Die Nachweisführung unter Verwendung der normativ festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte ist jedoch kritisch zu betrachten, da diese der Absicherung von Unsicherheiten aus der Streuung der rechnerisch anzunehmenden Beanspruchungen und Materialeigenschaften sowie aus Abweichungen zwischen der Planung und der Ausführung dienen und überwiegend bei bestehenden Konstruktionen nicht in vollem Umfang zum Tragen kommen können. Die strenge Anwendung der für Neubauten geltenden Bemessungsregeln führt unter Umständen zu unwirtschaftlichen, unverhältnismäßigen bis hin zu nicht fachgerechten Eingriffen in die bestehenden Konstruktionen. Insbesondere bei historischen Konstruktionen ist dies nicht vertretbar.

Dieser Problematik kann durch eine detaillierte Standsicherheitsbewertung entgegen gewirkt werden (s. bspw. [10]). Unbedingte Voraussetzung ist eine umfassende und möglichst exakte Erfassung des Bauzustandes. Obwohl hierzu auf europäischer Ebene ein klarer Entwicklungstrend hinsichtlich der Erarbeitung diesbezüglicher Regelwerke zu beobachten ist, existieren bis dato in Deutschland keine bauaufsichtlich eingeführten Verfahren oder Regelwerke.

### **2.2 Stand der Forschung und Entwicklung**

Ein wesentlicher Teil einer umfassenden Bauzustandserfassung ist die Feststellung der Materialqualität des verbauten Holzes. Die Vorschläge und Entwürfe für eine vereinheitlichte europäische Normung treffen hierzu allgemeine Festlegungen, wobei eine Festigkeitssortierung entsprechend der für neues Bauholz geltenden Normen vorgesehen ist (s. [4-6]). Deren strenge, uneingeschränkte Anwendung in bestehenden Konstruktionen ist jedoch meist nicht möglich. Dies führt dazu, dass in der Praxis aktuell nur in den seltensten Fällen eine Festigkeitssortierung vorgenommen wird. Selbst dann erfolgt diese meist nur visuell in begrenztem Umfang, was jedoch nur bedingt geeignet ist, um die tatsächlich vorhandenen Materialeigenschaften abzuschätzen (s. bspw. [7]). Tragfähigkeitsdefizite und -reserven können so nicht erkannt und gezielt bei der Planung und Ausführung von Instandsetzungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Dies hat im Extremfall unwirtschaftliche, unfachmännische und wenig substanzschonende Eingriffe in die historische Bausubstanz zur Folge.

Der unterstützende Einsatz von zerstörungsfreien/-armen Prüfmethoden führt zu einer wesentlichen Verbesserung (s. bspw. [8]). Dies gilt in gleichem Maße für Holzbauteile in bestehenden Konstruktionen, da gerade hier die Tragfähigkeit der Holzbauteile bei strenger

Anwendung der Sortiervorschriften meist deutlich unterschätzt wird (s. bspw. [9]). Somit ist eine Optimierung der Festigkeitssortierung und die Festlegung detaillierter Sortiermethoden und -kriterien erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Auswertung und Interpretation der verwendeten Prüfmethode.

### 2.3 Methode zur in situ-Festigkeitssortierung

Die Möglichkeiten zur Optimierung der Festigkeitssortierung ist in systematischen Materialversuchen an neuem und altem Bauholz untersucht worden. Die aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen abgeleitete Methode basiert auf dem normativ geregelten System der maschinellen Festigkeitssortierung. Dabei wird ein Sortierparameter über Regressionsbeziehungen zwischen ausgewählten visuell messbaren Wuchsmerkmalen, den Ergebnissen zerstörungsfreier Ultraschall-Impulslaufzeitmessungen sowie der zerstörungsfrei/ermittelten Rohdichte und dem statischen Biege-Elastizitätsmodul ermittelt. Um dem Erhaltungszustand und der Möglichkeit zur Verwendung angepasster Nachweismethoden Rechnung zu tragen, ist die Methode mehrstufig aufgebaut (s. **Abb. 1**). Abhängig von der Sortierstufe ist die Aktualisierung der Teilsicherheitsbeiwerte und des Widerstandsmodells möglich (s. a. [10]). Deren Erforderlichkeit richtet sich im Wesentlichen auch nach der Aufgabe der Bauteile innerhalb der Konstruktion, dem Schädigungsgrad sowie der denkmalpflegerischen Bedeutung. So sind für untergeordnete Bauteile mit geringer statischer Relevanz nur ein geringer Kenntnisstand sowie semi-probabilistische Nachweise ohne Aktualisierungen für deren Bewertung ausreichend. Für die Bewertung des Haupttragwerkes, hochbeanspruchter oder stark geschädigter Bauteile kann hingegen ein höherer Kenntnisstand und eine erforderlich werden. Gleiches gilt für Bauteile und Konstruktionen von hohem denkmalpflegerischem Wert. Dies bietet die Möglichkeit die notwendigen Untersuchungen in situ gezielt zu planen und durchzuführen.

<b>Sortierstufe SGL 3 – apparativ unterstützte visuelle Festigkeitssortierung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung der Ästigkeit, der Faserneigung und der Risse (Messgrößen: A/FN/R)</li> <li>- Ultraschall-Impulslaufzeitmessung (Messgrößen: v/U)</li> <li>- Entnahme von Bohrkernproben (Messgrößen: <math>\rho_{BK}/E_{dyn}</math>)</li> <li>- Anpassung der Nachweisführung in den Knowledge Leveln 2b/c &amp; 3 möglich</li> <li>- Anwendungsbereiche: Bauteile und Konstruktionen mit hoher Beanspruchung, starken Schädigungsgrad und/oder hohem denkmalpflegerischem Wert</li> </ul>	
<b>Sortierstufe SGL 2 – apparativ unterstützte visuelle Festigkeitssortierung</b>	
<b>Sortierstufe SGL 2a</b>	<b>Sortierstufe SGL 2b</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung der Ästigkeit, der Faserneigung und der Risse (A/FN/R)</li> <li>- Ultraschall-Impulslaufzeitmessung (v/U)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung der Ästigkeit, der Faserneigung und der Risse (A/FN/R)</li> <li>- Ultraschall-Impulslaufzeitmessung (v/U)</li> <li>- Eindringtiefmessung (<math>\rho_{TP}/E_{dyn}</math>)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung der Nachweisführung in den Knowledge Leveln 2b/c &amp; 3 möglich</li> <li>- Anwendungsbereiche: Bauteile und Konstruktionen mit normaler Beanspruchung, geringem Schädigungsgrad und/oder ohne denkmalpflegerischen Wert</li> </ul>	
<b>Sortierstufe SGL 1 – visuelle Festigkeitssortierung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung der Ästigkeit, der Faserneigung und der Risse (A/FN/R)</li> <li>- Anpassung der Nachweisführung in den Knowledge Leveln 1, 2a &amp; 3 möglich</li> <li>- Anwendungsbereiche: Bauteile und Konstruktionen mit geringer (KL 1) bis normaler (KL 2a/3) Beanspruchung, geringem (KL 1) bis normalem (KL 2a/3) Schädigungsgrad und/oder ohne denkmalpflegerischem Wert</li> </ul>	
<b>Sortierstufe SGL 0 – keine Festigkeitssortierung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung des allgemeinen Bauzustandes, Schäden und Verformungen</li> </ul>	

**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Methode zur in situ-Festigkeitssortierung

Des Weiteren berücksichtigt die abgeleitete Methode nur visuell messbare Wuchsmerkmale, welche einen tatsächlichen festigkeits-/tragfähigkeitsmindernden Einfluss besitzen (Ästigkeit, Faserneigung, Risse). Die übrigen in DIN 4074-1/-5 aufgeführten Sortierkriterien besitzen nur einen untergeordneten Einfluss. Diese werden zwar bei der eigentlichen Sortierentscheidung nicht berücksichtigt, müssen aber dennoch erfasst und bei der Standsicherheitsbewertung berücksichtigt (bspw. Fehlflächen durch Baumkante und Außermittigkeit durch Verformungen) oder der bei der Planung von Instandsetzungsmaßnahmen berücksichtigt werden (bspw. biotische Schädigungen).

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Lage der Wuchs- und Bauteilmerkmale sowie deren Verlauf einen wesentlichen Einfluss auf das Bruchverhalten und damit auf die Tragfähigkeit besitzen, obwohl sie die Grenzwerte der jeweiligen Sortiervorschriften nicht überschreiten. Die aktuell geltenden Sortierregeln berücksichtigen diesen Umstand jedoch nicht. Diesem Umstand kann jedoch durch die Erfassung von Lage und Verlauf der Wuchs- und Bauteilmerkmale im Zuge der visuellen Begutachtung und Sortierung sowie durch die Verwendung von Korrekturfaktoren bei der Berechnung der Sortierparameter entgegengewirkt werden. Die durchgeführten Untersuchungen an Probenmaterial aus bestehenden Konstruktion haben gezeigt, dass ein Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des prognostischen Bruchverhaltens (sog. „Einzelfall-Korrekturfaktor“  $k_{vis}$ ) hierfür am besten geeignet ist.

Die Praxistauglichkeit der aus Materialversuchen an neuem Bauholz abgeleiteten Methode wurde ergänzend in Laboruntersuchungen an Probenmaterial aus bestehenden Konstruktionen sowie in bestehenden Konstruktionen erprobt. Die Ergebnisse dieser praktischen Erprobung wird nachfolgend am Beispiel einer ca. 100 Jahre alten Dachkonstruktion dargestellt.

### 3. Untersuchungen an Holzbauteilen aus historischen Holzkonstruktionen

#### 3.1 Objektbeschreibung

Gegenstand der Fallstudie waren Teile der Dachkonstruktion eines 1912 erbauten Schulgebäudes in Berlin. Das Gebäude ist in dem um die Jahrhundertwende in Mode gekommenen Landhausstil entworfen worden und besitzt einen dreiflügeligen Grundriss (s. **Abb. 2**).



(a) Straßenansicht



(b) Luftbild

**Abb. 2:** Ansicht des Schulgebäudes (Bildquellen – links: Savin, 2015 (CC BY-SA 3.0); rechts: Google Earth®, 2021)

Das untersuchte Probenmaterial stammt aus der Dachkonstruktion oberhalb der Aula im Nordost-Flügel des Gebäudes (s. a. **Abb. 2**). Dieser Teil der Dachkonstruktion ist als hybrides Pfettendach in zimmermannsmäßiger und ingenieurmäßiger Holzbauweise ausgeführt gewesen. Das Haupttragssystem bildeten insgesamt fünf Dreigelenk-Bögen mit Sprengwerk in

Hetzer-Bauweise (I-Querschnitt mit veränderlicher Querschnittshöhe). In Querrichtung des Daches waren zusätzlich Zugbänder aus Vollholz angebracht. Die Aussteifung in Längsrichtung des Daches erfolgte über den Stuhl der Firstpfette. Die Pfetten wurden sowohl von Vollholzbauteilen als auch von Brettschichtholzbauteilen (Fischbauchträger) gebildet. Die Fischbauchträger lagen dabei auf einer zimmermannsmäßigen Stütz-/Stuhlkonstruktion auf, welche über Bolzenverbindungen mit den Hauptträgern verbunden waren. Auf den insgesamt neun Pfetten lagen die Sparren auf.

Im Ergebnis von stichprobenartigen Bauzustandsuntersuchungen im Zeitraum 2015-2016 sind mehrfach Risse in den Brettschichtholzlamellen, offene Klebefugen sowie mechanische Beschädigungen in den Anschlüssen festgestellt worden. Eine umfassende Erfassung und Bewertung des Bauzustandes erfolgte nicht. Labortechnische Untersuchungen zur Art und Festigkeit der Verklebung ergab, dass die Klebefugen die Anforderungen der aktuell geltenden Regelwerke nicht erfüllt. Daher wurde 2017 die Entscheidung zum Rückbau der Dachkonstruktion und die Errichtung eines Ersatzneubaus in Stahlbauweise getroffen.

In der Rückschau betrachtet, war die Einschätzung der Trag- und Funktionsfähigkeit der Brettschichtholzbauteile im Besonderen nicht zutreffend. Die Bewertung der Tragfähigkeit der Klebefugen entsprechend aktueller, für Kunstharzklebstoffe entwickelter Regelwerke ist in diesem Fall nicht zielführend gewesen. Ebenso blieb der tatsächlich verwendete Klebstoff weitestgehend unberücksichtigt. Da es sich bei dem verwendeten Klebstoff schon allein aufgrund des Bauwerksalters nur um einen Kasein-basierenden Klebstoff handeln kann, wäre eine Interpretation der Versuchsergebnisse auf Grundlage wissenschaftlicher Untersuchungen aus den 1930-50er Jahren sinnvoll gewesen, wie dies beispielsweise in [11] dargestellt wird.

Da es sich um eine denkmalgeschützte Konstruktion handelte, sind Teile des Dachtragwerkes für die Erhaltung und Ausstellung gesichert worden. Ein weiterer Teil wurde für die Durchführung materialtechnischer Untersuchungen bereitgestellt.

### **3.2 Durchgeführte Untersuchungen**

Die Untersuchungen zur Tragfähigkeit und Materialqualität des in der Dachkonstruktion verbauten Holzes sind an Prüfkörpern in Bauteildimension durchgeführt worden. Hierzu wurden aus Teilen des zur Verfügung gestellten Probenmaterials (Zugbänder der seitlichen Bogenbinder, Stege der Brettschichtholzbauteile (hochkant verklebte Bohlen) und des Stuhls der Firstpfette; Holzart: Fichte/*Picea abies*) insgesamt 61 stabförmige Prüfkörper mit Abmessungen von  $b/h/\ell = (50-60/80-85/1520-1620)$  mm hergestellt.

Das Ziel der Untersuchungen war die Überprüfung der Anwendbarkeit der abgeleiteten Methodik zur in situ-Festigkeitssortierung. Die zu diesem Zweck durchgeführten Materialversuche unterteilten sich wie folgt:

- Visuelle Sortierung nach DIN 4074-1:2012
- Ultraschall-Impulslaufzeitmessungen
- Ermittlung der Rohdichte, der Biegebruchfestigkeit und des statischen Biege-Elastizitätsmoduls in 4-Punkt-Biegeversuchen nach DIN EN 408:2012, Abschnitte 7, 10 und 19

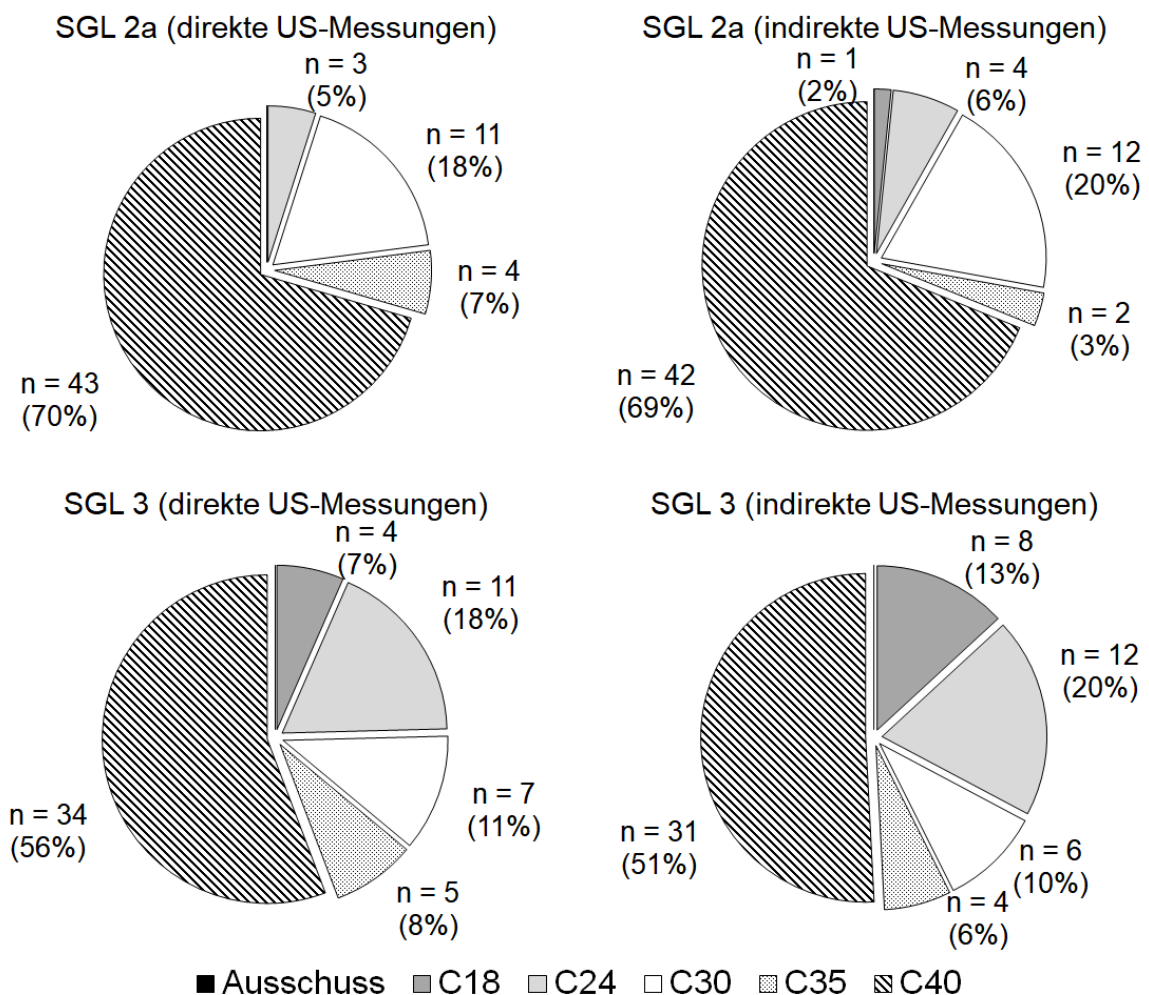
Die Durchführung der Materialuntersuchungen erfolgte an der VHÖB Versuchsanstalt für Holzbau und ökologische Bautechnik (UG), Eberswalde im Rahmen zweier studentischen Forschungsarbeit an der HNEE Hochschule für nachhaltige Entwicklung, Eberswalde).

### **3.3 Ergebnisse**

Die ausschließlich visuelle Sortierung nach DIN 4074-1:2012 ergab, dass etwa die Hälfte ( $p = 57\%$ ) der Prüfkörper eine durchschnittliche Tragfähigkeit aufweist (Sortierklasse S 10 nach

DIN 4074-1:2012). Ein Viertel ( $p = 25\%$ ) der Prüfkörper wies sogar eine überdurchschnittliche Tragfähigkeit auf (Sortierklasse S 13 nach DIN 4074-1:2012). Die übrigen Prüfkörper verteilen sich zu annähernd gleichen Teilen auf die Sortierklasse S 7 ( $p = 8\%$ ) nach DIN 4074-1:2012 und die Klasse „Ausschuss“ (nicht als Bauholz im Sinne der DIN 4074-1:2012 verwendbar,  $p = 10\%$ ). Die ausschlaggebenden Sortierkriterien für die Zuordnung zu den Sortierklassen S 7 und S 10 waren Äste und Risse. Das maßgebliche Kriterium die Zuordnung zu der Klasse „Ausschuss“ waren Schwindrisse.

Im zweiten Schritt wurde das Probenmaterial mit Hilfe der in Abschnitt 2.3 erläuterten Methode nach der Festigkeit sortiert. Anwendung fand dabei die in situ-Festigkeitssortierung in den Stufen SGL 2a & 3. Aus der sich anhand dessen ergebenden Klassenverteilung wird eine deutliche Verbesserung der Sortierung deutlich (s. **Abb. 3**). Der Anteil an Prüfkörpern mit überdurchschnittlicher Tragfähigkeit (Festigkeitsklasse  $\geq C30$  nach DIN EN 338) hat sich in beiden Sortierstufen wesentlich erhöht. Gleichzeitig wird der Anteil an Prüfkörpern mit geringer und üblicher Tragfähigkeit (Festigkeitsklassen C18 und C24 nach DIN EN 338) zwischen SGL 2a und SGL 3 deutlich geringer. Der Anteil an nicht als Bauholz verwendbaren Prüfkörpern (Klasse „Ausschuss“) ist in allen vier Fällen nicht mehr vorhanden.



**Abb. 3:** Sortierausbeute – in situ-Festigkeitssortierung

Um die Anwendbarkeit der Sortiermethode zu bewerten, wurde die Übereinstimmung zwischen der Zuordnung zu den Festigkeitsklassen nach DIN EN 338 basierend auf der in situ-Festigkeitssortiermethode sowie anhand der in zerstörenden Biegeversuchen ermittelten

Materialkennwerte (Rohdichte, Biegebruchfestigkeit, statischer Biege-Elastizitätsmodul) herangezogen. Analog den Festlegungen der DIN EN 384:2019, Abschnitt 5.5.2 ist eine Grenzwertunter- und -überschreitung von maximal 5 % als tolerierbar betrachtet. Zusätzlich wurden die Betrachtungen unter Ansatz des Korrekturfaktor  $k_{vis}$  zur Berücksichtigung der Lage von Wuchs- und Bauteilmerkmalen geführt. Die Ergebnisse sind in **Tab. 1** aufgeführt.

**Tab. 1:** Übereinstimmung der Zuordnung des Probenmaterials zu den Festigkeitsklassen nach DIN EN 338 anhand der in situ-Festigkeitssortierung sowie zerstörend ermittelter Materialkennwerte

Sortierstufe	Anteil der Unterschätzung	Anteil der Übereinstimmung	Anteil der Überschätzung
<b>ohne Korrekturfaktor</b>			
SGL 2a,d	0,0%	70,5%	29,5%
SGL 2a,i	3,3%	63,9%	32,8%
SGL 3d	4,9%	72,1%	23,0%
SGL 3i	9,8%	78,7%	11,5%
<b>mit Korrekturfaktor (<math>k_{vis}</math>)</b>			
SGL 2a,d ( $k_{vis} = 0,15$ )	13,1%	78,7%	8,2%
SGL 2a,i ( $k_{vis} = 0,15$ )	4,9%	80,3%	14,8%
SGL 3d ( $k_{vis} = 0,10$ )	9,8%	80,3%	9,8%
SGL 3i ( $k_{vis} = 0,10$ )	14,8%	78,7%	6,6%

Wie Tab. 1 zeigt, werden die Proben ohne Ansatz des Korrekturfaktors  $k_{vis}$  zu einem signifikanten Anteil überschätzt. Dieser Umstand liegt darin begründet, dass zwar die Ausprägung der Wuchsmerkmale in Berechnung des Sortierparameters einfließen, die Lage und der Verlauf jedoch nicht berücksichtigt werden kann. Letztere beeinflussen jedoch maßgeblich die Tragfähigkeit. Wird letzteres durch den Korrekturfaktor  $k_{vis}$  einbezogen, liegen die Überschätzungen in einem ingenieurmäßig vertretbaren Bereich, der durch die zusätzlichen Sicherheiten der Teilsicherheitsbeiwerte abgedeckt wird.

#### 4. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Fallstudie zeigen, dass die aus vergleichenden Materialuntersuchungen an neuem Bauholz abgeleitete Methode zur in situ-Festigkeitssortierung prinzipiell für die praktische Anwendung geeignet ist. Die festgestellten Unsicherheiten können durch die Verwendung von Korrekturfaktoren weitestgehend abgesichert werden. Dabei ist der Ansatz eines auf den Einzelfall bezogenen Korrekturfaktor auf Grundlage des prognostischen Bruchverhaltens gegenüber einem globalen Sicherheits-/Korrekturfaktor vorzuziehen. Je nach Sortierstufe werden (7 ... 15) % der untersuchten Holzbauteile überschätzt. Dies ist aus ingenieurmäßiger Sicht vertretbar. Diese Herangehensweise zeigt jedoch auch, dass zur Durchführung der in situ-Festigkeitssortierung fachkundiges Personal mit einer Expertise zum Trag- und Bruchverhalten von Holzbauteilen erforderlich ist.

#### Danksagung

Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von privaten Spenden finanziert. Die Autoren bedanken sich für die großzügige Unterstützung.

## Literatur

- [1] DIN EN 1990:2010: *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010-12
- [2] DIN EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010-12
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2013-08
- [4] DIMOVA S., PINTO A., LUECHINGER P., DENTON S. (HRSG.): *JRC Science and Policy Report – New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures – Policy Framework, Existing Regulations and Standards, Prospect for CEN Guidance*; European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2015
- [5] DIN CEN/TS 17440: *Bewertung und Ertüchtigung von bestehenden Tragwerken*; Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2020-10
- [6] DIN EN 17121: *Erhaltung des kulturellen Erbes – Historische Holzkonstruktionen – Leitlinien für die Bewertung vor Ort*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2019-12
- [7] DENZLER J., GLOS P.: *Maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz*. In: *Zukunft Holz – Statusbericht zum aktuellen Stand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen und Evaluierung künftiger Entwicklungspotential* (2009), S. 355-359
- [8] BLASS H. J., FRESE M.: *Sortierverfahren für die kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung*. In: *Holz als Roh und Werkstoff* 62 (2004), S. 325-334
- [9] MACHADO J. S.: *Reliability of prediction by combining direct and indirect measurements*. In: Machado J. S., Riggio M., Descamps T. (Hrsg.): *State of the Art Report – Combined use of NDT/SDT methods for the assessment of structural timber members*; Université de Mons (2015), S. 1-13
- [10] LOEBJINSKI M.: *Bewertung der Tragfähigkeit von Holzkonstruktionen beim Bauen im Bestand – Ein Beitrag zur substanzschonenden Erhaltung von bestehenden Gebäuden*. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Diss., 2021
- [11] LINKE G., RUG W.: *Untersuchungen zur Tragfähigkeit einer historischen Brettschichtholz-Konstruktion*. In: Rug W. (Hrsg.): *Holzbau im Bestand – Historische Holztragwerke – Beispiele für substanzschonende Erhaltung*; Beuth Verlag GmbH Berlin – Wien – Zürich, 2018, S. 258-290