

Vergleich von Materialeigenschaften aus Zugversuchen mit genormten Labortests

René Bork, Stefan Düsterdiek, Andreas Detter, Steffen Rust

rust@hawk-hhg.de

Zusammenfassung

Zwei Eichen wurden Zugversuchen unterzogen. Anschließend wurden aus sechs Stammscheiben dieser Bäume 440 Prüfkörper entnommen, deren holzphysikalische Eigenschaften gemessen, auf den Stammquerschnitt hochgerechnet und mit denen der Zugversuche und mit Literaturwerten verglichen. Die Ergebnisse hatten die gleiche Größenordnung wie früher veröffentlichte, wichen jedoch vom „Stuttgarter Festigkeitskatalog“ ab. Beide gemessenen E-Module lagen deutlich über dem Literaturwert. Die Elastizitätsgrenzen der Prüfkörper unterschieden sich signifikant zwischen den Bäumen und den Messebenen innerhalb der Bäume. Die Untersuchung zeigt, dass weitere systematische und gut dokumentierte Messungen erforderlich sind, um die wissenschaftliche Basis der Zugversuche zu stärken.

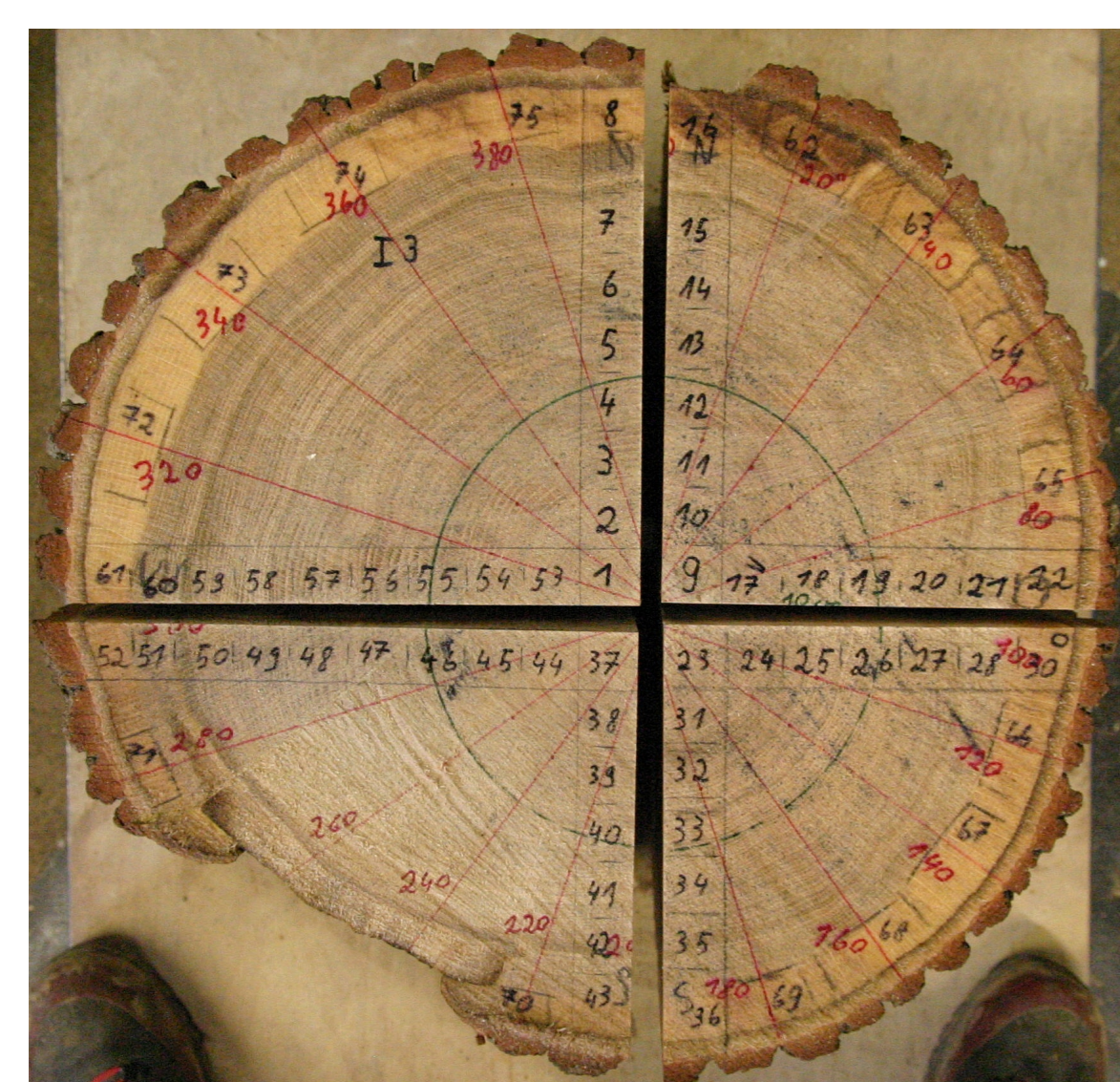


Abb. 1: Verteilung der Prüfkörper auf einer Stammscheibe.

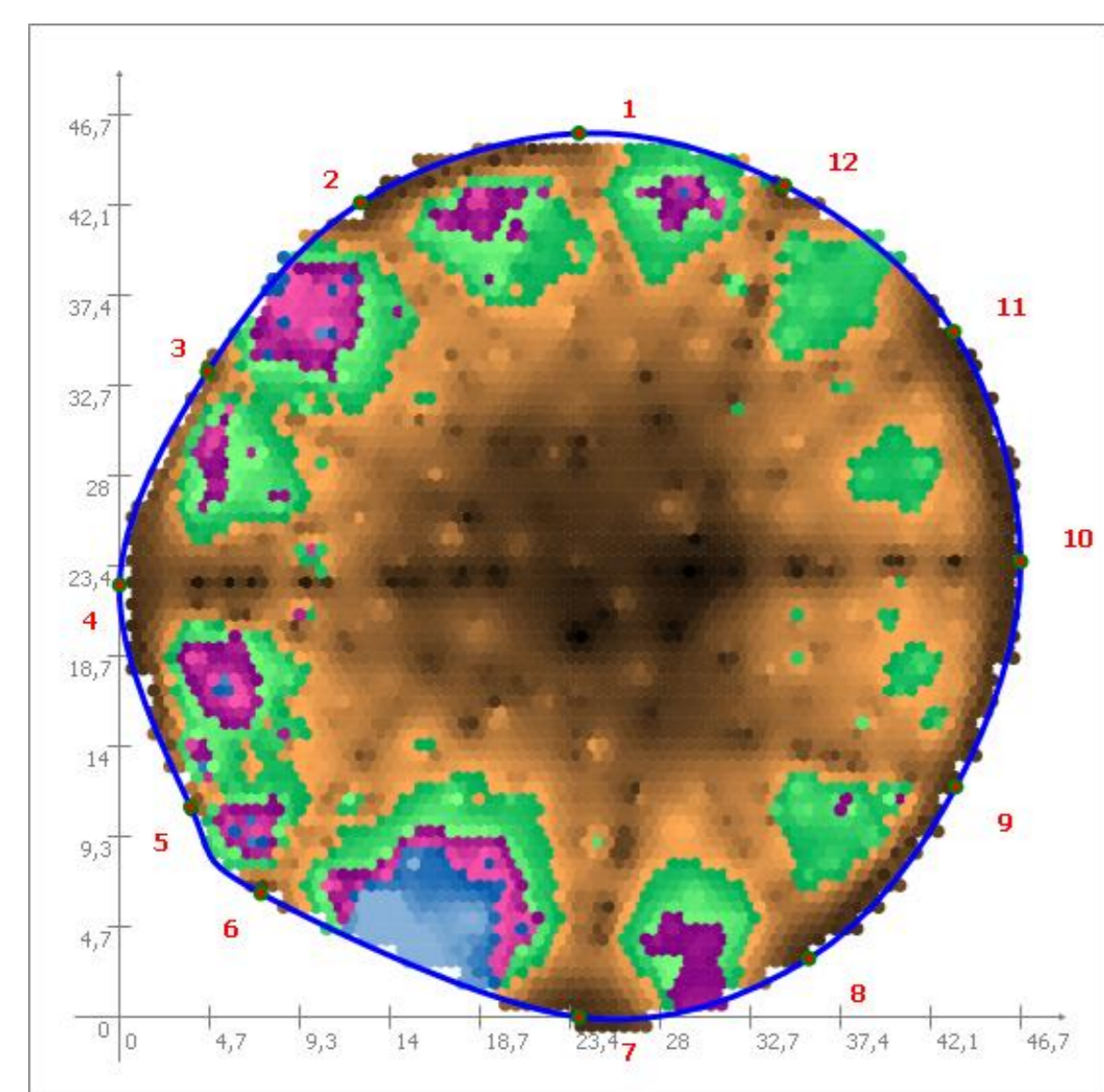


Abb. 2: Schalltomogramm der Stammscheibe in Abb. 1. Es zeigt die Fäule am linken unteren Rand.

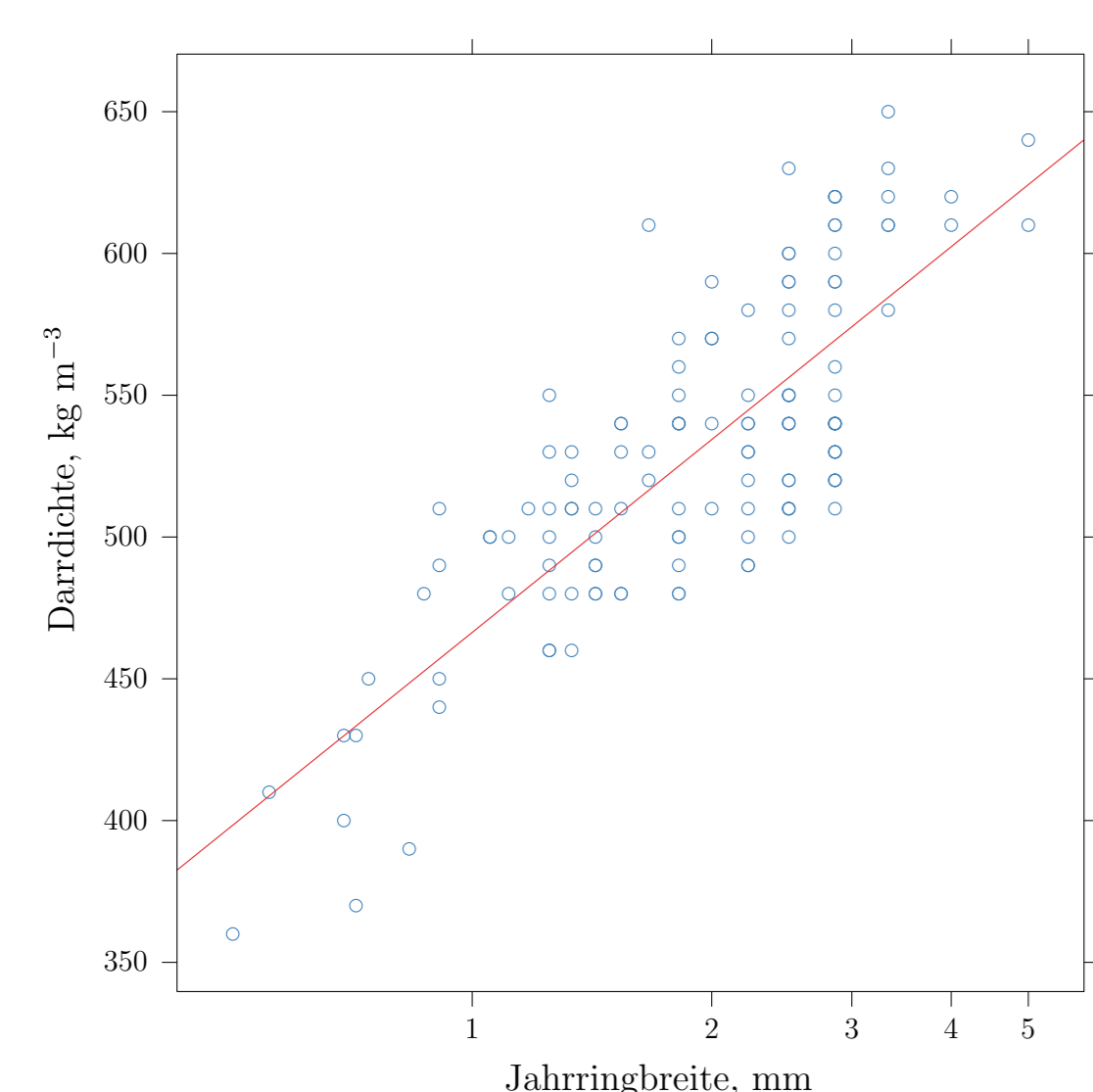


Abb. 3: Zusammenhang zwischen der Jahrringbreite und der Darrdichte.

Einleitung

Bei der Beurteilung der Bruchsicherheit von Bäumen werden oft an einem konkreten Baum gemessene Materialkennwerte mit Referenzwerten verglichen. Bei den Zugversuchen enthält der so genannte „Stuttgarter Festigkeitskatalog“ (Wessolly, Erb 1998) diese Referenzwerte. Dieser Katalog enthält keine Informationen über die Variation der ihm zugrunde liegenden Stichprobe sowie die bei einer Messung zu erwartende Streubreite. Ziel dieser Arbeit war, die Streuung wesentlicher Materialkennwerte frischer Holzprüfkörper innerhalb und zwischen Bäumen zu untersuchen. Darüber hinaus sollten die an Prüfkörpern erhobenen Elastizitätsmoduli auf den Stammquerschnitt hochgerechnet und mit den vorher an derselben Stelle aus Zugversuchen geschätzten Werten verglichen werden.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an zwei Eichen (*Quercus robur* L. 1753) in einem etwa 130-jährigen Waldbestand durchgeführt (h : 28,1 und 30,1 m, $d_{1,3}$: 47 und 53 cm).

Die Zugversuche wurden mit TreeQinetic-Geräten (argus electronic GmbH, Rostock) durchgeführt. Jeder Baum wurde in zwei Richtungen jeweils mindestens dreimal gezogen. Die Dehnungen wurden an jedem Baum in drei Messebenen in Zugrichtung und senkrecht dazu gemessen.

In der Software Arbostat (Arbosafe UG, Gauting) wurde anhand des Versuchsaufbaus und der gemessenen Kraft-Dehnungswerte die Biegesteifigkeit des Stammes ermittelt. Unter Einbeziehung der beiden Stammdurchmesser und der Rindendicke wurde über das Flächenträgheitsmoment derjenige Elastizitätsmodul abgeleitet, der dem Gesamtverhalten des Querschnitts unter Last entspricht (struktureller E-Modul). Dazu wurde die Querschnittsform vereinfacht als Ellipse angenommen.

Die Materialeigenschaften des grünen Holzes wurden im Labor überprüft. Hierbei wurden Bruchfestigkeit und E-Modul in Faserverlaufrichtung in Anlehnung an DIN 52185 gemessen. Zur Ermittlung der Belastungsgrenze wurden die normgerechten Prüfkörper mit Hilfe einer Universalprüfmaschine der Firma Zwick vom Typ Z050 getestet.

Die Gewichtung der E-Moduli basiert im Wesentlichen auf den Ansätzen des Sonderforschungsbereiches 230 "Natürliche Konstruktionen" der Universitäten Stuttgart und Tübingen (Anonymus 1991). Allerdings wurden diese um die Betrachtung des Querschnittes als Ellipse erweitert, um einen gewichteten E-Modul für jeweils eine Lastrichtung, die der Zugrichtung der Zugversuche entspricht, möglichst genau zu ermitteln.

Ergebnisse

Die Bäume unterschieden sich in den Parametern Darrdichte, Bruchfestigkeit und Elastizitätsmodul hochsignifikant. Innerhalb der Bäume unterschied sich die unterste Messebene von den beiden anderen. Innerhalb der Messebenen gab es starke radiale Trends, die in Baum 2 steiler waren als in Baum 1. Darrdichte, Bruchfestigkeit und Elastizitätsmodul waren nicht normalverteilt (Abbildung 4).

Die Darrdichte der Prüfkörper stieg mit ihrer mittleren Jahrringbreite an. Weiterhin gab es enge Zusammenhänge zwischen Darrdichte, E-Modul und Druckfestigkeit (Abbildung 5). Mit der nach außen hin abfallenden Jahrringbreite nahmen auch die mit ihr korrelierenden Parameter ab (Abbildung 5). Diese hoch signifikanten Korrelationen hatten recht hohen Streuungen.

Die mittlere Bruchfestigkeit aller Prüfkörper liegt leicht unter dem Literaturwert. Während Baum 1 einen geringfügig höheren mittleren Bruchfestigkeitswert aufweist, liegt dieser für Baum 2 unterhalb des im Stuttgarter Festigkeitskatalog angegebenen Wertes.

Aus den Zugversuchen wurden die strukturellen E-Moduli für die Messebenen in beide Zugrichtungen ermittelt. Aus dem Laborversuch an der Materialprüfmaschine ist für die Prüfkörper ein E-Modul in Faserverlaufrichtung erhoben worden. Diese wurden über das oben vorgestellte Modell gewichtet und sollen demzufolge den E-Modul für die jeweilige Zugrichtung repräsentieren. Aufgrund der komplexeren Geometrie des zweiten Baumes wurde dieser Vergleich nur für Baum 1 durchgeführt. Diese Werte konnten nun untereinander und mit dem E-Modul, wie es im Stuttgarter Festigkeitskatalog zu finden ist (Wessolly, Erb 1998), verglichen werden. Beide gemessenen E-Module liegen deutlich über dem Literaturwert. Ferner fällt eine hohe Variabilität des im Zugversuch ermittelten strukturellen E-Modules zwischen den einzelnen Zugrichtungen und Ebenen auf, während der gemittelte und der gewichtete E-Modul der Prüfkörper recht konstant sind. Auch ein Abgleich der Mittelwerte der erhobenen Daten zeigt bei fast allen E-Modulen einen höheren Wert auf als in der Literatur.

Diskussion

Die mittlere Bruchfestigkeit der Prüfkörper eines Baumes lag über dem Wert des Stuttgarter Festigkeitskatalogs, die des anderen darunter. Die Angaben im Stuttgarter Festigkeitskatalog sind Bruchfestigkeiten am Primärversagenspunkt abzüglich der Standardabweichung. Hier wurde stets am Sekundärversagenspunkt gemessen, sodass diese Druckfestigkeitswerte wesentlich weiter oberhalb der Werte aus dem Stuttgarter Festigkeitskatalog liegen müssten. Die hier ermittelten Druckfestigkeitswerte für Stiel-Eiche im frischen Zustand (bei etwa 100 Prozent Holzfeuchtigkeit gemessen) lassen sich aber durchaus mit den Werten von Niklas und Spatz (2010) vergleichen. Sowohl die mittleren gewichteten der Prüfkörper als auch die strukturellen E-Moduli aus den Zugversuchen sind vergleichbar mit den von Niklas und Spatz (2010) veröffentlichten, jedoch größer als im Stuttgarter Festigkeitskatalog.

Die schiefen und nicht normalen Verteilungen der Messwerte bedeuten, dass der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung nicht als Lage- und Streuungsparameter einsetzbar sind. Die Messwertverteilungen der Eingangsdaten des Stuttgarter Festigkeitskataloges sind nicht veröffentlicht. Ob die angegebenen Grenzwerte tatsächlich in der beabsichtigten Weise die natürliche Variation der Materialwerte abdecken, lässt sich daher nicht klären. Die große Streubreite der Werte in unserer Untersuchung lässt erwarten, dass bei Verwendung eines einzigen Grenzwertes für eine Art oder ganze Gattung hohe Sicherheitsaufschläge erforderlich sein könnten. Außerdem sind Verschiebungen nach oben und unten möglich, falls auch bei den Stuttgarter Werten die Verteilung der Messwerte nicht normal war.

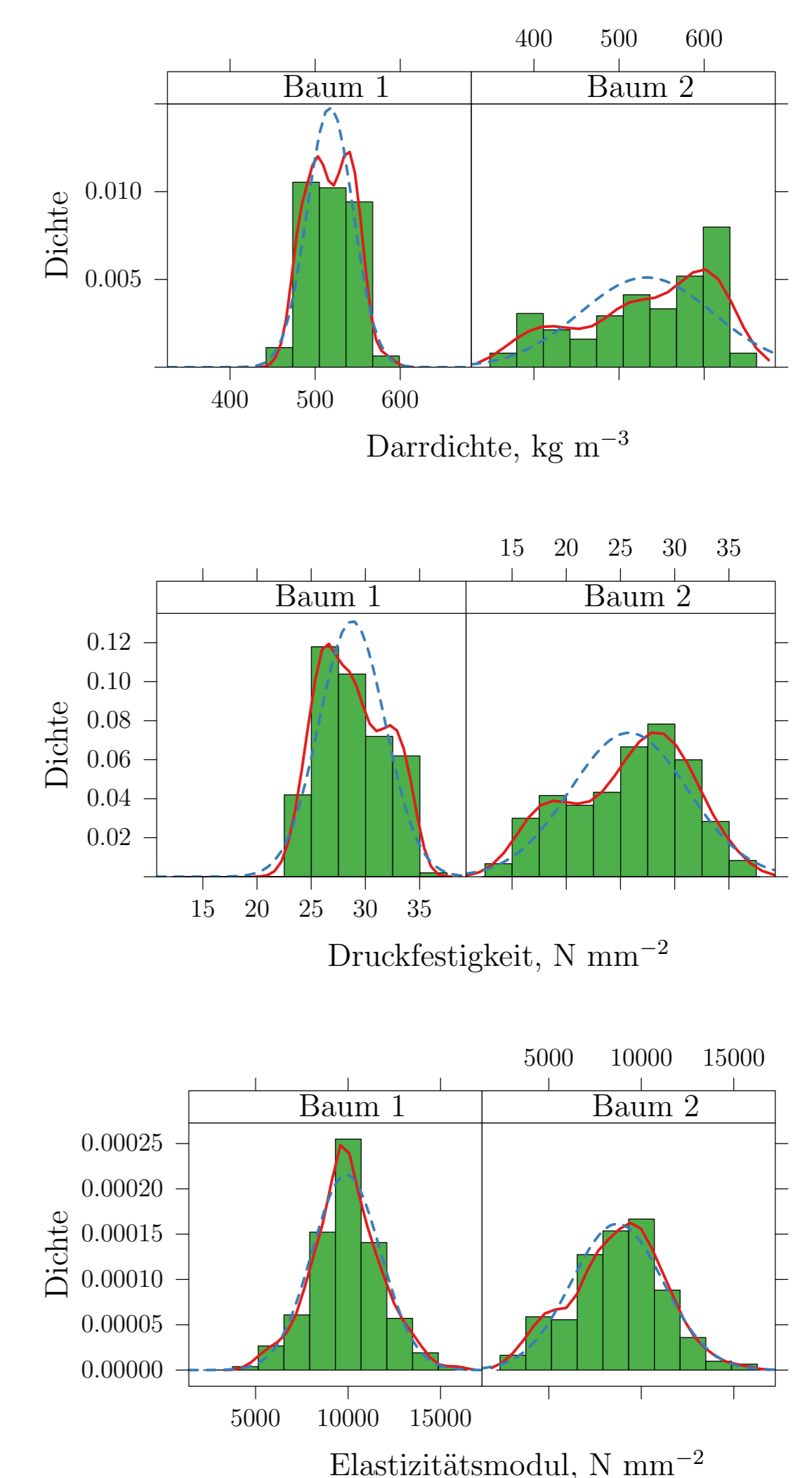


Abb. 4: Häufigkeitsverteilungen der Holzeigenschaften der Prüfkörper. Blau gestrichelt dargestellt ist die Normalverteilung, rot die tatsächliche. Grüne Säulen geben die klassenweise Häufigkeit (Kerneldichte) an.

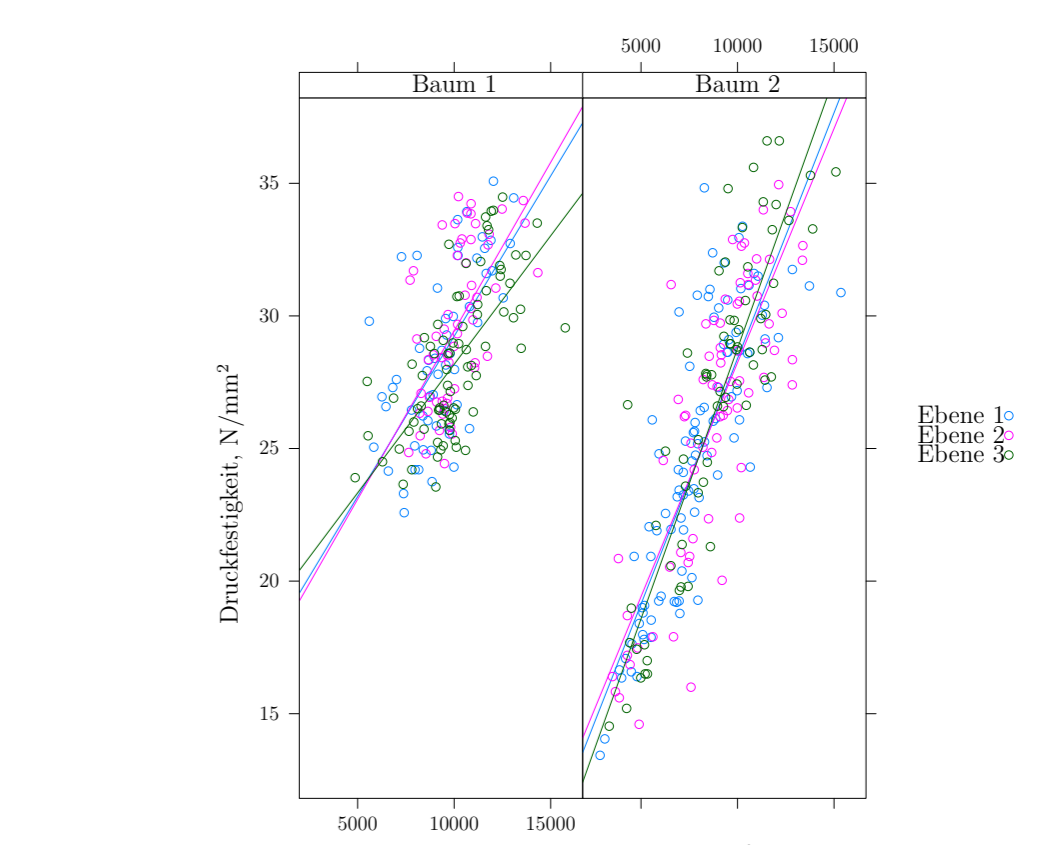


Abb. 5: Der Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit und dem Elastizitätsmodul unterschiedet sich hoch signifikant zwischen den Bäumen.

Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse machen deutlich, dass die Methode der Zugversuche durch gut dokumentierte, systematische und nach wissenschaftlichen Standards durchgeführte Messungen wesentlicher Eingangsdaten auf eine breitere Grundlage gestellt werden kann und sollte. Sicherlich hat die Praxis in den letzten Jahren gezeigt, dass Zugversuche zur Überprüfung der Bruchsicherheit von Bäumen in vielen Fällen eine zuverlässige zerstörungsfreie Methode sind, die aufschlussreiche Informationen zur Entscheidungsfindung liefern kann. Mit geeigneteren Lage- und Streuungsparametern könnten die bisherigen pauschalen Sicherheitsaufschläge eventuell konkretisiert werden, um gerade in Grenzfällen eine noch größere Sicherheit zu gewährleisten.

Literatur

Anonymus, 1991: Messprotokolle von Materialprüfungen grünen Holzes, Institut für Leichtbau, Entwurf und Konstruktion, Universität Stuttgart. bork, R.; Düsterdiek, S., 2011: Vergleich von Materialeigenschaften aus Zugversuchen mit genormten Labortests. Bachelorarbeit, HAWK, 2011. niklas, K. J.; Spatz, H.-C., 2010: Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. Am J Bot 97: 1587–1594. Wessolly, L.; Erb, M., 1998: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin.

Autoren

