

Eine geeignete Methode, die Festigkeit von verbaumem Holz zu bestimmen, ohne dessen Lage zu verändern, ist das Bohrkernverfahren.

Festigkeit von Altholz

Dr.-Ing. Wolfgang Rug, Dipl.-Ing. Axel Seemann, Bauakademie der DDR, Berlin

1 Problemstellung

Die Erhaltung der vorhandenen Bausubstanz erfordert eine regelmäßige Einschätzung des Bauzustandes. In der DDR wird diese Begutachtung in Abhängigkeit von der Bedeutung der Bauwerke in bestimmten Abständen durch den Gesetzgeber gefordert. Viele Nutzer übertragen zunehmend Baufachleuten die Aufgabe, im Rahmen einer fundierten Bauzustandseinschätzung Maßnahmen für eine effiziente Weiternutzung ihrer Bauwerke festzulegen. Die Bauzustandsanalyse erfolgt nach einer Methodik, die vier Arbeitsschritte umfaßt (siehe auch [1]).

In der Phase der Bewertung des Bauzustandes sind vom verantwortlichen Ingenieur oder Architekten Aussagen über die vorhandene Tragfähigkeit und Standsicherheit zu treffen. Hierfür benötigt er zuverlässige Aussagen über die aktuelle Festigkeit des Holzes und der Verbindungen.

Die Ermittlung von Aussagen zur Festigkeit ist im allgemeinen am verbaumten Holz durchzuführen und unterliegt damit einer Reihe von Restriktionen, die bei der Auswahl geeigneter Methoden zur Festigkeitsbestimmung beachtet werden müssen.

Die Beurteilung der Tragfähigkeit der Verbindungen ist noch diffiziler und erfordert spezielle Kenntnisse und Erfahrungen über die historische Entwicklung der Konstruktionsprinzipien im Holzbau und der hierfür charakteristischen Verbindungen sowie möglicher Bauschäden.

Die Holzbauforschung in der DDR führt gegenwärtig zu dieser Problematik grundlegende Arbeiten durch.

Die Autoren konzentrierten sich in ihren Untersuchungen auf das Teilgebiet der Festigkeitsbestimmung, besonders der Ermittlung der Druckfestigkeit parallel zur Faser von Neu- und Altholz an Bohrkernen (σ_{BK}) und den Vergleich zur Druckfestigkeit, ermittelt an den bisher für Festigkeitsuntersuchungen üblichen Normproben (σ_{NP}) nach [2]. Die in [11] veröffentlichten ersten Erkenntnisse wurden durch zahlreiche neue Untersuchungen weiter vertieft.

Auf der Grundlage einer gründlichen Analyse des gegenwärtigen Entwicklungsstandes auf dem Gebiet zerstörungsfreier und zerstörungsarmer Prüfmethode entschieden sich die Autoren für die Anwendung des Bohrkernverfahrens. Die einfache praktische Handhabung des Verfahrens ist mit einem relativ geringen geräte-technischen Aufwand verbunden. Neben der Bestimmung der Festigkeit können weitere Eigenschaften auf direktem Wege bestimmt werden (z. B. die Rohdichte, die Holzfeuchte nach [2], der pH-Wert, der Nachweis aggressiver Medien und die Biegefestigkeit nach dem Dynstatverfahren nach [13]). Die bei der Entnahme von Bohrkernen entstehenden Bohrlöcher können sofort wieder verschlossen werden. Trotz dieser positiven Eigenschaften wurde das Verfahren bisher nur selten zur Festigkeitsbestimmung eingesetzt [3], [4], [9] und [11].

2 Versuche

2.1 Eignungsversuche zum Bohrkernverfahren

Erste Untersuchungen beinhalten

- die Festlegung der Geometrie von Bohrkernen,
- die Entwicklung einer geeigneten Prüfvorrichtung sowie die Anzahl der Proben.

Der Bohrkerndurchmesser sollte so gewählt werden, daß eine möglichst geringe Querschnittsschwächung eintritt. Andererseits mußte durch eine ausreichende Größe eine annähernd gleiche Holzstruktur wie bei den Normproben garantiert werden. Bohrkern mit einem Durchmesser von 15 mm und einer Länge zwischen 25 und 40 mm erwiesen sich als gut geeignet. Versuche an Bohrkernen mit 10 mm Durchmesser zeigten ähnliche Ergebnisse, aber besonders bei Holz mit geringer Rohdichte tritt nicht immer ein signifikanter Bruch auf. Die erprobte Prüfvorrichtung zeigt **Bild 1**. Die Probenanzahl wurde in Anlehnung an die in [2] geforderte Mindestprobenanzahl mit 25 pro Serie festgelegt.

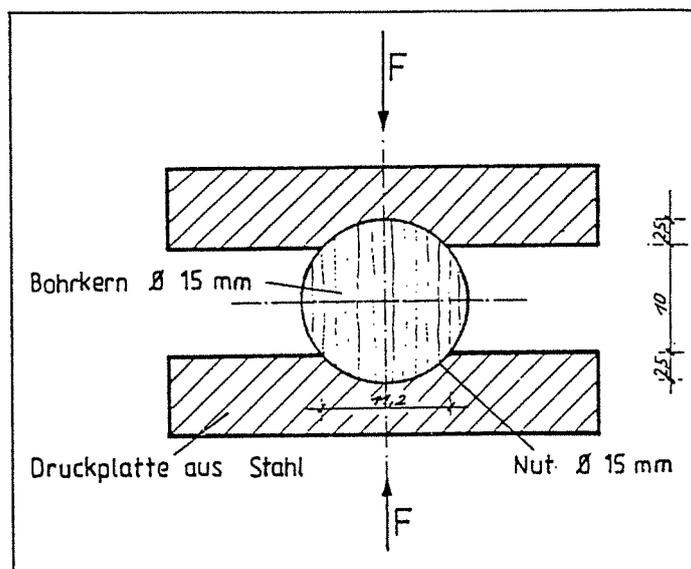


Bild 1: Prinzip der Prüfung von Bohrkernen aus Holz

2.2 Versuchsdurchführung

Sämtliche Proben wurden unter Normklima (25° C, 65 % relative Luftfeuchtigkeit) klimatisiert, so daß die Holzfeuchte bei allen Proben 12 % betrug.

Die Bohrkern und Normproben entnehmen die Autoren unmittelbar an nebeneinander befindlichen Holzscheiben.

Die Prüfungen erfolgten an einer Zug-Druck-Prüfmaschine ZD 20. Bestimmt wurde die Bruchlast. Bei einer großen Anzahl von Proben wurde auch das Last-Verformungs-Diagramm mitgeschrieben.

Vor der Festigkeitsprüfung wurde von jeder Probe die Rohdichte nach [2] ermittelt. Die Dokumentation und Auswertung erfolgte computergestützt.

Die Versuche sind zunächst mit neuem Holz (Eiche, Buche, Fichte) durchgeführt worden. Die anschließend geprüften Altholzproben entnahmen die Verfasser Kanthölzern aus Baukonstruktionen mit einem Alter zwischen 60 und 200 Jahren.

3 Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse entstammen insgesamt 23 Versuchsserien an Bohrkernen (Durchmesser 15 mm) und Normproben

(20×20×30 mm). Insgesamt wurden 1324 Einzelversuche durchgeführt. Alle Ergebnisse faßt **Tabelle 1** zusammen.

3.1 Versuche an Neuholz

Die Versuche an drei Serien (Eichen-, Buchen- und Fichtenholz) zeigten, daß auch bei Bohrkernen ein deutlich erkennbarer Bruch auftritt. Es entsteht ein Bruchbild, das dem der Normproben gleicht. Einige typische Beispiele zeigen **Bild 2 und 3** (siehe auch [3] und [7]).

Vergleicht man die Mittelwerte der Festigkeitswerte, ermittelt an Bohrkernen, mit den Werten, die an Normproben ermittelt wurden, so liegt das Verhältnis σ_{BK}/σ_{NP} bei 1,18 (Eiche), 1,01 (Buche), 1,25 (Fichte). Die Streuungen betragen 8 % (Eiche), 15 % (Buche), 12 % (Fichte).

Analoge Verhältnisse erhält man auch für die Rohdichte (ρ_{BK} ; ρ_{NP}) der untersuchten Hölzer. Ein Vergleich der 5%-Fraktile ergibt annähernd gleiche Ergebnisse. Für alle drei Holzarten liegt der durchschnittliche Verhältniswert bei 1,1.

Ver-suchs-reihe	Serie	Holzart	Alter in Jahren	n	σ_{BK} (N/mm ²)	ρ_{BK} (KN/m ³)	n	σ_{NP} (N/mm ²)	ρ_{NP} (KN/m ³)	σ_{BK}/σ_{NP}	ρ_{BK}/ρ_{NP}
I	1	Eiche	neu	25	49,92	6,80	25	42,43	6,17	1,18	1,10
	2	Buche	neu	25	58,88	6,94	25	58,12	7,33	1,01	0,95
	3	Fichte	neu	25	31,1	3,94	25	24,87	3,48	1,25	1,13
	4	Kiefer	60	48	50,55	4,35	17	44,32	4,49	1,14	0,97
	5	Kiefer	60	25	49,84	5,42	25	46,23	5,22	1,08	1,04
	6	Kiefer	70	43	43,96	5,16	25	39,68	5,10	1,11	1,01
	7	Kiefer	70	54	60,56	6,26	132	62,04	6,18	0,98	1,01
	8	Kiefer	70	28	53,47	4,24	27	49,03	4,24	1,09	1,00
II	9	Kiefer	140	16	60,89	5,82	25	60,59	5,42	1,00	1,07
	10	Kiefer	140	25	51,11	5,06	25	50,87	5,01	1,00	1,01
	11	Kiefer	208	35	43,13	4,74	50	43,28	4,36	1,00	1,09
	12	Fichte	138	22	46,53	4,37	36	40,48	4,075	1,14	1,07
	13	Eiche	138	20	55,3	6,68	21	53,80	6,50	1,03	1,03
	14	Eiche	140	32	54,85	7,1	50	54,40	6,06	1,01	1,17
III	15	Kiefer	60	25	56,8	6,65	20	50,56	6,04	1,12	1,10
	16	Kiefer	60	25	50,61	5,26	20	49,45	5,05	1,02	1,04
	17	Kiefer	60	25	50,45	5,26	20	47,65	5,58	1,06	0,94
	18	Kiefer	60	25	46,09	5,37	20	54,01	5,19	0,85	1,04
	19	Kiefer	60	25	50,95	4,96	20	48,00	4,76	1,05	1,04
	20	Kiefer	60	25	54,1	5,5	20	54,87	5,33	0,99	1,03
	21	Kiefer	60	25	50,2	5,61	20	51,60	5,30	0,97	1,06
	22	Kiefer	60	25	48,13	5,71	20	54,37	5,37	0,89	1,06
	23	Kiefer	60	23	50,57	5,30	20	61,74	5,24	0,82	1,01

Tabelle 1: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

3.2 Versuche an Altholz

a) Kiefernholz

Untersucht wurden elf Serien Kiefernholzproben, die aus Bauwerken mit 60 Jahren Standzeit stammen. Hier liegen die Verhältniszahlen der Festigkeitswerte (σ_{BK}/σ_{NP}) zwischen 0,82 und 1,12 und der Rohdichten (ρ_{BK}/ρ_{NP}) zwischen 0,94 und 1,10 (Serien 4, 5 und 15 bis 23 – gemäß Tabelle 1), so daß auch für Altholz die gleichen Ergebnisse wie für Neuholz festgestellt wurden. Auch die drei Serien mit 70 Jahre altem Bauholz und die drei Serien mit 140 bzw. 200 Jahren Standzeit zeigten analoge Ergebnisse.

b) Fichtenholz

Fichtenholz mit einem Alter von rund 140 Jahren zeigte ähnliche Verhältniswerte (1,14 bzw. 1,07) für die Festigkeit und Rohdichte.

c) Eichenholz

Geprüft wurden zwei Serien mit einem Alter von rund 140 Jahren mit Verhältniswerten von:

$$\sigma_{BK}/\sigma_{NP} = 1,03$$

$$\rho_{BK}/\rho_{NP} = 1,01$$

Die Festigkeitswerte liegen im Bereich der Werte für Neuholz (Eiche = 52, Buche = 60, Fichte = 40, Kiefer = 45 N/mm² nach [12]).

3.3 Ergebnis einer Regressionsanalyse

Die lineare Regressionsanalyse nach [8] und [10] wurde für die Mittelwerte der Festigkeit und Rohdichte durchgeführt. **Bild 4** zeigt die Korrelation zwischen den Druckfestigkeiten in Abhängigkeit von der Anzahl der Versuchsserien.

Das Verhältnis der Festigkeit der Bohrkern zur Festigkeit der Normproben nähert sich mit zunehmender Serienanzahl dem Wert von $1/0,97 = 1,03$ (siehe **Bild 5**). Die einfache Umrechnungsformel $\sigma_{BK} = 1,03 \sigma_{NP}$ (1) liegt im Vertrauensbereich von 95 % (**Bild 4**).

Für die Kiefernholzproben aus 60 bis 200 Jahre alten Bauteilen erhält man die folgende Abhängigkeit der Festigkeit der Bohrkern bzw. der Normproben von der Rohdichte (siehe **Bild 6**):

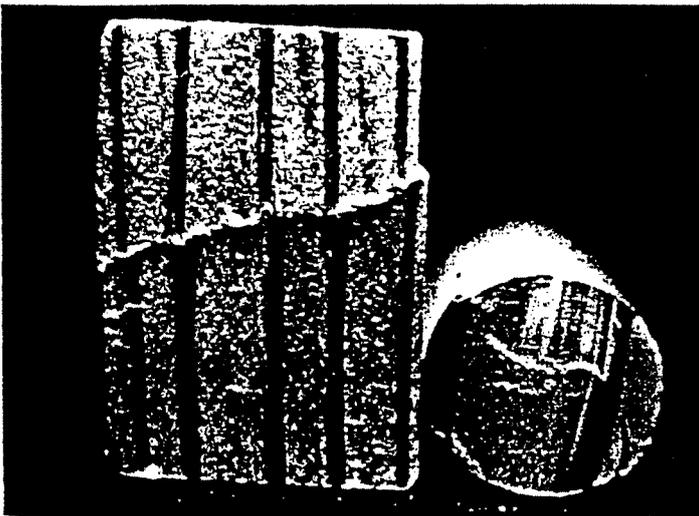


Bild 2: Bruch durch Bildung einer Gleitebene – Kiefernholz, Versuchsreihe III, Alter 60 Jahre

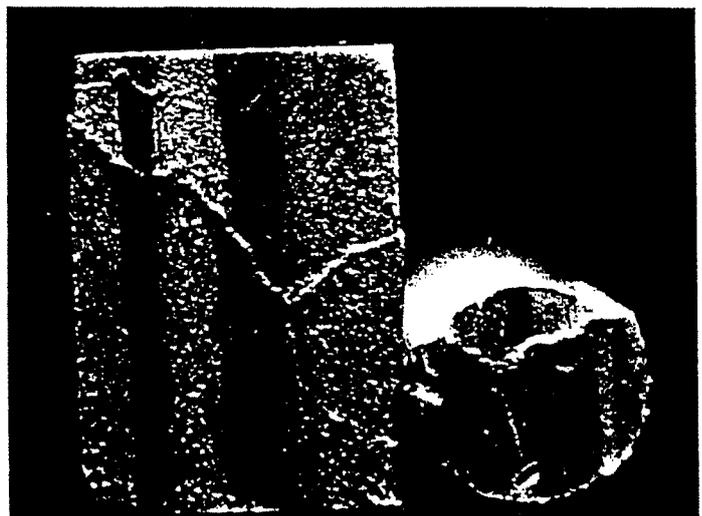


Bild 3: Bildung zweier Gleitebenen, die zur Spaltung der Probekörper führen – Kiefernholz, Versuchsreihe III, Alter 60 Jahre

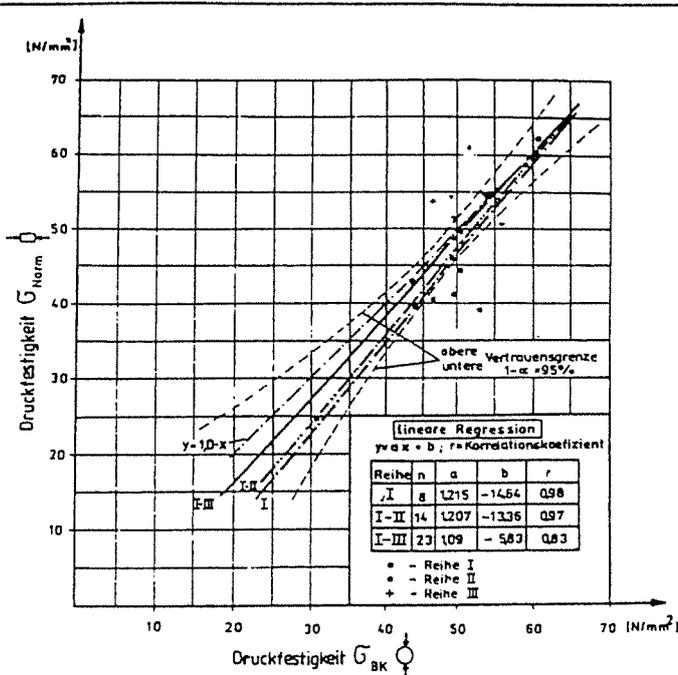


Bild 4: Gegenüberstellung der Druckfestigkeit der Bohrkerne mit der Druckfestigkeit von Normproben

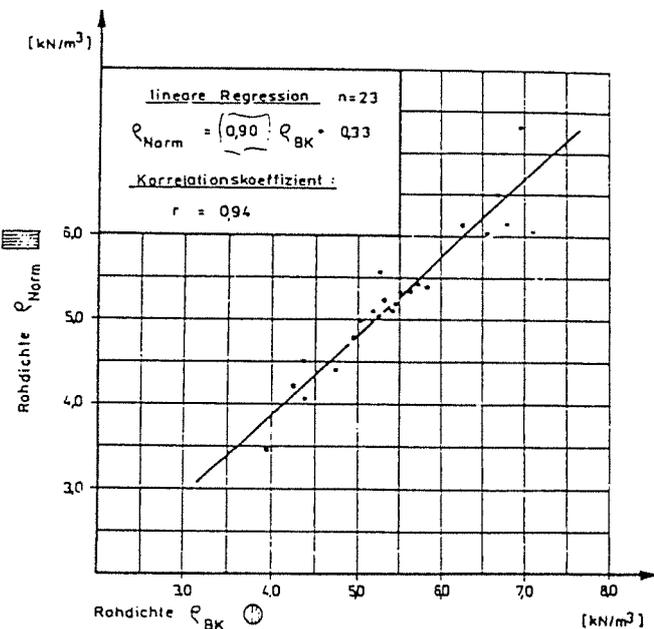


Bild 6: Vergleich der Rohdichte der Bohrkerne mit der Rohdichte der Normproben

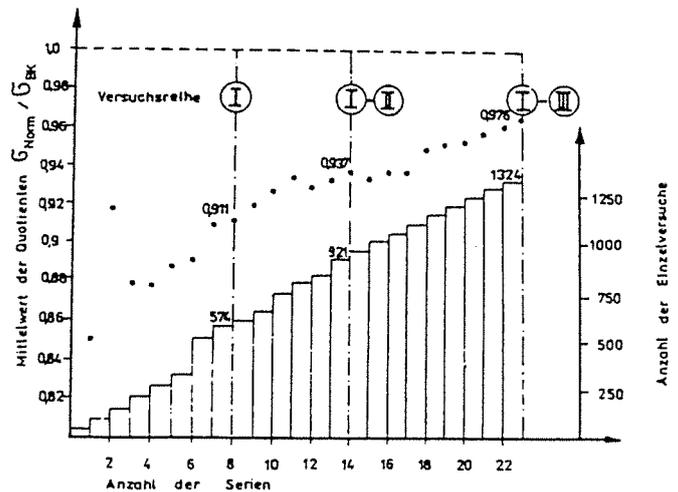


Bild 5: Der Quotient $\sigma_{Norm}/\sigma_{BK}$ in Abhängigkeit von der Anzahl der Versuchsserien

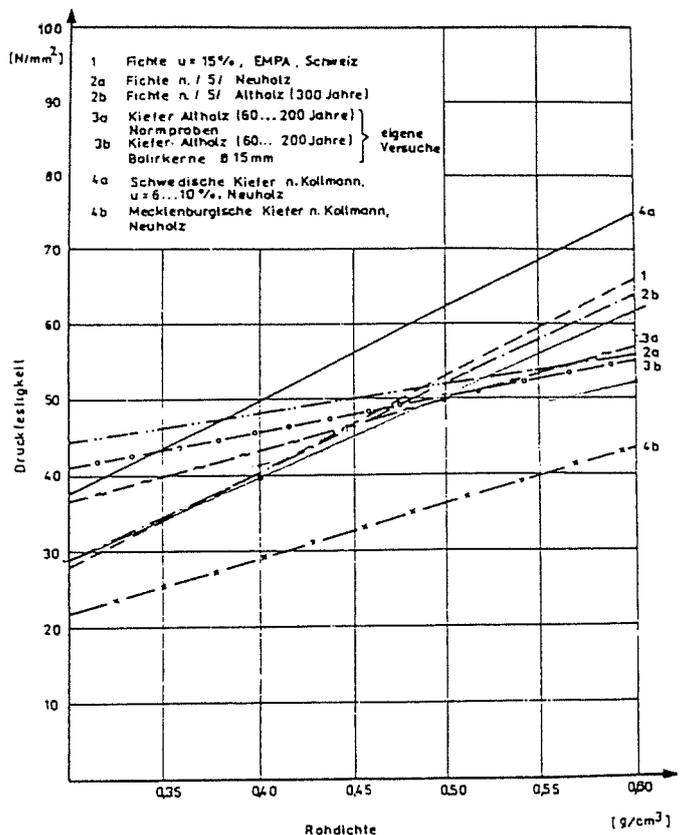


Bild 7: Druckfestigkeit parallel zur Faser in Abhängigkeit von der Rohdichte für Neuholz und Altholz

$$\sigma_{BK} = 4,12 \cdot \rho_{BK} + 29,21 \quad (r = 0,51) \quad (2)$$

$$\sigma_{NP} = 6,66 \cdot \rho_{NP} + 16,65 \quad (r = 0,54) \quad (3)$$

Die Rohdichte der Normproben erhält man aus der Rohdichte der Bohrkerne mit der Gleichung

$$\rho_{NP} = 0,9 \cdot \rho_{BK} + 0,33 \quad (r = 0,94) \quad (4)$$

Innerhalb des 95%-Vertrauensbereiches genügt die einfache Formel (siehe Bild 6)

$$\rho_{NP} = 0,9 \cdot \rho_{BK} \quad (5)$$

Die Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Rohdichte zeigt

keine Unterschiede für Altholz im Vergleich zum Neuholz (siehe Bild 7).

Ein Abfall der Festigkeit von langjährig beanspruchtem Holz, wie er bisher für fehlerfreies Holz angenommen wurde, konnte nicht festgestellt werden.

Um den Einfluß der Rohdichte auf die Regressionsgerade (nach Bild 4) zu erfassen, wurden die Quotienten $\rho_{BK}/\rho_{NP} = \sigma_{BK}/\sigma_{NP}$ in ein Diagramm eingetragen (siehe Bild 8). Außerdem wurden die Häufigkeits- und Normalverteilungen der Quotienten berechnet. Im Falle einer direkten Beeinflussung der Festigkeitsverhältnisse durch die Quotienten müßte der Anstieg der Geraden etwa 1,0 sein. Die berechnete Regressionsgerade lautet aber statt dessen:

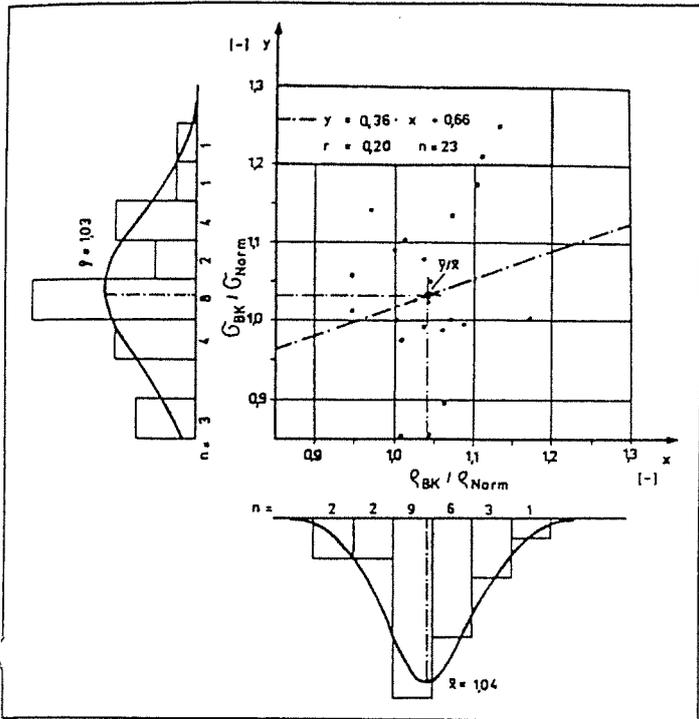


Bild 8: Lineare Regression, Häufigkeits- und Normalverteilung der Quotienten $\sigma_{BK}/\sigma_{Norm}$ und ρ_{BK}/ρ_{Norm}

$$\sigma_{BK}/\sigma_{NP} = 0,36 \cdot \rho_{BK}/\rho_{NP} + 0,66 \quad (r = 0,20) \quad (6)$$

Diese Gerade weicht doch beträchtlich von der Idealgeraden ab. Damit kann die etwas höhere Festigkeit der Bohrkern nicht vollständig durch die ebenfalls höhere ermittelte Rohdichte erklärt werden.

4 Zusammenfassung und Ergebnisse

Die hohe lineare Bestimmbarkeit der Druckfestigkeit der Normproben durch die Festigkeit von Bohrkernen mit 15 mm Durchmesser belegt die gute Eignung des Bohrkernverfahrens zur Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser.

Das Bohrkernverfahren ist somit gut geeignet, die Festigkeit von verbautem Holz »in situ« zu bestimmen.

Mit Bohrkernen lassen sich eine Reihe von weiteren Untersuchungen durchführen. Ein erwarteter Festigkeitsabfall konnte bei Holz nicht beobachtet werden. Die hohe Korrelation zwischen der Rohdichte und der Festigkeit gestattet eine quantitative Aussage zur Festigkeit durch die Anwendung zerstörungsfreier Verfahren zur Messung der Rohdichte.

Künftige Untersuchungen konzentrieren sich auf folgende Schwerpunkte:

- Aufbau einer Datenbank über alle Untersuchungen zur Festigkeit von Altholz,
- Korrelation zu anderen Festigkeiten, ermittelt an fehlerfreien Normproben,
- Festlegung von Teilsicherheitsfaktoren für die Berechnung von Altholzkonstruktionen.

Literatur

- [1] Rug, W.; Krüger, K.; Erhaltung alter Holztragwerke; bauen mit holz, Karlsruhe 91 (1989) 9, S. 610-616
- [2] DDR-Norm TGL 25 106/01 - Prüfung von Holz, 1979
- [3] Seemann, Axel; Durchführung von Versuchen zur Feststellung der Tragfähigkeit von eingebautem Bauholz und Auswertung der dazu vorhandenen Literatur, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Dipl.-Arbeit 1988
- [4] Steller, S.; Lexa, J. Zur Problematik der Lebensdauer von Holz und Holzwerkstoffen, Holztechnologie - Leipzig 27 (1986) 6, S. 303-305
- [5] Schulz, H., u. a. Eigenschaften eines Fichtenbalkens aus altem Dachstuhl, Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin (W) 42 (1984), S. 109
- [6] Reinke, L. H.; Davis, C. N. A Hand Instrument for Evaluating Wood by Compression; Forest Prod. J. 16 (1966) 5, S. 15-18
- [7] Rug, W.; Kreißig, W. Die Weiterentwicklung des Ingenieurholzbaues in der DDR; bauen mit holz, Karlsruhe 90 (1988) 11, S. 758-766
- [8] Storm, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statische Qualitätskontrolle; Leipzig 1979
- [9] Schweer, H.; Volk, U. Bauzustandsuntersuchung durch Endoskopie, Thermographie und Bohrkernentnahme; bauen mit holz, Karlsruhe 88 (1986) 3, S. 142-144
- [10] John, B. Statistische Verfahren für Technische Meßreihen, Carl Hanser Verlag München, Wien 1979
- [11] Schwab, E.; Willeitner, H. Bohrkern zur Beurteilung der Festigkeit hölzerner Ramm-pfähle; bauen mit holz, Karlsruhe 84 (1982) 9, S. 566-570
- [12] Halasz, R.; Scheer, C. Holzbautaschenbuch, Band 1 Berlin (W) 1986, Verlag Ernst & Sohn, S. 16
- [13] DDR-Norm: TGL O - 51222; Dynstatverfahren

DICAM kommt von Dietrich's und hält was es verspricht!

» Wo **DICAM** steht, übernimmt der Computer Ihre Fertigung. Natürlich wird dieses spezielle **Holzbaue-Computer-Programm** auf die Bedürfnisse und Maschinen Ihres Holzbaue-Betriebes abgestimmt. Informieren Sie sich! «

DICAM

Dietrich's Holzbaue:
EDV-Programme GmbH
Lindenallee 7
8014 Neubiberg
Tel. (0 89) 60 60 78
FAX (0 89) 6 01 38 51