

Forschungszentrum Karlsruhe

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6590

Das Fractometer II -  
Ein feldtaugliches Holzprüfgerät

K. Götz, K. Bethge, C. Mattheck

Institut für Materialforschung  
Programm Umwelt

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe  
2001

## **Das Fractometer II – Ein feldtaugliches Holzprüfgerät**

Die konventionelle Ermittlung der Festigkeitskenngrößen von kleinen, fehlerfreien Proben erfolgt durchweg an größeren Prüfmaschinen. Zur Herstellung der Probe muss bei diesen Prüfverfahren der Baum gefällt und zersägt werden. Unterschiede in diesen Prüfverfahren bestehen in Größe und Form sowie Feuchtigkeitsgehalt der zu untersuchenden Probe. Die Einspannung des Prüflings in der Haltevorrichtung, die Belastungsrichtung und die Auswertung der erhaltenen Messwerte werden ebenfalls je nach angewandter Methode und Norm unterschiedlich durchgeführt.

Neben der konventionellen Ermittlung der Festigkeiten mit Großmaschinen bietet das Fractometer II eine sehr schnelle und dennoch genaue Möglichkeit der Festigkeitsbestimmung. Das Fractometer II ist eine vom „Instrumenta Mechanik Labor GmbH“ in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Karlsruhe entwickelte Messvorrichtung, mit der Biege- und Druckfestigkeitskennwerte von grünem Holz, aber auch von den meisten trockenen Hölzern ermittelt werden können. Zur Herstellung der Probe muss bei diesem Prüfverfahren der zu untersuchende Baum nicht gefällt werden.

## **The Fractometer II – A mobile wood-testing device**

Conventional determination of the strength characteristics of small, clear specimens is mostly accomplished in big universal testing machines. For specimen fabrication, the tree has to be felled and cut into pieces. The test samples are characterized by a variable size and shape as well as by a variable humidity content of the specimens to be investigated. Furthermore, fixation of the specimen in the holding device, load direction and data evaluation vary depending on the applied method and standard.

Besides conventional determination of the strength with large machines, strength may also be determined very effectively by means of the Fractometer II. The Fractometer II has been developed by the "Instrumenta Mechanik Labor GmbH" in cooperation with the Forschungszentrum Karlsruhe. It is applied for measuring the bending and compressive strengths of green and dry wood. In this case, felling of the tree is not required for specimen fabrication.

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1 Einleitung	1
2 Festigkeiten	2
2.1 Druckfestigkeiten	3
2.2 Querkzugfestigkeiten	3
3 Das Fractometer II	5
3.1 Aufbau des Fractometer II	6
3.2 Funktionsprinzip des Fractometer II	7
3.2.1 Durchführung der Messungen am Radialkern mit dem Fractometer II	7
3.2.2 Durchführung der Messungen am Tangentialkern mit dem Fractometer II	10
4 Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit und Probenlänge auf die Druckfestigkeitskennwerte erläutert am Beispiel der Rotbuche	10
5 Druck- und Biegefestigkeiten grüner Bäume	12
6 Besonderheiten bei der Druckfestigkeitsmessung an trockenen Bohrkernen	14
7 Literatur	15
Anhang I Wechselseitiges Druckholz und Mäanderbildung am Nadelbaum	16
Anhang II Druckfestigkeitsmessung an einer trockenen Lärchenscheibe mit dem Fractometer II	17

# 1 Einleitung

Die drei Hauptfunktionen des Holzes sind Lastabtragung, Wasserleitung und Nährstoffspeicherung. Jeder Baum ist unterschiedlichen Umwelteinflüssen wie Licht-, Wasser- bzw. Nährstoffangebot ausgesetzt. Verschiedene mechanische Belastungen wie Wind, Schneelast oder schiefer Wuchs erfordern verschiedene Widerstandskräfte.

Der Baum ist stets bemüht, einen Kompromiss zwischen Festigkeit, biologischen und mechanischen Anforderungen einzugehen. Je nach Standort kann der Baum die eine oder andere Hauptfunktion etwas vernachlässigen oder fördern. Das für den Baum optimale Verhältnis dieser Funktionen bestimmt die Baumgestalt und deren innere Optimierung, die Holzqualität.

Für die wissenschaftliche Holzforschung ist es notwendig, Beziehungen zwischen einzelnen Festigkeitskenngrößen abzuleiten und Festigkeitsverläufe innerhalb eines Baumes nachzuweisen.

Die komplexen Eigenschaften von Holz in anatomischer, physikalischer und mechanischer Hinsicht erschweren die internationale Normierung der Festigkeitsbestimmung. Die Prüfverfahren werden unterteilt in:

- Prüfung von Bauteilen in Bauholzabmessungen (structural timber) und
- Untersuchung an kleinen, fehlerfreien Proben (small clear specimens).

Hierbei variiert jedes Verfahren in seiner Methodik [1].

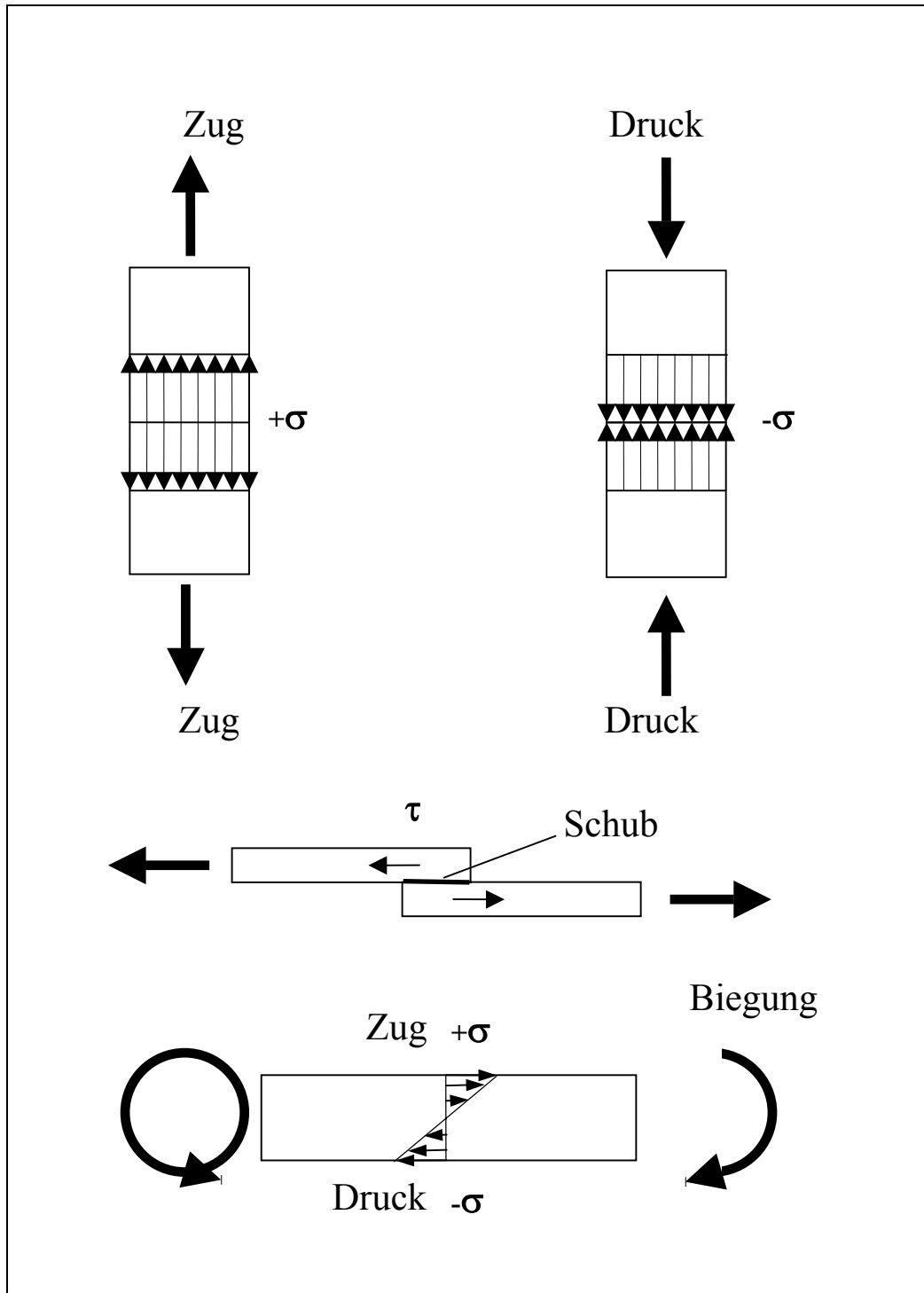
Die konventionelle Ermittlung der Festigkeitskenngrößen von kleinen, fehlerfreien Proben erfolgt durchweg an größeren Prüfmaschinen. Zur Herstellung der Probe muss bei diesen Prüfverfahren der Baum gefällt und zersägt werden. Unterschiede in diesen Prüfverfahren bestehen in Größe und Form sowie Feuchtigkeitsgehalt der zu untersuchenden Probe. Die Einspannung des Prüflings in der Haltevorrichtung, die Belastungsrichtung und die Auswertung der erhaltenen Messwerte werden ebenfalls je nach angewandter Methode unterschiedlich durchgeführt [2].

Neben der konventionellen Ermittlung der Festigkeiten mit Großmaschinen bietet das Fractometer II ebenfalls die Möglichkeit der Festigkeitsbestimmung. Das Fractometer II ist eine vom „Instrumenta Mechanik Labor GmbH“ in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Karlsruhe GmbH entwickelte Messvorrichtung mit der Biege- und Druckfestigkeitskennwerte von grünem und trockenem Holz ermittelt werden können. Zur Herstellung der Probe muss in diesem Prüfverfahren der zu untersuchende Baum nicht gefällt werden.

Das Fractometer II ist also auch in der Lage, Festigkeitskennwerte von lufttrockenem Holz zu bestimmen. Ausnahmen hierbei sind extrem feste Hölzer.

## 2 Festigkeiten

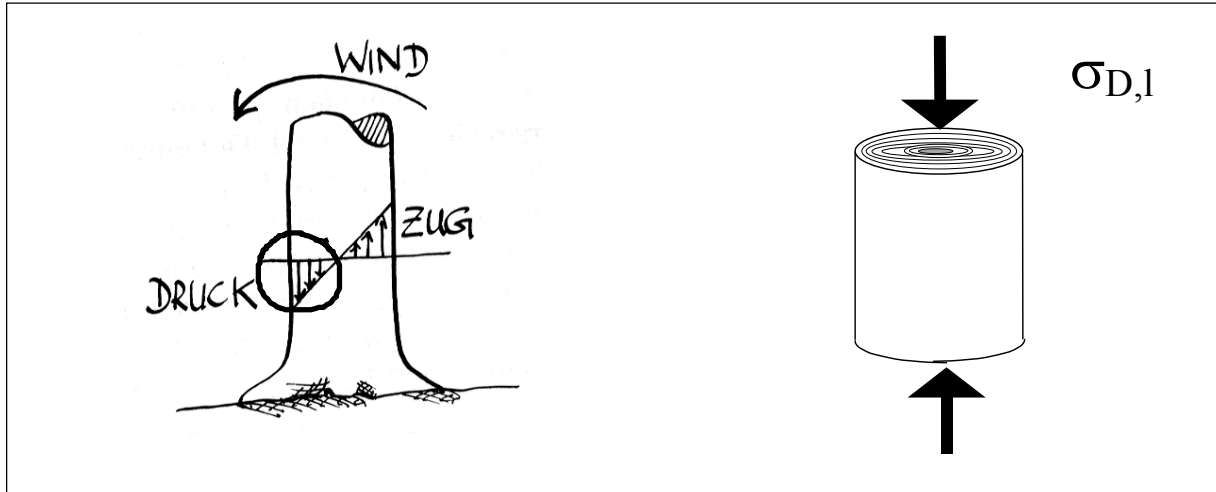
Die Bestimmung der Festigkeit für einen Werkstoff erfolgt durch die Ermittlung der bei Versagen auftretenden Spannungen. Wird die auftretende Spannung größer als die entsprechende Festigkeit, versagt das Bauteil. Je nach Belastungsart spricht man z. B. von der Biegefestigkeit  $\sigma_B$ , der Zugfestigkeit  $\sigma_Z$ , der Druckfestigkeit  $\sigma_D$  und der Scherfestigkeit  $\tau$ .



**Abbildung 1:** Vereinfachte Klassifizierung der inneren Spannungen in Zug-, Druck- und Schubspannungen, die durch äußere Lasten an einem Bauteil bewirkt werden können.

## 2.1 Druckfestigkeiten

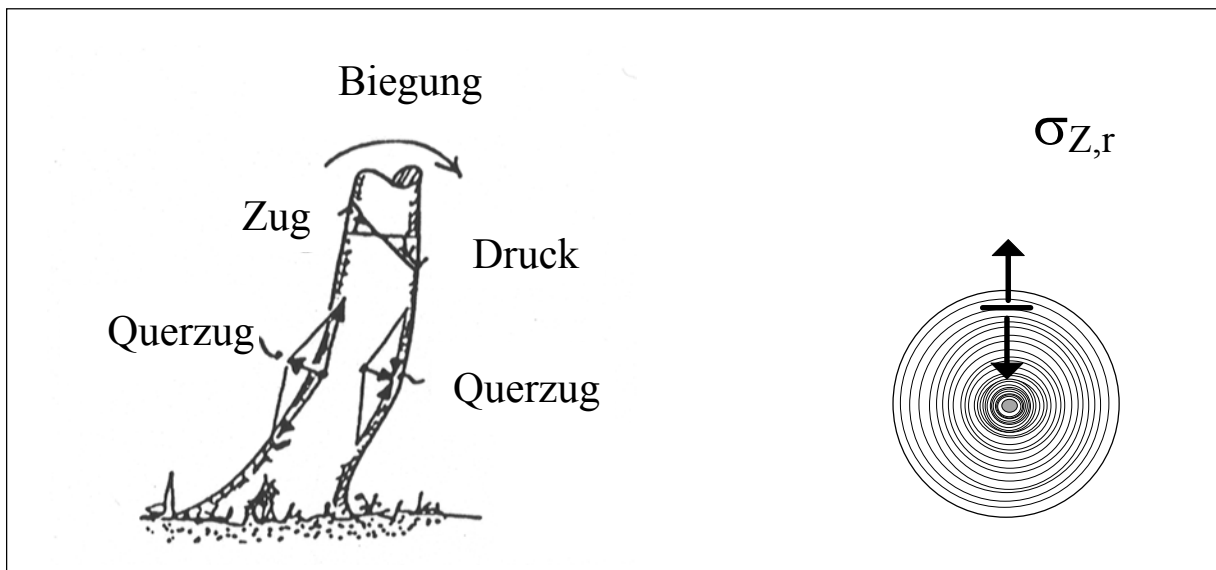
Durch Biegung des Stammes wird Druckspannung in axialer Richtung auf den Stamm übertragen. Die axiale Druckfestigkeit  $\sigma_{D,1}$  ist der Widerstand, den der Baum einem Versagen durch axialen Druck entgegensetzt (Abb. 2).



**Abbildung 2:** Belastung des Baumes, resultierende Druckspannungen und schematische Darstellung der Belastungsrichtung an einem Baumstamm.

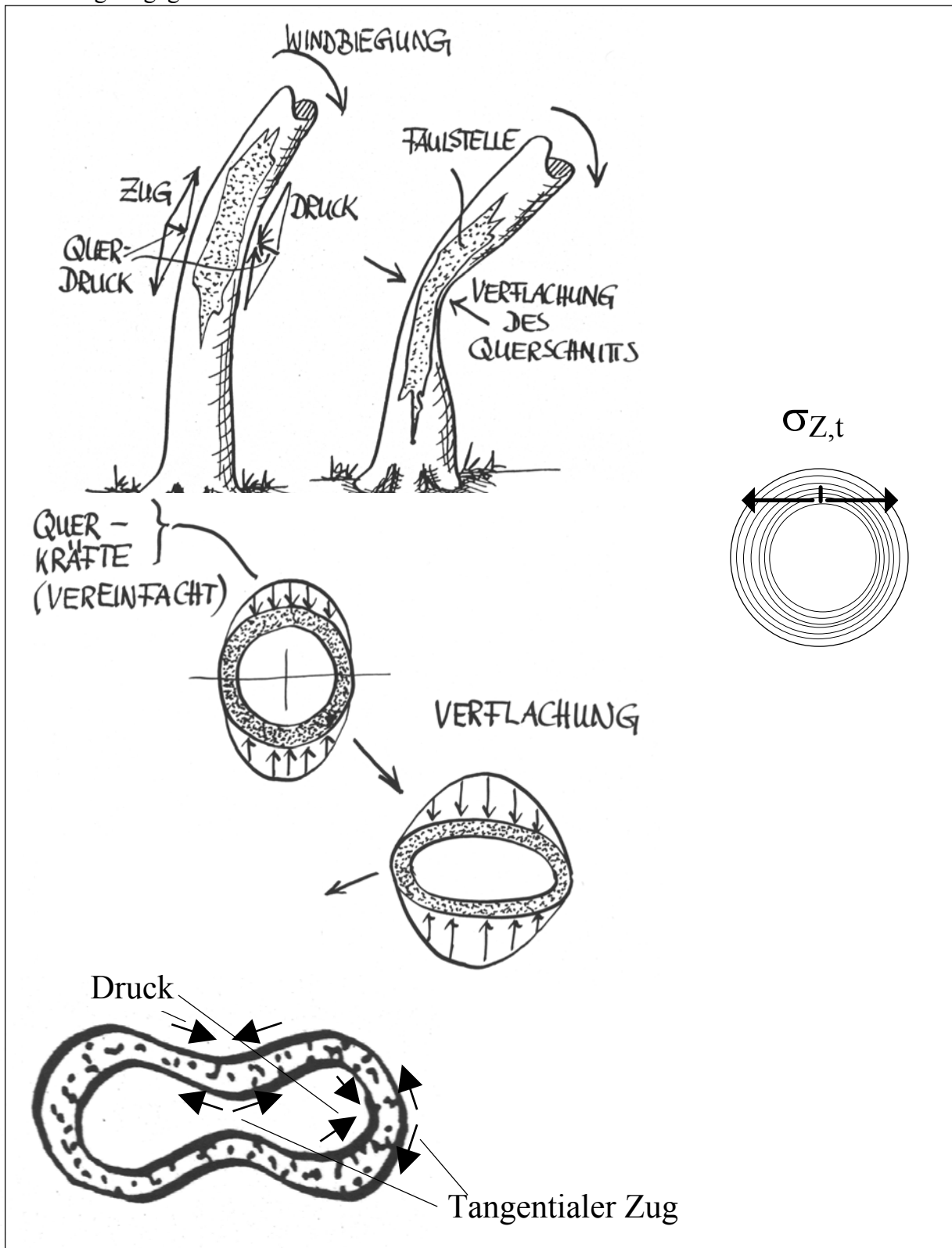
## 2.2 Querzugfestigkeiten

Durch Biegung des Stammes wird Zugspannung in axialer Richtung auf den Stamm übertragen. In den Wurzelanläufen und in gekrümmten Stämmen kommt es dabei zu Querzugspannungen bzw. radialen Zugspannungen. Die radiale Zugfestigkeit  $\sigma_{Z,r}$  ist der Widerstand, den der Baumstamm einem Versagen durch eine Querzugspannung entgegensetzt (Abb. 3). Diese Festigkeit wirkt der Entstehung von Unglücksbalken entgegen [3], [4].



**Abbildung 3:** Belastung des Baumes, resultierende radiale Querzugspannungen und schematische Darstellung der Belastungsrichtung an einem Baumstamm.

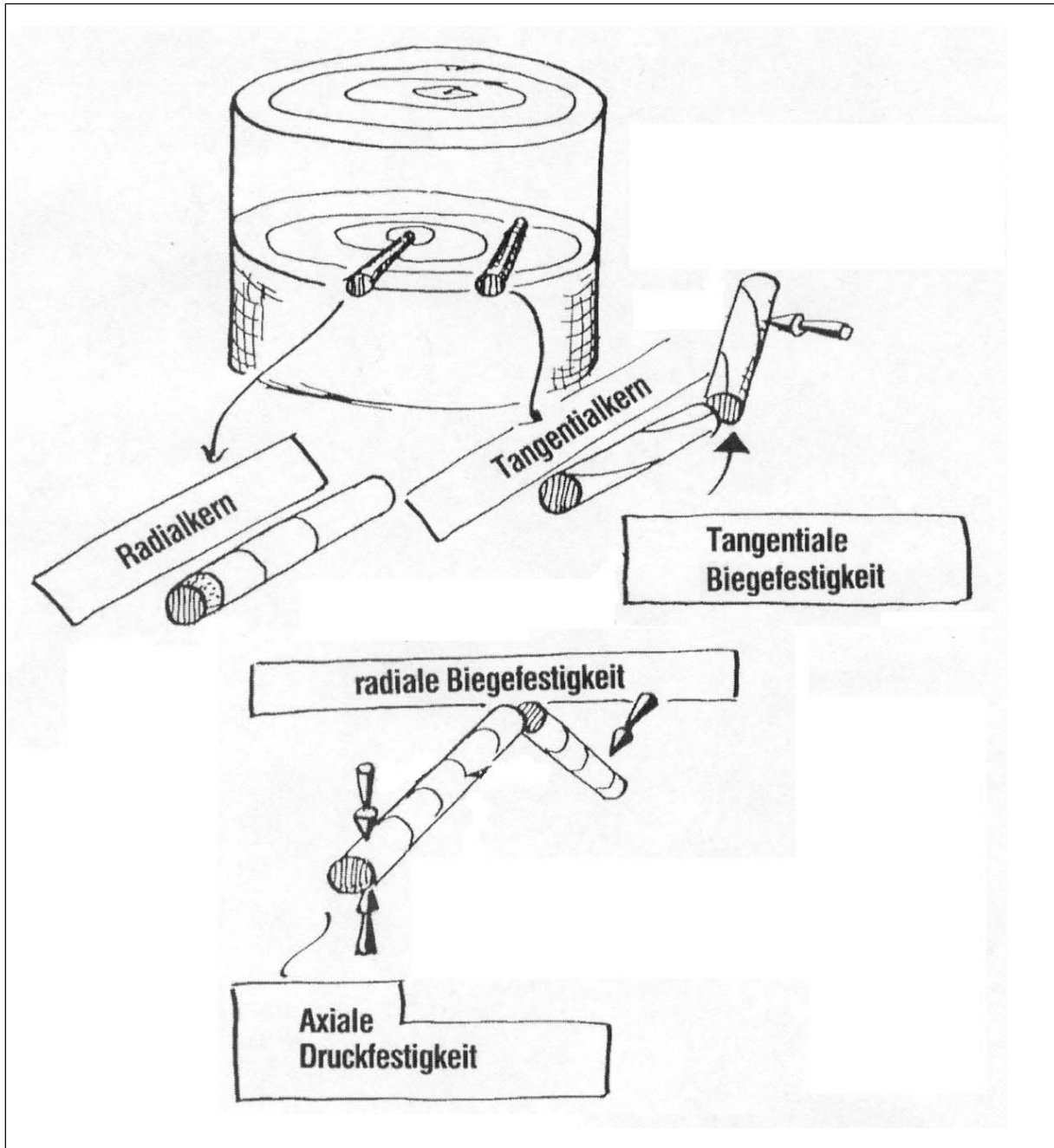
Durch Biegung des hohlen Stammes wird Druckspannung in radialer Richtung auf den Stamm übertragen. Der Stamm kann hierbei verflachen. Auf der Innen- und Außenseite des hohlen Stammes kommt es auch zu Zugspannungen in tangentialer Richtung (Abb. 4). Die tangentielle Zugfestigkeit  $\sigma_{z,t}$  ist der Widerstand, den der Baum einem Versagen durch tangentialen Zug entgegengesetzt.



**Abbildung 4:** Belastung des Baumes, resultierende tangentielle Querszugspannungen und schematische Darstellung der Belastungsrichtung an einem Baumstamm [5].

### 3 Das Fractometer II

Das Fractometer II ist eine Messvorrichtung zur Bestimmung von Biegefestigkeits- und Druckfestigkeitskennwerten von grünem Holz und nicht extrem festem, trockenem Holz. Bestimmt werden diese Kennwerte mittels eines Bohrkerns mit einem Durchmesser von 5 mm. Der Bohrkern wird mit einem Zuwachsbohrer meist radial bzw. tangential aus dem Baum entnommen (Abb. 5).



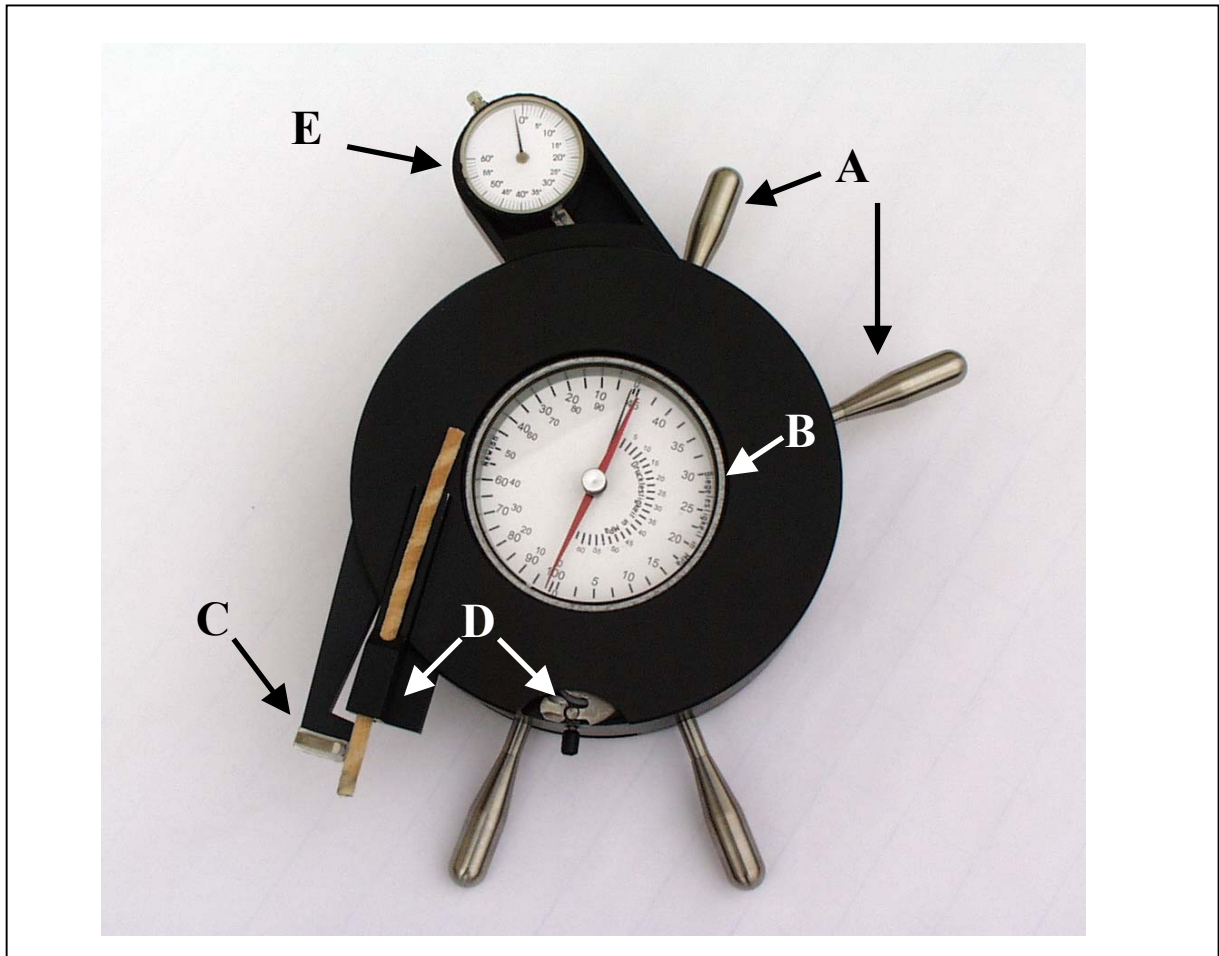
**Abbildung 5:** Festigkeitsgrößen, die sich durch Bruch eines Radial- bzw. Tangentialbohrkerns mit dem Fractometer II bestimmen lassen [6].



### 3.1 Aufbau des Fractometer II

Im wesentlichen besteht das Fractometer II aus fünf Komponenten (Abb. 6):

- Hebel zur Krafteinleitung (A);
- Kraftmessuhr mit Schleppzeiger (B);
- Biegehebel (C);
- Einspannvorrichtungen für Bohrkern bzw. Bohrkernsegmente (D);
- Wegmessuhr zur Bestimmung des Biegewinkels (E);



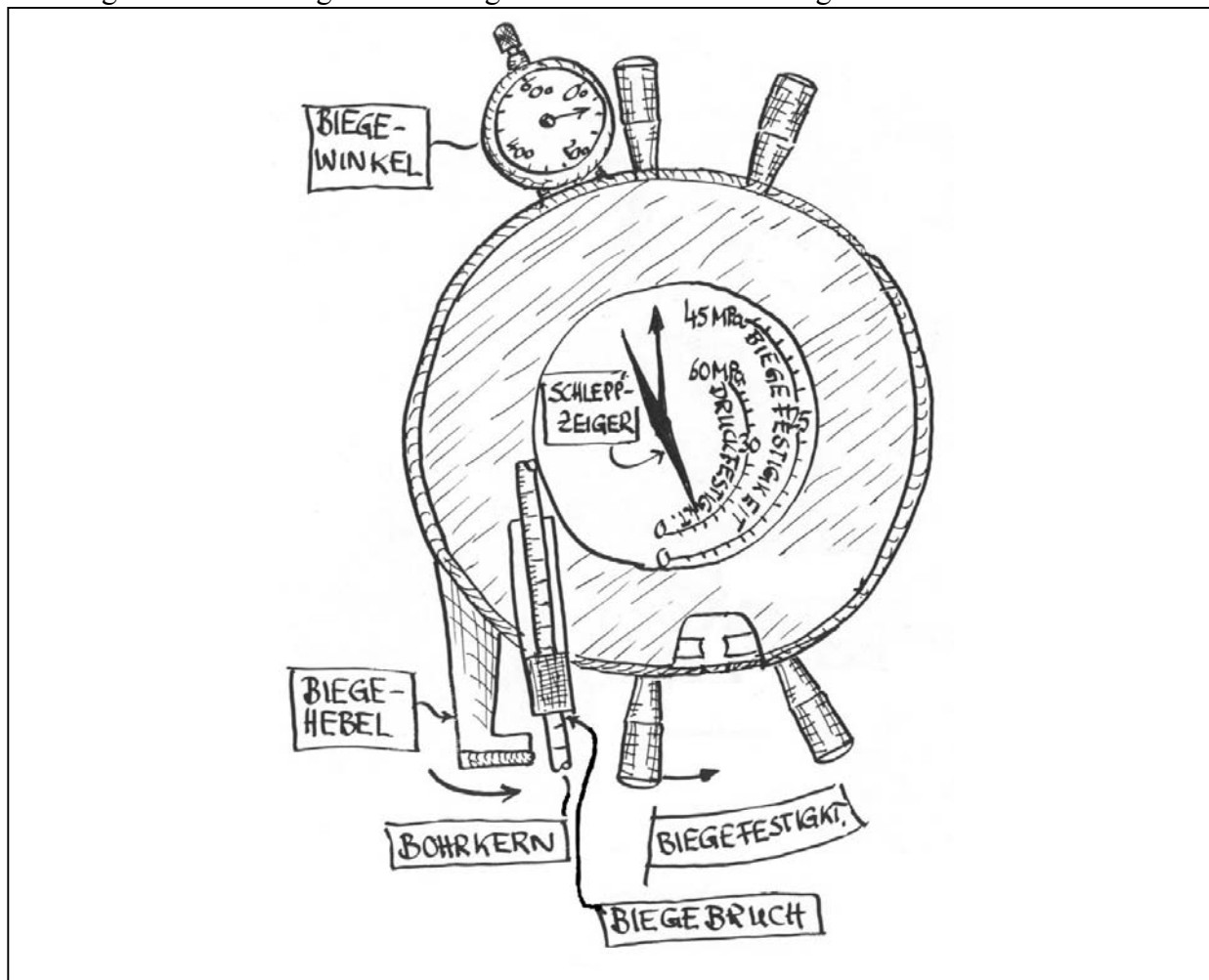
**Abbildung 6:** Das Fractometer II mit seinen fünf Komponenten.

## 3.2 Funktionsprinzip des Fractometer II

Zur Bestimmung eines Festigkeitskennwertes wird der Bohrkern bzw. ein Probensegment in die jeweilige Einspannvorrichtung eingelegt und entsprechend der Faserrichtung ausgerichtet. Durch langsames, kontinuierliches Bewegen des zentralen Hebels wird eine Kraft auf die Einspannvorrichtung und somit auf die Probe übertragen. Die Kraft wird so lange erhöht, bis die Probe versagt. Gemessen wird die bis zum Versagen der Probe maximal aufgebrauchte Kraft. Diese Kraft bzw. die entsprechende Festigkeit wird an der Kraftmessuhr mittels Schleppzeiger angezeigt. Die Wegmesseinrichtung dient der Ermittlung des bis zum Bruch der Probe zurückgelegten Biege winkels.

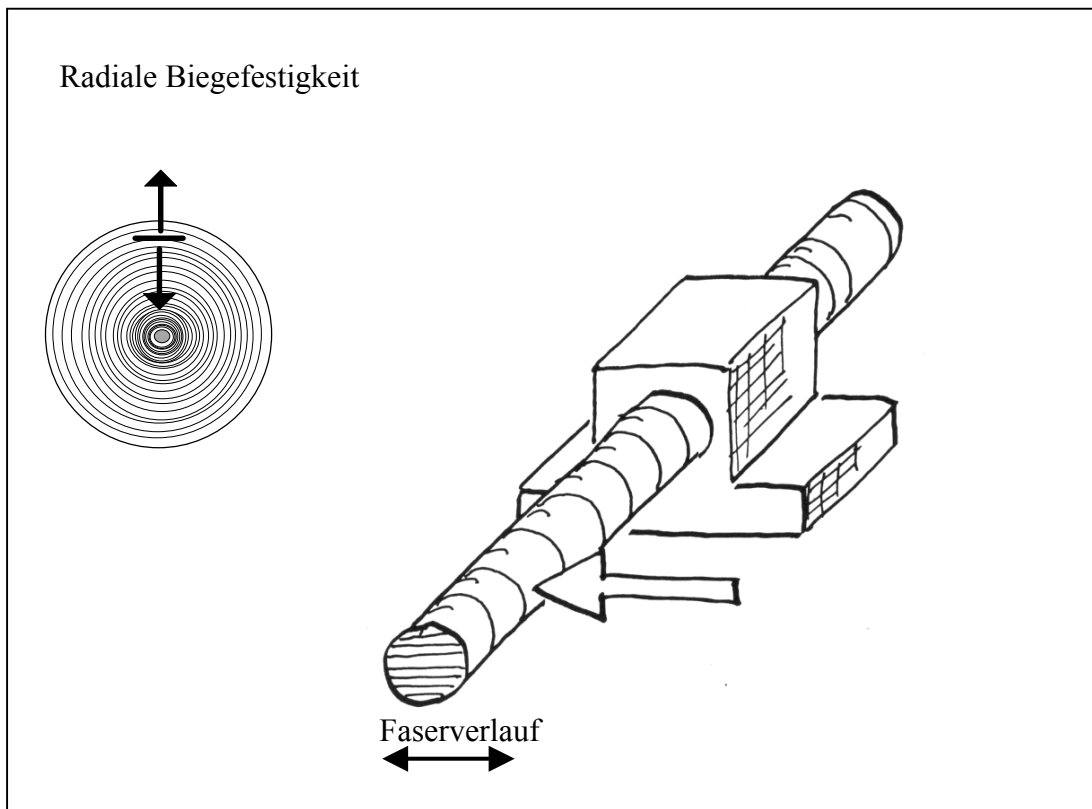
### 3.2.1 Durchführung der Messungen an Radialkernen mit dem Fractometer II

Die Bestimmung der radialen Biegefestigkeit erfolgt in der Einspannvorrichtung am Biegehebel (Abb. 7). Hierbei wird der Bohrkern in mindestens 10 mm lange Probenstücke gebrochen und die maximale Kraft bzw. die radiale Biegefestigkeit ermittelt (Abb. 8). Vorteilhaft für nachfolgende Druckfestigkeitsmessungen ist eine Bruchstücklänge von 20 mm.



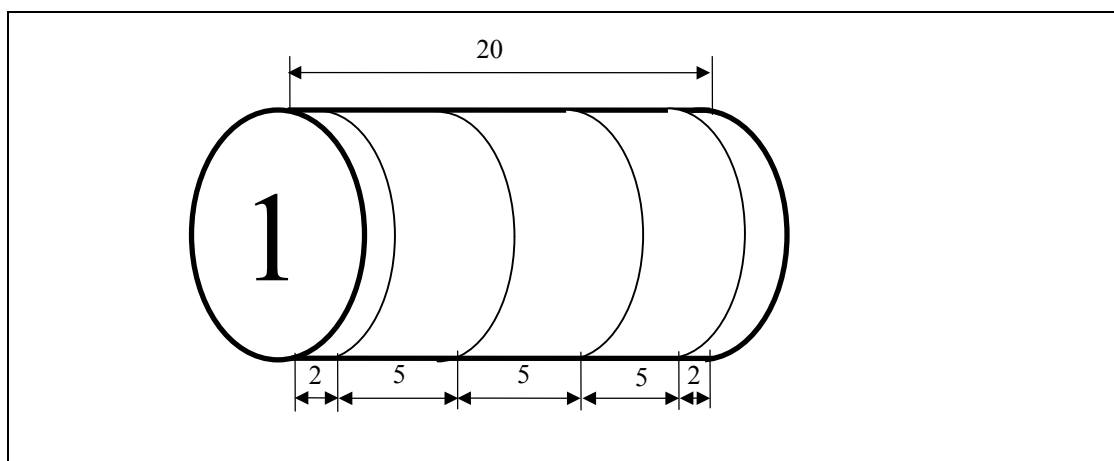
**Abbildung 7:** Schematische Darstellung des Biegebruchs an einem Radialkern zur Ermittlung der radialen Biegefestigkeit.

Beim radialen Biegebruch versagt die Probe zuerst auf der Zugseite. Deshalb kann die radiale Biegefestigkeit als Maß für die radiale Zugfestigkeit (Querzugfestigkeit) verwendet werden.



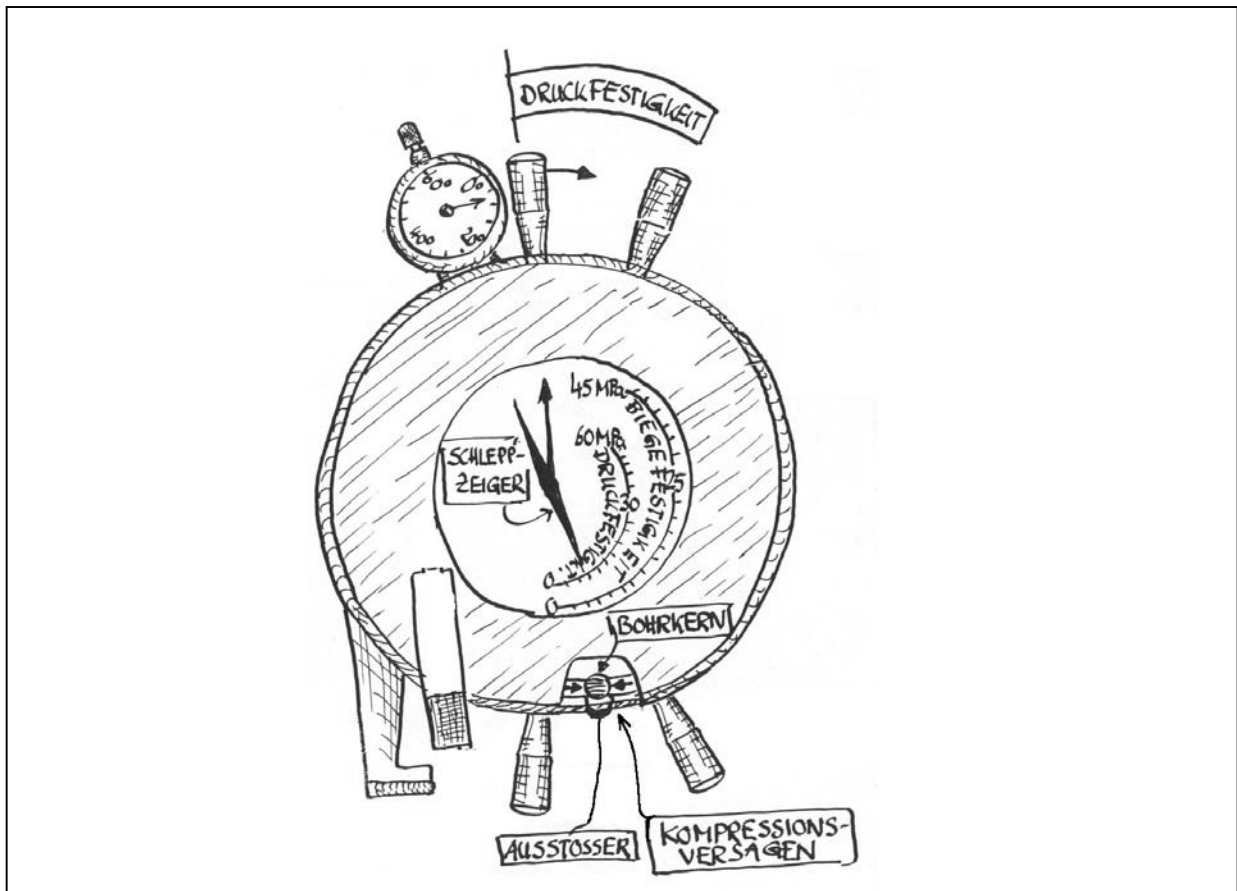
**Abbildung 8:** Schematische Darstellung der Belastung und der Ausrichtung der zu untersuchenden Probe bei der Bestimmung der radialen Biegefestigkeit.

Von jedem so erhaltenen Probenstück wird anschließend mit einer Rasierklinge eine ca. 2 mm starke Scheibe abgeschnitten. Dies ist notwendig um die durch den Biegefestigkeitsversuch am Bruchende delaminierten Holzfasern bzw. Holzstrahlen zu beseitigen. Anschließend wird das 20 mm lange Probenstück in drei Segmente mit jeweils 5 mm Länge geteilt (Abb. 9).



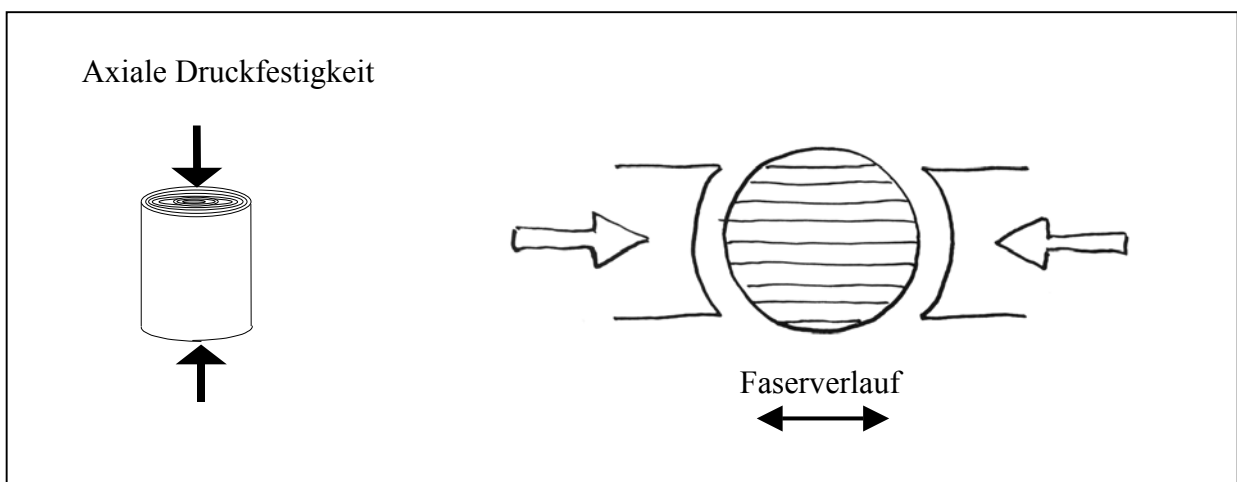
**Abbildung 9:** Unterteilung des beim Biegebruch abgetrennten, ca. 20 mm langen Bohrkernsegmentes für nachfolgende Druckfestigkeits-Kennwertermittlungen.

Die Bestimmung der axialen Druckfestigkeit erfolgt in der unten dargestellten Einspannvorrichtung des Fractometer II (Abb. 10). Als Proben werden die drei 5 mm langen Bohrkernsegmente verwendet.



**Abbildung 10:** Schematische Darstellung des Druckversuches an einem Radialkernsegment zur Ermittlung der axialen Druckfestigkeit.

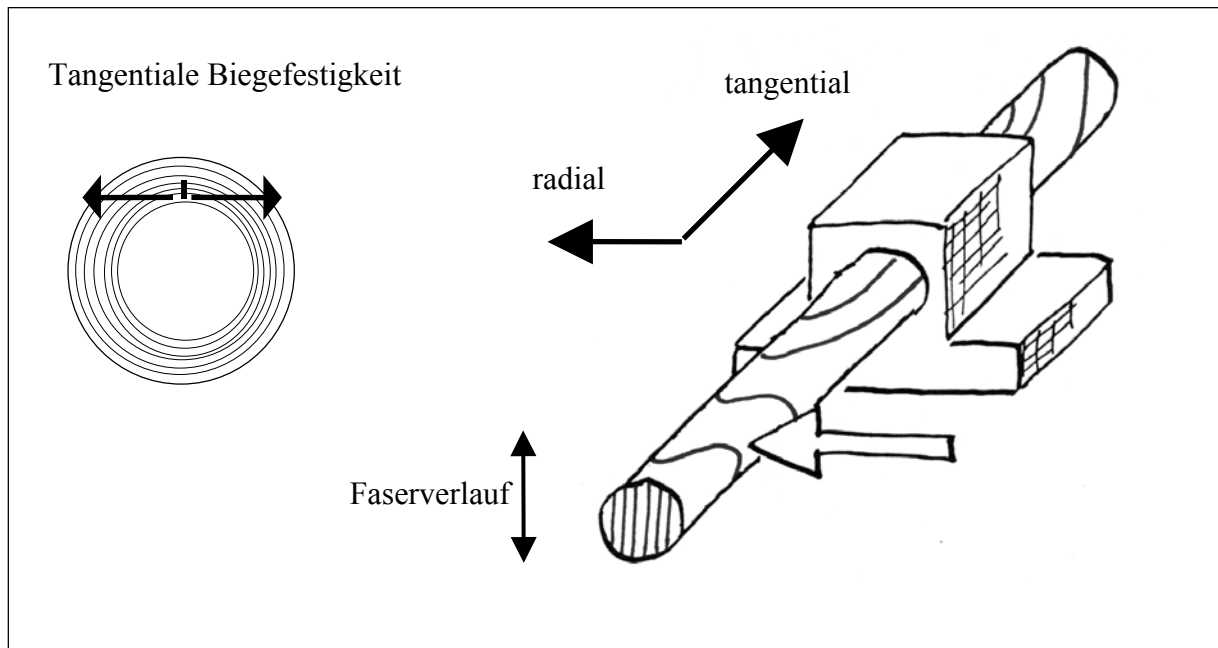
Die Proben werden parallel zur Faserrichtung bis zum Versagen (erster Lastabfall!!) belastet und die maximale Druckkraft bzw. die axiale Druckfestigkeit ermittelt (Abb. 11).



**Abbildung 11:** Schematische Darstellung der Belastung und der Ausrichtung der zu untersuchenden Probe bei der Bestimmung der axialen Druckfestigkeit.

### 3.2.2 Durchführung der Messungen an Tangentialkernen mit dem Fractometer II

Die Bestimmung der tangentialen Biegefestigkeit erfolgt in der Einspannvorrichtung am Biegehebel (Abb. 7). Nur die Bereiche des Bohrkerns, bei denen die Jahresringe parallel zur Bohrkernlängsachse bzw. die Holzstrahlen senkrecht zur Bohrkernlängsachse angeordnet sind, können zur Bestimmung der tangentialen Biegefestigkeit herangezogen werden [6]. Hierbei wird der Bohrkern radial belastet und die maximale Kraft bis zum Bruch ermittelt (Abb. 12). Zur Bestimmung der tangentialen Biegefestigkeit an einem Tangentialkern erhält man somit nur einen Messpunkt pro Bohrkern.



**Abbildung 12:** Schematische Darstellung der Belastung und der Ausrichtung des zu untersuchenden Bohrkerns bei der Bestimmung der tangentialen Biegefestigkeit.

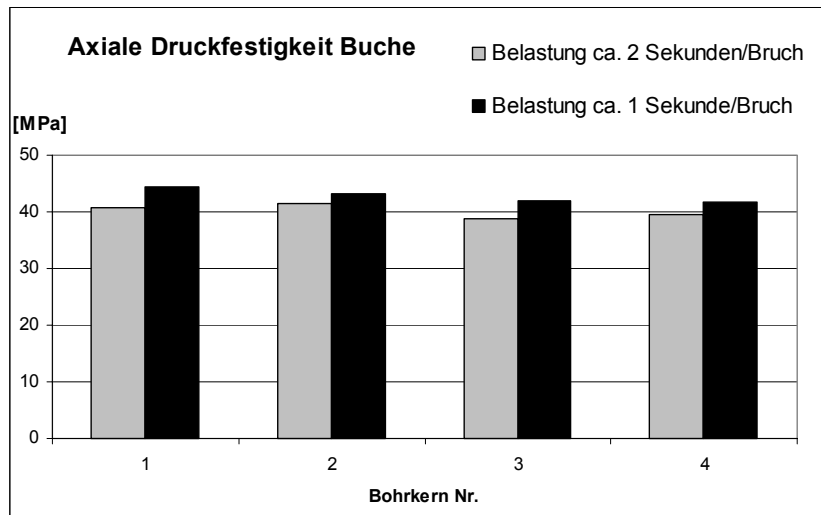
## 4 Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit und Probenlänge auf die Druckfestigkeitskennwerte erläutert am Beispiel der Rotbuche

Im folgenden werden mögliche Einflüsse von Belastungsgeschwindigkeit und Probenlänge bei der Ermittlung der axialen Druckfestigkeit diskutiert.

In einer Feldstudie an neun Rotbuchen (*fagus sylvatica* L.) wurden die Druckfestigkeitskennwerte bei einer Belastungsgeschwindigkeit von einer Sekunde bzw. von zwei Sekunden bis zum Versagen des Prüfkörpers miteinander verglichen.

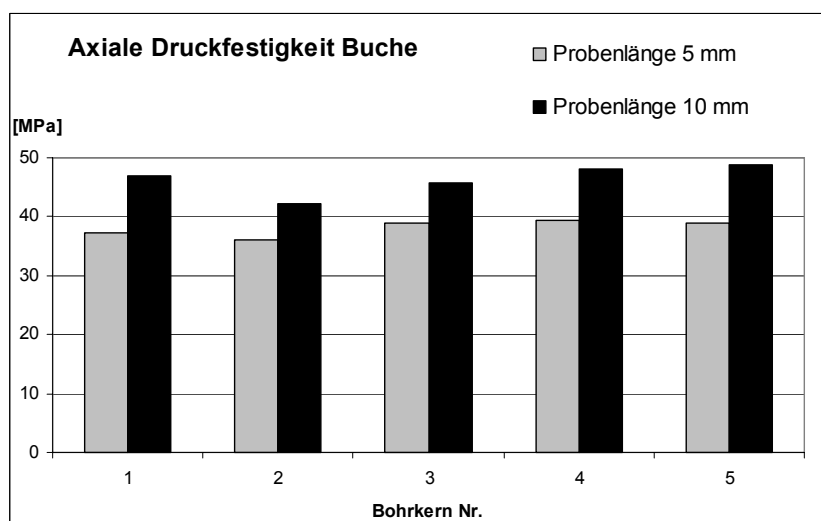
Ferner wurde in weiteren Experimenten die Probenlänge der beim Druckversuch verwendeten Bohrkernsegmente variiert. Hierbei wurden Druckfestigkeitskennwerte von Proben mit einer Länge von fünf Millimetern den Druckfestigkeitskennwerten von Proben mit einer Länge von einem Zentimeter gegenübergestellt, um den Einfluss einer seitlichen Stützwirkung des unkomprimierten Bereiches aufzuzeigen.

Nachfolgende Abbildungen zeigen den Einfluss von Belastungsgeschwindigkeit und Probenlänge auf die Ergebnisse der Druckfestigkeits-Kennwertermittlung (Abb. 13 und Abb. 14).



**Abbildung 13:** Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit bei der Ermittlung der axialen Druckfestigkeitskennwerte von Buche.

Die Betrachtung der Abbildung 13 zeigt einen geringen Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit auf die Druckfestigkeit. Belastet man die Probe relativ schnell (ca. 1 Sekunde bis zum Bruch) so führt dies zu höheren Festigkeitskennwerten. Diese Erhöhung beträgt im Mittel 6,5 %. Wie bereits im Kapitel 3.2 beschrieben, sollte die Belastung der Holzprobe durch zügig-stetiges Verfahren der Hebel geschehen. Diese Belastungsgeschwindigkeit sollte ca. 2 Sekunden betragen.



**Abbildung 14:** Einfluss der Probenlänge bei der Ermittlung der axialen Druckfestigkeitskennwerte von Buche.

Die Betrachtung der Abbildung 14 zeigt einen großen Einfluss der Probenlänge auf die Druckfestigkeit. Die Verwendung von Holzproben mit einer Länge von 10 mm führt zu höheren Druckfestigkeitskennwerten als bei der Verwendung 5 mm langer Holzproben. Die seitliche Stützwirkung des überstehenden, unbelasteten Holzprobenbereiches auf den belasteten Probenkörper führt zu einem Anstieg der Druckfestigkeitskennwerte. Diese Erhöhung beträgt im Mittel 21,7 %.

**Aufgrund dieses signifikanten Unterschiedes zwischen 5 mm langen und 10 mm langen Holzproben sollte daher dringlich darauf geachtet werden, nur Proben mit einer Länge von 5 mm zu verwenden.**

## 5 Druck- und Biegefestigkeiten grüner Bäume

Im Rahmen einer Feldstudie wurden von einheimischen Laub- und Nadelbäumen die axiale Druckfestigkeit ( $\sigma_{D,l}$ ), die radiale Biegefestigkeit ( $\sigma_{B,r}$ ), und die tangentielle Biegefestigkeit ( $\sigma_{B,t}$ ) untersucht [7].

Es wurden ausschließlich gerade gewachsene, defektfreie Bäume zur Untersuchung herangezogen. Folgenden Baumarten wurden untersucht:

- Douglasie
- Eibe
- Gemeine Esche
- Gemeine Kiefer
- Hängebirke
- Lärche
- Linde
- Platane
- Robinie
- Rotbuche
- Rotfichte
- Schwarzpappelhybride
- Silberweide
- Spitzahorn
- Stieleiche
- Tanne

Der Bohrkern wurde in einer Höhe von ca. 1,3 m aus dem Baum entnommen. Die Untersuchungen erfolgten teilweise direkt nach der Bohrkernentnahme bzw. maximal eine Stunde später im Labor. Der Bohrkern wurde hierbei, zum Schutz gegen Austrocknung, in einem Plastikröhrchen bis zur Messung mit dem Fractometer aufbewahrt.

Unterschiedliche Belastungen des Baumes führen zu voneinander abweichenden Festigkeiten. Auch Lichtverhältnisse, Wasser- bzw. Nährstoffangebot beeinflussen die Struktur des Holzes und damit seine Festigkeit. Die nachfolgenden Abbildungen geben einen Einblick, wie unterschiedlich hoch diese Festigkeiten zwischen den einzelnen Baumarten sein können (Abb. 15). Diese Messergebnisse können nicht als absoluter Maßstab angesehen werden, da sie die Festigkeiten im Stamm in einer Höhe von 1,3 Metern von zufällig ausgewählten Bäumen repräsentieren. **Andere Standorte mit anderen Windlasten können andere Werte bedingen.**

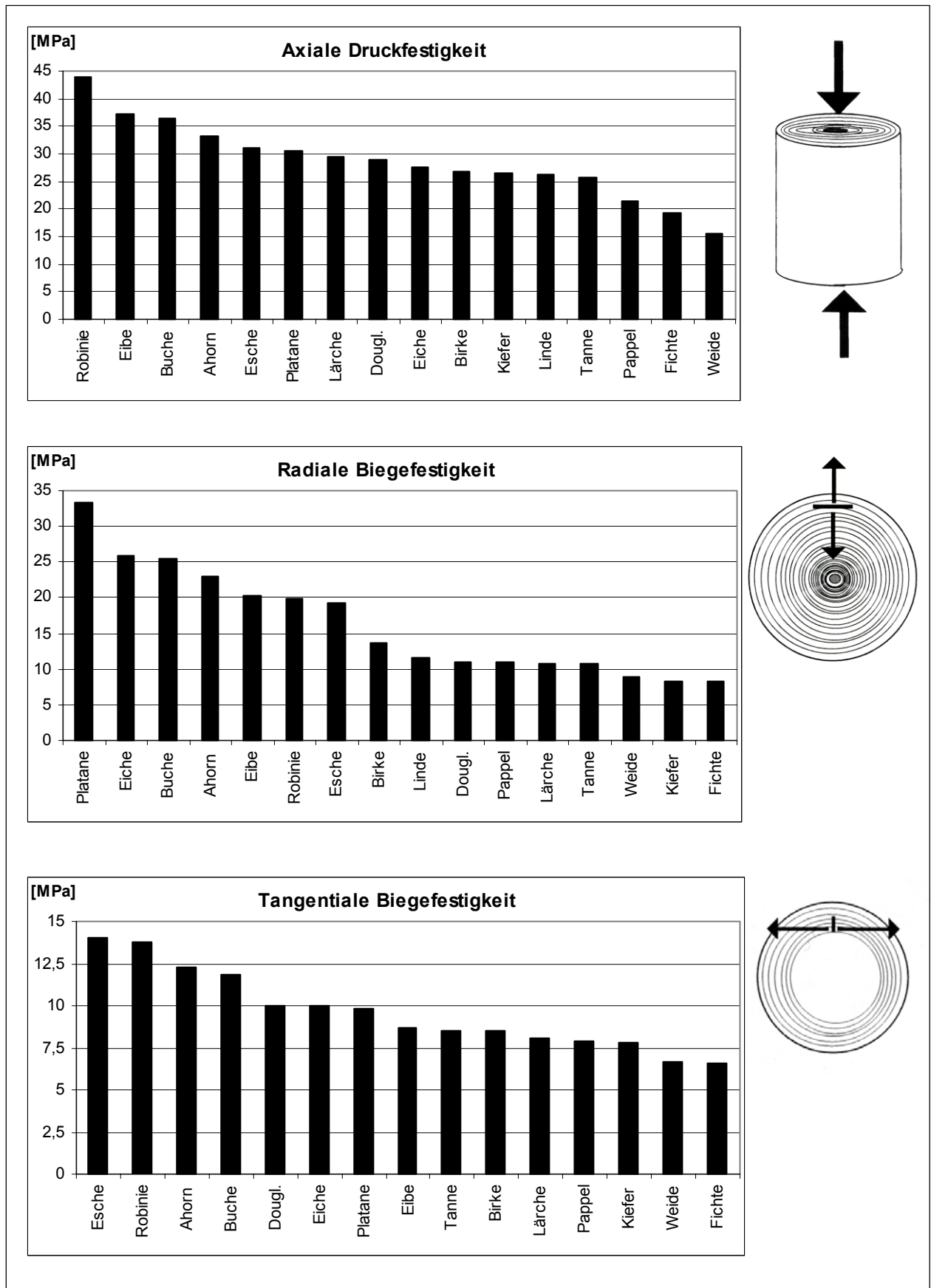


Abbildung 15: Druck- und Biegefestigkeitskennwerte von grünen Bäumen.



## 6 Besonderheiten bei der Druckfestigkeitsmessung an trockenen Bohrkernen

Bei der Ermittlung der axialen Druckfestigkeit an trockenen Bohrkernen müssen folgende Besonderheiten berücksichtigt werden:

- Die seitliche Stützwirkung des überstehenden, unbelasteten Holzprobenbereiches (Ohren) auf den belasteten Probenkörper führt zu einem Anstieg der Druckfestigkeitskennwerte. Deshalb müssen diese überstehenden Ohren abgeschnitten werden.
- Der Messbereich des Fractometer II endet beim Druckversuch bei 60 MPa. Deshalb müssen bei extrem druckfesten Hölzern die Ohren abgeschnitten und die Probenlänge z. B. auf  $L = 2,5$  mm reduziert werden. Der reale Spannungswert ist dann:

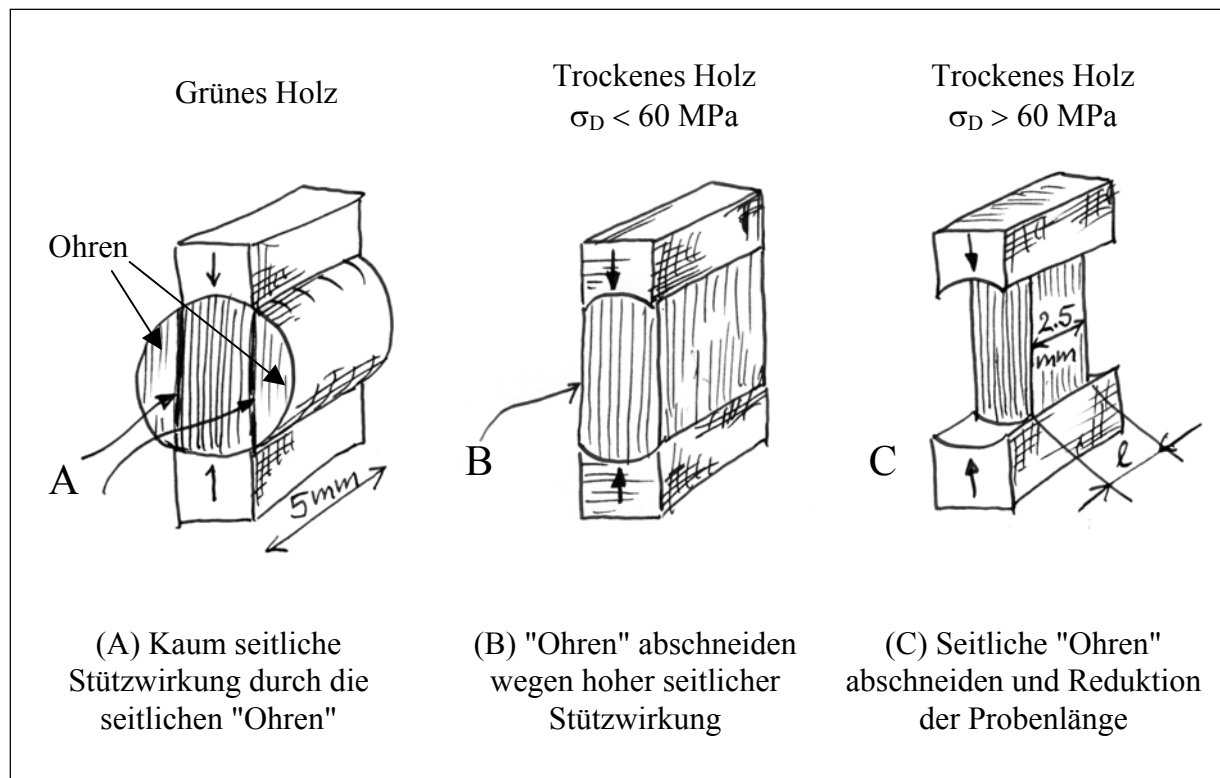
$$\sigma_D = \frac{5\text{mm}}{L} \cdot \sigma_D(\text{Anzeige}) = \frac{5\text{mm}}{2,5\text{mm}} \cdot \sigma_D(\text{Anzeige}) = 2 \cdot \sigma_D(\text{Anzeige})$$

mit einer Länge  $L = 2$  mm lassen sich maximale Druckfestigkeiten von:

$$\sigma_D^{\text{Max}} = \frac{5\text{mm}}{2\text{mm}} \cdot 60\text{MPa} = 150\text{MPa}$$

messen.

Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Druckfestigkeit von grünem Holz (A) und von trockenem Holz mit einer zu erwartenden Druckfestigkeit kleiner als 60 MPa (B) bzw. größer als 60 MPa (C).



**Abbildung 16:** Vorgehensweise bei der Druckfestigkeitsbestimmung.

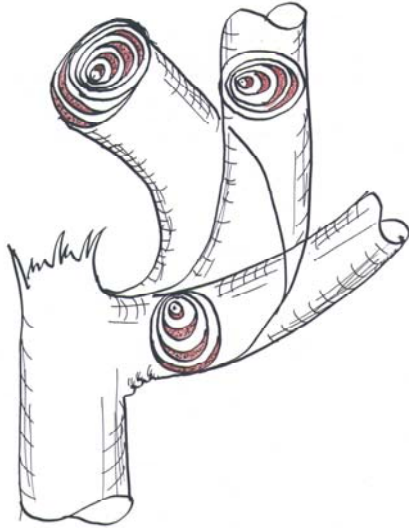
## 7 Literatur

- [1] KOLLMANN, F. (1982) *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, Springer Verlag, Berlin
- [2] LAVERS, G. M. (1983) *The strength properties of timber*, Building Research Establishment Report, 3<sup>rd</sup> edition, Her Majesty's Stationery Office, London
- [3] MATTHECK, C. (1999) *Stupsi erklärt den Baum*, 3. erweiterte Auflage, Verlag Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
- [4] MATTHECK, C., BURKHARDT, S. (1991) *Der Unglücksbalken - Biomechanik der Holzstrahlen*, Allg. Forst und Jagdzeitung, 8, Seite 143 - 147
- [5] MATTHECK, C. (1997) *Design in der Natur - der Baum als Lehrmeister*, 3. Auflage, Rombach Verlag, Freiburg
- [6] MATTHECK, C. KÜBLER, H. (1995) *Wood - the internal optimization of trees*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin
- [7] Götz, K. (2000) *Die innere Optimierung der Bäume als Vorbild für technische Faserverbunde - eine lokale Approximation*, Dissertation am Institut für Zuverlässigkeit- und Schadenskunde, Universität Karlsruhe (TH), Bericht FZKA 6552 (Dezember 2000)

## Anhang I:

### Wechselseitiges Druckholz und Mäanderbildung am Nadelbaum

Nach Wegfall des Führungstriebes richtet sich der Seitenast auf und versucht, sein Astende in eine vertikale Stellung zu bringen.



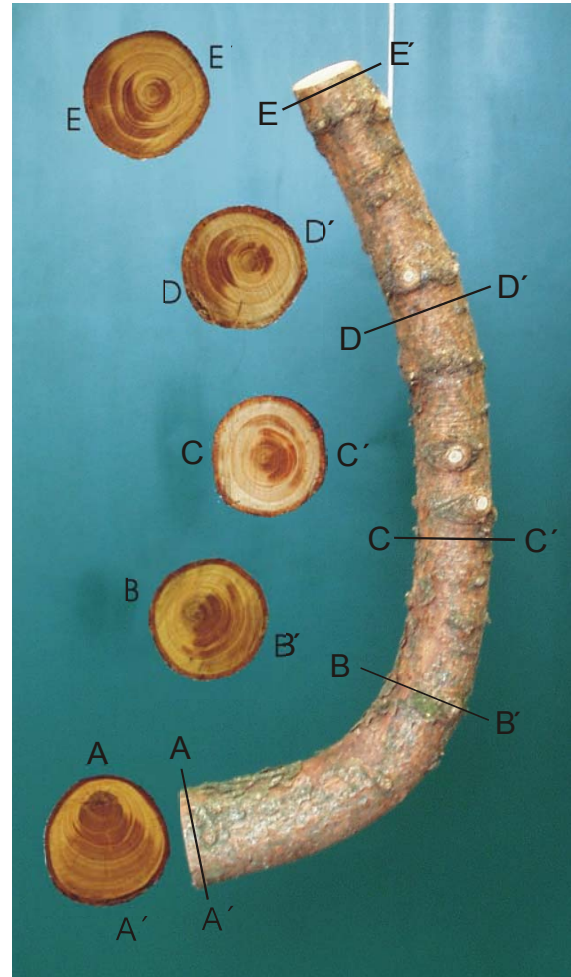
Nadelbäume, wie hier am Beispiel einer Fichte, bilden auf der erd zugewandten Seite Druckholz. Das Druckholz hat oft eine dunkle, rötliche Färbung (Rotholz) und ist im Sägeschnitt leicht zu erkennen.

In den Fällen A und B befindet sich das Druckholz ausschließlich auf einer Seite des Stammes, die stets die Unterseite blieb, eine Überkorrektur erfolgte nicht. Schnitt C weist am Rand einen Bereich auf, in dem keine Reaktionsholzbildung vorliegt, da sich der Ast in einer vertikalen Stellung befand.

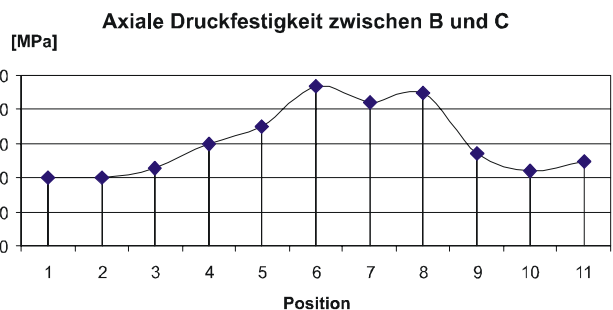
Die Beispiele D und E sind aus überkorrigierten Bereichen, die sich wieder zurückbiegen. Die erd zugewandte Seite wechselte hierbei nach erfolgter, geotroper Überkorrektur.

Festigkeitsuntersuchungen mit dem **Fractometer II** an einem lufttrockenen Bohrkern, der zwischen der Position B und C entnommen wurde, zeigt den Zusammenhang zwischen Holzanatomie (Rotholz bzw. Normalholz) und axialer Druckfestigkeit.

Bereiche, in denen Rotholz vorhanden ist, weisen eine deutlich höhere axiale Druckfestigkeit auf, als Normalholzbereiche.



Normalholz | Rotholz | Normalholz



## Anhang II:

### Druckfestigkeitsmessung an einer trockenen Lärchenscheibe mit dem Fractometer II

Von einer trockenen Lärche wurde, wie unten schematisch dargestellt, ein Radialbohrkern entnommen. Dieser Bohrkern kann in drei Bereiche unterteilt werden.

Bereich 1: Splintholz

Bereich 2: Kernholz mit engen Jahresringen

Bereich 3: Kernholz mit weiten Jahresringen

Die Druckfestigkeitsmessung mit dem Fractometer II zeigt deutlich einen Anstieg der axialen Druckfestigkeit im Kernholzbereich mit engen Jahresringen.

Der hohe Spätholzanteil in diesem Bereich ist für diesen signifikanten Anstieg verantwortlich. Der Splintbereich und der Kernholzbereich mit weiten Jahresringen weisen niedrigere Druckfestigkeitskennwerte auf.

#### Das Fractometer II

