

Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: Ein „in situ“-Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte*

R. Görlacher

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe

Ein zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Bestimmung der Rohdichte an eingebautem Holz wird vorgestellt. Dabei wird ein Stahlstift mit einer definierten Energie in das Holz eingetrieben und die erreichte Eindringtiefe gemessen. Über Regressionsgleichungen, die durch systematische Versuchsreihen ermittelt wurden, läßt sich die Rohdichte abschätzen, wobei die Holzfeuchte und die Anzahl der Messungen zu beachten sind. Das Verfahren kann im Einzelfall schon jetzt eine wertvolle Hilfe bei Zustandsuntersuchungen bestehender Holzkonstruktionen sein. Allgemeingültige Beurteilungskriterien, insbesondere für „altes“ Holz, müssen noch erarbeitet werden.

Nondestructive testing of wood: “In-situ”-method for determining wood density

A non-destructive method for determining the density of built-in wood is presented. A blunt pin is shot into wood with a constant energy and the penetration depth is read on a scale. Regression models, which are determined by systematic test series are used for estimating wood density, considering the moisture content and the number of measurements. This method can be helpful for inspecting the state of wood in structures. Further studies for common rules, especially for elder wood are necessary.

1 Allgemeines

Die Rohdichte des Holzes ist eine wichtige Kenngröße zur Beurteilung der Holzgüte. Sie weist enge Korrelationen zu den Holzfestigkeiten, insbesondere zur Druckfestigkeit in Faserrichtung auf. Die Bestimmung der Rohdichte erfolgt in der Regel nach DIN 52182. Dabei werden würfel- oder quaderförmige Proben empfohlen, deren Größe sich nach dem Untersuchungszweck richtet. Die Rohdichte von eingebautem Holz („in situ“-Messung) kann nach diesem Verfahren nur zerstörend ermittelt werden, da zur Bestimmung der Masse Proben entnommen werden müssen. Da oftmals gerade die Eigenschaften von hochbeanspruchten Bauteilen interessieren, ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren notwendig, welches das Bauteil nicht oder nur unwesentlich schädigt. Ein solches zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Bestimmung der Rohdichte an eingebautem Holz wird nachfolgend vorgestellt.

2 Verfahren und Meßgerät

Vor einigen Jahren wurde das Holzprüfgerät Pilodyn von der Schweizer Firma Proceq SA, Zürich, entwickelt. Ein

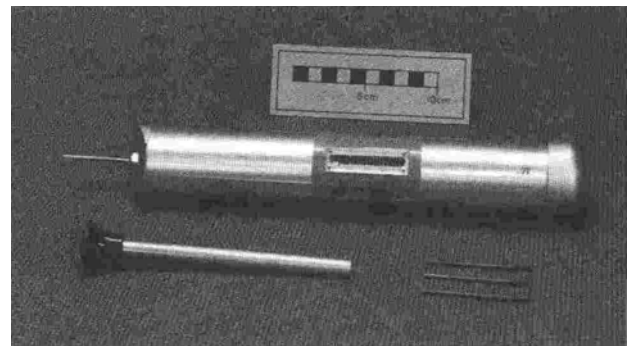


Bild 1. Holzprüfgerät Pilodyn 6J der Firma Proceq S.A. Grundausstattung mit Ladestock und drei Ersatzstiften
Fig. 1. The Pilodyn 6J wood tester including loading rod and 3 spare striker pins

Schlagstift wird durch Freisetzen einer definierten Energie, die durch Spannen einer Feder gespeichert wird, in das zu untersuchende Holz eingetrieben. Die Eindringtiefe des Stiftes, die auf einer Skala am Meßgerät direkt abgelesen werden kann, ist ein Maß für die Holzgüte. Die Firma stellt Geräte mit unterschiedlichen Schlagenergien her (6 – 12 – 18 Joule), der Stiftdurchmesser beträgt 2,0 bis 3,0 mm.

Für die nachstehenden Untersuchungen wurde das Holzprüfgerät Pilodyn 6J (Bild 1) mit folgenden technischen Daten verwendet: Schlagenergie: 6 Joule (Nm); Eindringtiefe: bis 40 mm; Schlagstiftdurchmesser: 2,5 mm; Durchmesser des Geräts: 50 mm; Länge des Geräts: 335 mm; Masse: 1,55 kg. Das Seriengerät besitzt an der Andruckfläche zwei kurze Dorne, die beim Ansetzen an runde Prüfkörper eine gewisse Stabilisierung ermöglichen. Diese Dorne wurden für Messungen an ebenen Holzoberflächen abgeschliffen, um die Genauigkeit der Messung nicht nachteilig zu beeinflussen. Die Handhabung des Geräts ist sehr einfach und in der Betriebsanleitung mit den entsprechenden Sicherheitshinweisen beschrieben.

3 Literatur

Bisher wurde im wesentlichen über drei Einsatzmöglichkeiten des Pilodyn-Holzprüfgeräts berichtet: Untersuchung von stehenden Bäumen, Untersuchung von Bauholz zur möglichen Gütesortierung und Untersuchung von durch Fäulnis geschädigten Holzmasten zur Abschätzung der Restfestigkeit.

* Herrn em. o. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing E.h. Karl Möhler zu seinem 75. Geburtstag gewidmet

Für den Einsatz des Pilodyn-Holzprüfgeräts an stehenden Bäumen liegen viele Erfahrungen vor (Cown 1978, 1982; Micko et al. 1981; Lewark, Giefing 1983; Sprague et al. 1983; Cheliak et al. 1984, Lewark 1985; Gough, Barnes 1984). Grundsätzlich wurden bei allen Untersuchungen die Korrelationen zwischen Rohdichte und Eindringtiefe ermittelt. Einflüsse auf die Meßwerte, wie z. B. Temperatur, Alter und Standort der Bäume, Messung mit und ohne Rinde, oder Messung zu verschiedenen Jahreszeiten wurden festgestellt. Weiterhin wurden Pilodyn-Meßergebnisse mit bestehenden Verfahren (Bohrkerne, Torsionsmeter) verglichen. Alle Autoren bestätigen im Grundsatz die Möglichkeit, die Rohdichte mit Hilfe des Pilodyn an stehenden Bäumen gut abzuschätzen zu können.

Hoffmeyer (1981) und Madsen (1980) berichten u. a. über die Möglichkeit, die Gütesortierung von Bauholz durch Rohdichtebestimmung mit dem Pilodyn-Holzprüfgerät zu verbessern. Weiterhin berichtet Hoffmeyer (1978) über Pilodyn-Messungen an Holzmasten zur Abschätzung von Schädigungen infolge Fäulnis. Ähnliche Zielsetzung hatten Setliff et al. (1983), die den Grad der Schädigung infolge Fäulnis von Silos aus Douglasie mit Hilfe des Pilodyn ermittelten.

Auch in diesen Fällen wurde die Eignung des Geräts nachgewiesen. Zu beachten ist der Einfluß der Holzfeuchte auf die Meßergebnisse, der beispielsweise von Smith und Morrel (1986) an Douglasienholz untersucht wurde.

4 Eigene Zielsetzungen

Ziel des Teilprojekts „Trag- und Verformungsverhalten alten Konstruktionsholzes“ innerhalb des Karlsruher Sonderforschungsbereiches 315 „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke“ ist es, zerstörungsfreie und zerstörungssarme Prüfverfahren zu entwickeln oder bestehende Methoden weiterzuentwickeln und diese am Bau anzuwenden, um zuverlässige Aussagen über die Eigenschaften von altem Konstruktionsholz treffen zu können. Neben einigen anderen Prüfmethoden hat sich aufgrund einer umfangreichen Literaturrecherche auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Prüfung von Holz (Steck und Görlacher 1987) das Pilodyn-Meßverfahren als eine erfolgversprechende Methode herausgestellt, um die Holzgüte auch im eingebauten Zustand abzuschätzen. Da die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen nicht ohne weiteres auf das in der Bundesrepublik heute und auch früher verwendete Bauholz übertragen werden können, wurden folgende Versuchsreihen durchgeführt:

Bestimmung einer Regressionsgleichung für die Rohdichte in Abhängigkeit von der Eindringtiefe. Als Holzart wurde Fichte gewählt und aus deutschen Holzleimbau-Betrieben entnommen, weil umfangreiche Kenntnisse über die Festigkeiten in Abhängigkeit von den Holzeigenschaften, wie z. B. Rohdichte und Ästigkeit aus Laboruntersuchungen im Rahmen anderer Forschungsprojekte vorliegen. Da außerdem in der Bundesrepublik überwiegend Fichte (*Picea abies*) als Bauholz verwendet wird, erscheint es sinnvoll, Fichte als Bezugsgröße für Untersuchungen an Konstruktionsholz zu wählen,

Bestimmung der notwendigen Anzahl von Messungen zur Erzielung ausreichend statistisch gesicherter Ergebnisse,

Ermittlung des Einflusses des Jahrringverlaufs auf die Eindringtiefe,

Ermittlung des Einflusses der Holzfeuchte im baupraktischen Bereich zwischen 10 und 20%,

Vergleichs-Messungen an altem Konstruktionsholz.

Künftig sollen Messungen an altem Konstruktionsholz fortgeführt werden. Sie sollen klären, ob das früher verwen-

dete Bauholz infolge anderer Wuchsbedingungen, Holzauswahlkriterien oder durch Pilz- oder Insektenbefall Unterschiede zum heutigen Bauholz aufweist und inwieweit die Eindringtiefe ein Maß für die aktuell vorhandene Güte des Holzes sein kann.

5 Versuche und Auswertung

5.1 Bestimmung einer Regressionsgleichung Rohdichte|Eindringtiefe

Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Rohdichte von der Eindringtiefe wurden 208 Brettabschnitte aus Fichte (*Picea abies*) von 45 cm Länge untersucht. Die Abschnitte stammten aus 30 Brettern von etwa 450 cm Länge mit Brettbreiten von 11 bis 21 cm und Brettdicken zwischen 33 und 36 mm.

Nachdem die mittlere Normalrohndichte jedes Brettabschnitts nach DIN 52182 bestimmt war, wurden an jedem Abschnitt 16 Pilodyn-Messungen durchgeführt, und zwar jeweils sechs Messungen auf der Ober- und Unterseite der Abschnitte sowie jeweils zwei Messungen auf den Schmalseiten. Die Lage der Meßstellen wurde variiert, so daß bei etwa der Hälfte der untersuchten Bretter die Messungen im gleichen Querschnitt nebeneinander lagen, während bei den übrigen Brettern die Messungen gleichmäßig über die Brettflächen verteilt waren. Ein Einfluß der Wahl der Meßstellenlage auf die mittlere Eindringtiefe konnte nicht nachgewiesen werden.

Bild 2 zeigt die Abhängigkeit der Rohdichte von der mittleren Eindringtiefe aus jeweils 16 Meßwerten. Die daraus ermittelte Regressionsgerade lautet:

$$\rho_N = -0,032 \cdot t_p + 0,855; \quad r = -0,01 \quad (1)$$

mit

$$\begin{aligned} \rho_N &= \text{Normal-Rohdichte in g/cm}^3, \\ t_p &= \text{Eindringtiefe in mm (Pilodyn 6J, } \varnothing 2,5 \text{ mm)}, \\ r &= \text{Korrelationskoeffizient.} \end{aligned}$$

Die Reststreuung s_R als Maß für die Streuung der Versuchswerte um die Regressionsgerade beträgt $0,029 \text{ g/cm}^3$. Die untere 5%-Fraktile dieser Stichprobe liegt somit um $1,65 \cdot 0,029 = 0,048 \text{ g/cm}^2$ unterhalb der Regressionsgeraden.

Eine Regression mit einer Hyperbelfunktion brachte keine wesentliche Verbesserung des Korrelationskoeffizienten:

$$\rho_N = \frac{4,68}{t_p} + 0,073; \quad r = 0,92 \quad (2)$$

Die beiden Funktionen unterscheiden sich im untersuchten Rohdichtebereich zwischen $0,35$ und $0,62 \text{ g/cm}^3$ kaum. Außerhalb dieses Bereichs, der in der Regel nur von anderen Holzarten erreicht wird und bisher noch nicht untersucht wurde, könnte sich eventuell eine der beiden Funktionen als überlegen erweisen.

5.2 Variationen der Anzahl der Messungen

Zur Bestimmung der Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten der Regressionsgeraden von der Anzahl der Messungen je Brettabschnitt wurden die Versuchsergebnisse in anderer Weise ausgewertet. Mit Hilfe eines Zufallsgenerators wurden aus den 16 Messungen je Brettabschnitt zwischen 1 und 15 Werte zufällig ausgewählt, Mittelwerte gebildet und erneut Linearregressionen durchgeführt. Die Bilder 3 und 4 zeigen exemplarisch für zwei und vier Messungen je Brettabschnitt

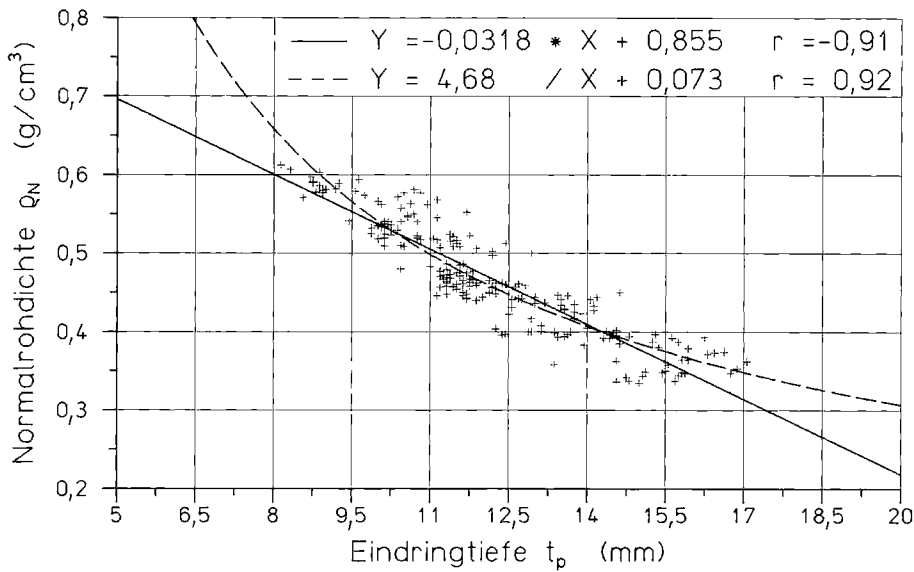


Bild 2. Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der Eindringtiefe (Pilodyn 6J) bei Fichte (*Picea abies*). + = Mittelwert aus 16 Messungen
Fig. 2. Relationship between density and Pilodyn 6J penetrations in spruce (*Picea abies*). + = average of 16 measurements

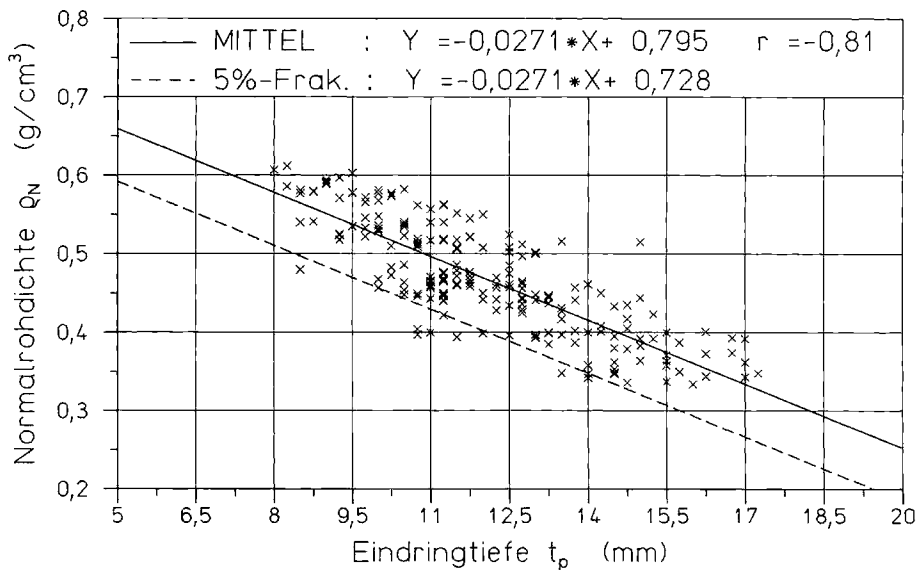


Bild 3. Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der Eindringtiefe (Pilodyn 6J) bei Fichte (*Picea abies*). x = Mittelwert aus 4 Messungen
Fig. 3. Relationship between density and Pilodyn 6J penetrations in spruce (*Picea abies*). x = average of 4 measurements

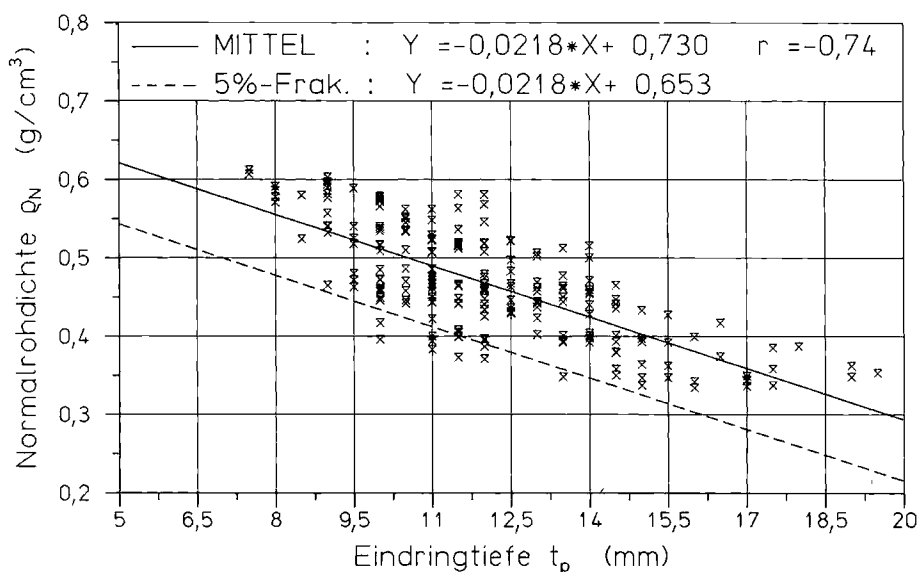


Bild 4. Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der Eindringtiefe (Pilodyn 6J) bei Fichte (*Picea abies*). x̄ = Mittelwert aus zwei Messungen
Fig. 4. Relationship between density and Pilodyn 6J penetrations (*Picea abies*). x̄ = average of two measurements

schnitt die entsprechenden Werte, die dazugehörigen Regressionsgeraden und die unteren 5%-Fraktile. Erwartungsgemäß nimmt mit abnehmender Anzahl der Messungen je Brett auch der Korrelationskoeffizient ab. Damit ändert sich auch die Steigung der Regressionsgeraden, da sich die Regressionsschere öffnet und die zweite Regressionsgerade (Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Rohdichte) unverändert bleibt. Unter der Voraussetzung, daß die Mittelwerte \bar{X} und \bar{Y} (12,2 mm; 0,466 g/cm³) unabhängig von der Anzahl der Messungen je Brett konstant bleiben (für eine große Anzahl von Versuchswerten sicherlich gerechtfertigt), läßt sich die Steigung der Regressionsgeraden (also der Regressionskoeffizient) bestimmen.

$$b_{yx}^N = \left(\frac{r^N}{r^{16}}\right)^2 \cdot b_{yx}^{16} \tag{3}$$

- b_{yx}^N = Regressionskoeffizient für Mittel aus N Messungen
- r^N = Korrelationskoeffizient für Mittel aus N Messungen
- b_{yx}^{16} = Regressionskoeffizient für Mittel aus 16 Messungen ($b_{yx}^{16} = -0,032$)
- r^{16} = Korrelationskoeffizient für Mittel aus 16 Messungen ($r^{16} = -0,91$)

Alle Regressionsgeraden haben den Mittelpunkt (\bar{X} , \bar{Y}) gemeinsam, so daß die Regressionskonstante a_{yx}^N bestimmt wird durch

$$a_{yx}^N = \bar{Y} - \left(\frac{r^N}{r^{16}}\right)^2 \cdot b_{yx}^{16} \cdot \bar{X} \tag{4}$$

Die mittlere Regressionsgerade bei einer Mittelwertbildung der Pilodyn-Eindringtiefe von N Messungen ergibt sich somit zu

$$e_N = -0,038 \cdot (r^N)^2 \cdot t_p + 0,466 + 0,468 \cdot (r^N)^2 \tag{5}$$

Die Standardabweichung der Reststreuung läßt sich in Abhängigkeit vom Korrelationskoeffizienten ausdrücken zu

$$s_R = s_y \cdot \sqrt{\frac{N-1}{N-2} \cdot (1-r^2)} \tag{6}$$

Mit $s_y = 0,0698$ g/cm³ und $N = 208$ ergibt sich

$$s_R = 0,070 \cdot \sqrt{1-r^2} \tag{7}$$

Die Korrelationskoeffizienten für die Mittelwerte aus 1 bis 16 Messungen je Brettabschnitt sind in Bild 5 wiedergegeben.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Gl. (5) und (7) werden in Abschnitt 6 gezeigt.

5.3 Einfluß des Jahrringverlaufs auf die Pilodyn-Messung

Um vergleichbare Meßergebnisse zu erhalten, sollte das Pilodyn-Meßgerät möglichst rechtwinklig zur Holzoberfläche angesetzt werden. Dadurch ist bei stehenden Bäumen oder bei Holzmasten auch gewährleistet, daß die Eindringrichtung des Stahlstifts radial, d. h. rechtwinklig zu den Jahrringen verläuft. Je nach Einschnitt des Holzes aus dem Stamm kann der Winkel zwischen Eindringrichtung und Jahrringverlauf bei senkrechtem Ansetzen des Meßgeräts an die Holzoberfläche auch kleiner als 90° werden.

Zur Bestimmung dieses Einflusses auf die Pilodyn-Messung wurden 105 Brettabschnitte untersucht. In jedem Brettabschnitt wurden in einem Querschnitt in unmittelbarer Nähe eines Hirnholzendes nebeneinanderliegende Messungen (Abstand etwa 1,5 cm) an Ober- und Unterseite vorgenommen. Der jeweilige Winkel zwischen Jahrringlage und Eindringrichtung des Stahlstifts konnte somit an der Hirnholzoberfläche des Abschnitts gemessen werden.

Die Rohdichtebestimmung nach DIN 52182 erfolgte an Proben 3 cm × 3 cm × 6 cm, so daß für je 4 Pilodyn-Messungen eine Rohdichtemessung vorlag.

Eine multiple Linearregressionsanalyse der Rohdichte in Abhängigkeit von der Eindringtiefe und dem Winkel zwischen Eindringrichtung und dem Jahrringverlauf ergab keinen signifikanten Einfluß des Winkels. Dies wird aus Bild 6 deutlich, in dem das Verhältnis der nach Gl. (5) ermittelten Rohdichte zur tatsächlichen Rohdichte in Abhängigkeit vom Winkel dargestellt ist. Messungen tangential zu den Jahrringen sollten dennoch vermieden werden, da hierdurch die Holzstruktur (Frühholz-Spätholz) beim Eindringvorgang nicht erfaßt wird.

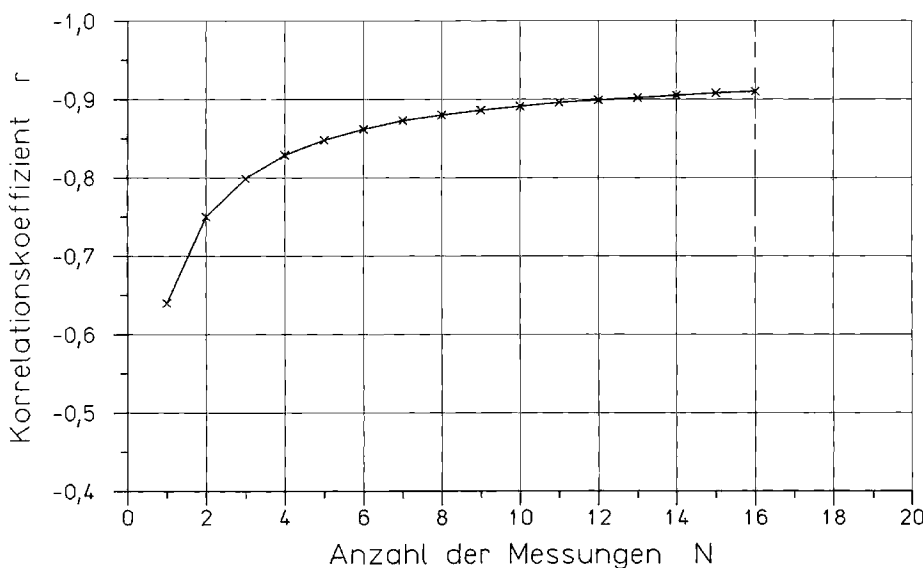


Bild 5. Zusammenhang zwischen dem Korrelationskoeffizienten r und der Anzahl N der Messungen
Fig. 5. Relationship between coefficient of correlation and number of measurements

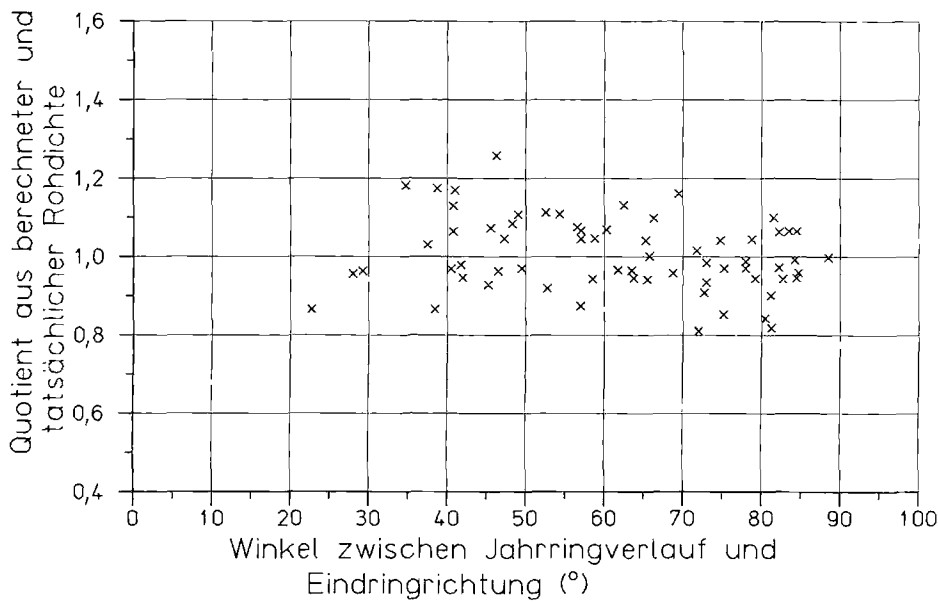


Bild 6. Einfluß des Winkels zwischen Jahrringverlauf und Eindringrichtung auf den Quotienten aus berechneter [nach Gl. (5)] und tatsächlicher Rohdichte
Fig. 6. Effect of angle between annual rings and direction of penetration on the quotient of calculated (Eq. 5) and actual density

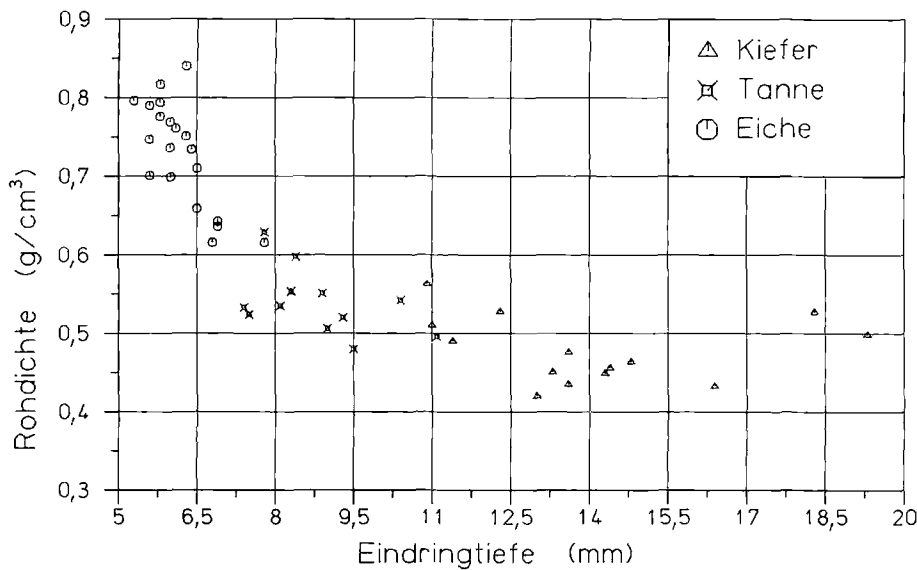


Bild 7. Zusammenhang zwischen Rohdichte und Eindringtiefe. Messungen an Eiche, Kiefer und Tanne aus dem 18. Jahrhundert
Fig. 7. Relationship between density and Pilodyn 6J penetrations. Oak, pine and fir from the 18th century

5.4 Einfluß der Holzfeuchte

Die Festigkeitseigenschaften des Holzes hängen in der Regel von der Holzfeuchte ab. Der Eindringwiderstand, der ein Maß für die Holzqualität darstellt, wird daher ebenfalls durch die Holzfeuchte beeinflusst werden. An 15 Brettabschnitten (Abschn. 5.1) mit Normalrohddichten zwischen 0,38 und 0,59 g/cm³ wurde die Abhängigkeit der Eindringtiefe von der Holzfeuchte ermittelt. Zunächst wurden je 16 Pilodyn-Messungen an den im Normalklima 20/65 gelagerten Proben vorgenommen. Die gemessenen Holzfeuchten nach DIN 52183 lagen zwischen 11,5 und 12,2%. Weitere Pilodyn-Messungen wurden an den gleichen Proben durchgeführt, nachdem diese durch Lagerung im entsprechenden Klima mittlere Holzfeuchten von ca. 16% bzw. 21% erreicht hatten.

Der Korrelationskoeffizient der Regressionsgeraden für die Rohdichte in Abhängigkeit von der Eindringtiefe beträgt 0,92 und steigt bei Berücksichtigung der Holzfeuchte auf 0,95. Die zugehörige Gleichung lautet:

$$\rho_N = -0,032 \cdot t_P(1 - 0,0073 \cdot \Delta u) + 0,856$$

mit

ρ_N = Normalrohddichte in g/cm³

t_P = Eindringtiefe in mm

$\Delta u = u - 12\%$ = Abweichung der vorhandenen Holzfeuchte u von der als Bezugsgröße gewählten Holzfeuchte 12%.

Das bedeutet, daß die gemessenen Eindringtiefen je nach vorhandener Holzfeuchte mit einem Korrekturfaktor von $(1 - 0,0073 \cdot \Delta u)$ zu multiplizieren sind. Die weitere Auswertung kann dann z. B. nach Gl. (5) vorgenommen werden. Je nach Genauigkeitsanforderungen kann auf die Korrektur verzichtet werden, die Holzfeuchte sollte jedoch immer bestimmt werden (z. B. mit einem elektrischen Holzfeuchtemeßgerät).

5.5 Erste Ergebnisse an altem Konstruktionsholz

Erste orientierende Messungen mit dem Pilodyn-Meßgerät wurden an altem Holz durchgeführt. Hierbei handelt es sich um Holz (Eiche, Kiefer, Tanne) aus drei Gebäuden aus dem 18. Jahrhundert. Die Ergebnisse sind in Bild 7 dargestellt.

Eine weitergehende Wertung der Ergebnisse kann jedoch erst gegeben werden, wenn der Stichprobenumfang erheblich größer geworden ist. Ebenso müssen in der nächsten Zeit Versuche an altem Konstruktionsholz, das bereits durch Pilz- oder Insektenbefall geschädigt ist und somit niedrigere Festigkeiten aufweist, durchgeführt werden, um daraus aussagekräftige Korrelationen zwischen Eindringtiefe und Restfestigkeiten zu erhalten.

6 Schlußfolgerungen und Ausblicke

Da die Festigkeitseigenschaften des Holzes neben einigen weiteren Parametern sehr stark von der Rohdichte abhängen, erscheint eine Einordnung des Holzes in Rohdichteklassen sinnvoll, um dann, unter Berücksichtigung weiterer Eigenschaften (wie z. B. Ästigkeit, Elastizitätsmodul) eine Eingruppierung in Festigkeitsklassen zu erleichtern. So unterteilt DIN 4074, Gütebedingungen für Bauschnittholz (1958), entsprechend der vorgesehenen Nutzung zwar in drei Güteklassen, fordert aber nur für die Güteklasse I eine Mindestrohndichte. Höhere Anforderungen an die Rohdichte als Voraussetzung für eine Einordnung des Bauholzes in höhere Festigkeitsklassen sind aber notwendig. Nach der Rohdichte lassen sich außerdem die Druck- und Zugfestigkeit des Holzes rechtwinklig zur Faserrichtung wesentlich besser abschätzen als nach allen anderen bisherigen Sortierkriterien, die meist visueller Art sind. Auch die Tragfähigkeit mechanischer Verbindungsmittel wird entscheidend von der Rohdichte der verbundenen Hölzer geprägt.

Bei bereits verbauten Hölzern (also auch bei sog. „altem“ Holz) ist auch aus wirtschaftlicher Sicht ein höherer Aufwand bei der Überprüfung der Festigkeitseigenschaften vertretbar, da sich die Prüfungen auf die hochbeanspruchten Teile beschränken lassen. Es sind auch „untere“ Festigkeitsklassen sinnvoll, da es dadurch möglich wird, durch pilz- oder insektenbefallenes und somit teilweise geschädigtes Konstruktionsholz in weniger beanspruchten Bauteilen zu erhalten.

Mit dem vorgestellten Holzprüfgerät Pilodyn 6J ist es möglich, die Rohdichte des Holzes abzuschätzen. Für eine Einordnung von Konstruktionshölzern in Rohdichteklassen wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen: 1. Festlegung der Meßpunkte und einer für dieses Bauteil geforderten Mindestrohndichte; 2. Durchführung von zunächst mindestens zwei Pilodyn-Messungen je Meßpunkt; 3. Berechnung eines gewählten Fraktilwertes (z. B. 5%-Fraktile) nach Gl. (5) und Gl. (7) unter Berücksichtigung der Mittelwertbildung aus N Messungen und der Holzfeuchte; 4. Vergleich mit der geforderten Mindestrohndichte.

Erfüllt das Bauteil die geforderte Mindestrohndichte, sind keine weiteren Messungen nötig. Andernfalls kann es durch weitere Messungen und entsprechende Auswertung noch gelingen, die gewünschte Mindestrohndichte nachzuweisen. In der Regel kann davon ausgegangen werden, daß nach 8 bis 10 Messungen sich kaum noch Änderungen der berechneten Rohdichte ergeben.

Die Auswertung kann mit einem programmierbaren Taschenrechner unmittelbar nach jeder Messung erfolgen. Ein Programm, das nach jeder Meßwerteingabe die Mittelwertbildung und die Auswertung unter Berücksichtigung der Anzahl der Messungen und der Holzfeuchte durchführt, wurde entwickelt.

Festlegungen von Rohdichteklassen mit zugehörigen Festigkeitswerten können bisher nur im Einzelfall durch erfahrene Fachleute in Absprache mit den Baubehörden erfolgen. Es wird eine Aufgabe des Teilprojekts „Trag- und Verformungsverhalten alten Konstruktionsholzes“ im Sonderforschungsbereich 315 sein, aus weiteren Festigkeitsuntersuchungen geeignete Beurteilungskriterien für die Praxis aufzustellen.

7 Literatur

- Cheliak, W.M.; Yeatman, C.W.; Knepeck, I.D. 1984: Temperature effects on Pilodyn pin penetration. *Canad. Forest. Serv.* 4:21-23
- Cown, D.J. 1978: Comparison of the Pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees. *New Zealand J. Forest. Sci.* 8:384-391
- Cown, D.J. 1982: Use of the Pilodyn wood tester for estimating wood density in standing trees – influence of site and tree age. *Forest Res. Inst. New Zealand, No. 13* (1982)
- Gough, G.; Barnes, R.D. 1984: A comparison of three methods of wood density assessment in a *pinus elliottii* progeny test. *South Afric. Forest. J.* 128:22-25
- Hoffmeyer, P. 1978: The Pilodyn instrument as a nondestructive tester of the shock resistance of wood. 4th Nondestructive Testing of Wood Symposium 1978
- Hoffmeyer, P. 1981: Improving the efficiency of visual stress grading by means of the Pilodyn wood tester. IUFRO World Conference, Kyoto, Japan 1981
- Lewark, S.; Giefing, D. 1983: Erste Erfahrungen bei der Rohdichtebestimmung mit dem Pilodyn-Holzprüfgerät an Buche und Fichte. *Forst- u. Holzw.* 38:517-521
- Lewark, S. 1985: Korrekturfaktoren für Meßwerte eines Pilodyn-Holzprüfgerätes aus verschiedenen Monaten. *Holz Roh-Werkstoff* 40:148
- Madsen, T.L. 1980: The efficiency of visual and mechanical stress grading of norway spruce timber, and the possibilities of improving the methods by means of the Pilodyn instrument or additional annual ring width limits. IUFRO Division 5 Conference, Oxford 1980
- Micko, M.M.; Wang, E.I.C.; Taylor, F.W.; Yanchuk, A.D. 1981: Determination of wood density in standing white spruce using Pilodyn tester. *Forest. Chron.* 58:178-180
- Setliff, E.; Byrne, A.; Nicol-Smith, C. 1983: Decay assessment in douglas-fir stave tanks with comments on structural effects. *Forintek Canada Corp.* (1983)
- Smith, S.M.; Morrell, J.J. 1986: Correcting Pilodyn measurement of douglas-fir for different moisture levels. *Forest Prod. J.* 36:45-46
- Steck, G.; Görlacher, R. 1987: Methoden der zerstörungsfreien und zerstörungssarmen Prüfung von Bauholz – eine Literatúrauswertung. *Jahrbuch des SFB 315* (1986). Berlin: Ernst u. Sohn
- Sprague, J.R.; Talbert, J.T.; Jett, J.B.; Bryant, R.L. 1983: Utility of the Pilodyn in selection for mature wood specific gravity in loblolly pine. *Forest Sci.* 29:696-701