

HOLZPRODUKTE IM KONSTRUKTIVEN EINSATZ

VON KARL ENTACHER,
SEBASTIAN KNOFLACH
UND JOHANN SCHEIBENREITER

CHARAKTERISTISCHE FESTIGKEITEN

Holzprodukte für den konstruktiven Einsatz müssen Sicherheitskriterien erfüllen – je nachdem, für welchen Zweck sie eingesetzt werden. Der Konsument muss sich auf eine bestimmte Qualität des Produkts verlassen können: Das Holzprodukt muss so stabil, fest, tragfähig oder brandbeständig sein, wie in den festgelegten Richtlinien definiert. Deshalb muss der Hersteller seine Produkte ständig auf ihre Qualität prüfen und/oder von akkreditierten Überwachungsstellen prüfen lassen.

Charakteristische Festigkeiten sind in diesem Sinne zentrale Kenngrößen, um diese Holzprodukte zu bemessen oder zu klassifizieren. Ein charakteristischer Wert ist dabei als eine statistisch begründete Größe zu sehen, wie zum Beispiel ein Quantil oder der Erwartungswert („Mittelwert“) einer der jeweiligen Anwendung zu Grunde gelegte statistische Verteilung. Die Bestimmung dieser Größen ist – in Normen und Richtlinien – für verschiedene Anwendungen festgelegt.

Wie bereits von Fischer [1995, 1999, 2003] für diverse Normen des Bauwesens kritisch bemerkt, sind die Techniken der Quantilbestimmung innerhalb der Normen sehr inhomogen. Zudem sind die stochastischen¹ Zusammenhänge und Methoden in den Richtlinien vielfach fehlerhaft beschrieben. Diese Feststellung lässt sich auch für die Normen des konstruktiven Holzbaus bestätigen. Eine kriti-

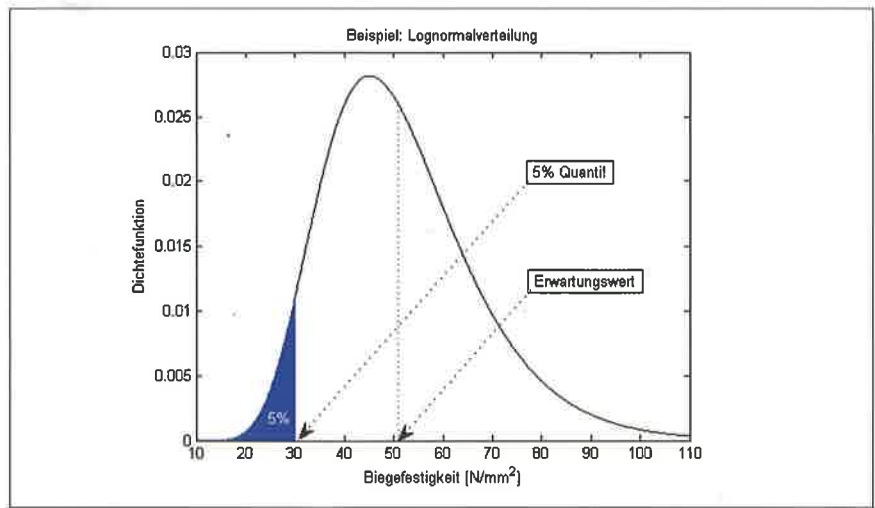


ABBILDUNG 1: DICHTEFUNKTION DER LOGNORMALVERTEILUNG UND CHARAKTERISTISCHE WERTE DER VERTEILUNG

sche Betrachtung der Bestimmung von charakteristischen Festigkeiten im Holzbau findet sich etwa in der Dissertation von Stöffler [2003].

Fischer [1999] fordert, dass die in den verschiedenen Normen angeführten Bestimmungsmethoden für charakteristische Festigkeiten einheitlich überarbeitet und auf ein modernes statistisches Fundament gestellt werden sollen. Die großen Datenbestände von Prüf- und Überwachungsstellen, wie der Holzforschung Austria (HFA), bilden für dieses Vorhaben eine wichtige Basis. Diese Daten ermöglichen eine kritische Analyse der Methoden und bilden dadurch eine wichtige Grundlage zur Untermauerung eventueller Aktualisierungsvorschläge.

Der folgende Artikel bietet eine kurze Einführung in diese Problematik. Mittels Daten von Keilzinkenbiegeprüfungen wird die Qualität verschiedener Schätzverfahren verglichen und diskutiert.

Charakteristische Festigkeiten

Der Begriff charakteristische Festigkeit leitet sich vom stochastischen Hintergrund aktueller Normen, Richtlinien oder Bemessungsgrundlagen im Ingenieurwesen ab. So werden Angaben über Güte oder Klassifizierung von Bauteilen durch stochastische Werte ausgedrückt. Man geht davon aus, dass sich das Verhalten bestimmter Prüfgrößen wie Zug- und Biegefestigkeiten, Elastizitätsmodul oder etwa Rohdichtewerte durch statistische Verteilungen beschreiben lässt. Charakteristische Werte dieser Verteilungen, wie der Erwartungswert oder Quantile, ermöglichen es, entsprechende Güteaussagen dieser Prüfgrößen zu definieren.

Nehmen wir als Beispiel an, dass, wie in der Önorm EN 385 dokumentiert, sich die Biegefestigkeiten von Keilzinkenver-

bindungen² mittels Lognormalverteilungen³ beschreiben lassen. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel einer Dichtefunktion dieser Verteilung. Wie man an der Grafik erkennen kann, ist die Lognormalverteilung im Gegensatz zur allgemein bekannten Normalverteilung nicht symmetrisch. Der Erwartungswert dieser Verteilung gibt in diesem Beispiel Auskunft über die mittlere Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindung. Das 5%-Quantil⁴ beschreibt jene untere Schranke, welche nur von 5% der Werte der Grundgesamtheit unterschritten wird. Dieses 5%-Quantil wird allgemein als die charakteristische Festigkeit bezeichnet und als Maß zur Klassifizierung von Holzprodukten im konstruktiven Einsatz verwendet.

Bestimmung des 5%-Quantils

Wie bestimmt man nun solche charakteristischen Festigkeiten? In der Praxis werden Festigkeitsdaten aus einer Stichprobe von Prüfkörpern ermittelt, Erfahrungsgemäß verhalten sich gewisse Festigkeitsprüfungen nach bestimmten Verteilungen, die charakteristischen Werte müssen aber im konkreten Fall aus der jeweiligen Stichprobe „geschätzt“ wer-

Lesen Sie weiter auf Seite 10

1 Stochastik ist die Vereinigung von Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, das heißt, die Wissenschaft, die es uns ermöglicht, vernünftige Entscheidungen trotz einer vorgegebenen Ungewissheit fällen zu können

2 Prüfverordnung nach Önorm EN 408:1995

3 Eine zufällige Größe heißt lognormalverteilt, wenn der Logarithmus dieser Größe einer Normalverteilung genügt

4 lat.: quantus? = wie groß? – quarta = der 4. Teil, das heißt, das 5%-Quantil (oft auch Perzentil oder Fraktil genannt) entspricht dem 5. Teil von 100

Fortsetzung von Seite 9

den. Dazu gibt es prinzipiell mehrere Vorgehensweisen: Eine Möglichkeit bietet das empirische 5%-Quantil, das heißt, eine Schätzung des Quantilwertes direkt aus der Stichprobe der jeweiligen Prüfung. Dazu werden die Festigkeitswerte der Proben sortiert und anschließend jener Schwellwert bestimmt, für welchen 5% der Daten unterhalb und 95% der Werte oberhalb liegen [Hartung et al. 2002]. Diese Berechnung kann etwa mit der MS-Excel Funktion „Quantil“ oder nach Önorm EN 384 durchgeführt werden. Das empirische 5%-Quantil bietet aber keinerlei Sicherheiten für die Güte der Quantil-Bestimmung. Man muss voraussetzen können, dass die Stichprobe und die Anzahl der Festigkeitswerte für die Grundgesamtheit repräsentativ sind. Noch dazu ist ein 5%-Quantil am Rand der Verteilung gelegen: Man kann davon ausgehen, dass in diesem Bereich wenige Daten vorliegen. Dadurch ist es sehr leicht möglich, dass mit dieser Methode die tatsächliche charakteristische Festigkeit der zu Grunde liegenden Grundgesamtheit unterbeziehungsweise überschätzt wird.

In der Wahrscheinlichkeitstheorie gibt es Schätzmethoden für unbekannte Parameter, die durch Angabe eines so genannten Vertrauensniveaus zusätzlich eine statistische Qualität für die Schätzung definieren. Für diese Methoden müssen aber meist gewisse Annahmen getroffen werden, wie die oben definierten Verteilungsannahmen für die Keilzinkenbiegeprüfung. Im Holzbau handelt es sich dabei vorwiegend um Normal- oder Lognormalverteilungen, die – sei es aus Erfahrungswerten oder auch durch mathematische Ableitungen – der entsprechenden Prüfung zu Grunde gelegt werden. Für diese beiden Verteilungstypen haben sich prinzipiell folgende Schätzmethoden in den Richtlinien und Normen verbreitet⁵: Bei einer Normalverteilungsannahme bestimmt man den Wert für das 5%-Quantil q_5 klassischerweise nach

$$q_5 = m - k_n \cdot s \quad (1)$$

und bei der Lognormalverteilung nach

$$q_5 = k_n \cdot m \quad (2),$$

wobei m den Mittelwert und s die Standardabweichung bezeichnen, welche aus einer Stichprobe $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ der Größe n berechnet werden. Die Konstanten k_n unterscheiden sich je nach Schätzmethode und Verteilungsannahme und sind durch die Parameter der Verteilung und dem gewünschten Vertrauensniveau bestimmt. Diese Konstanten können in den meisten Richtlinien und Normen aus Tabellen für die jeweilige

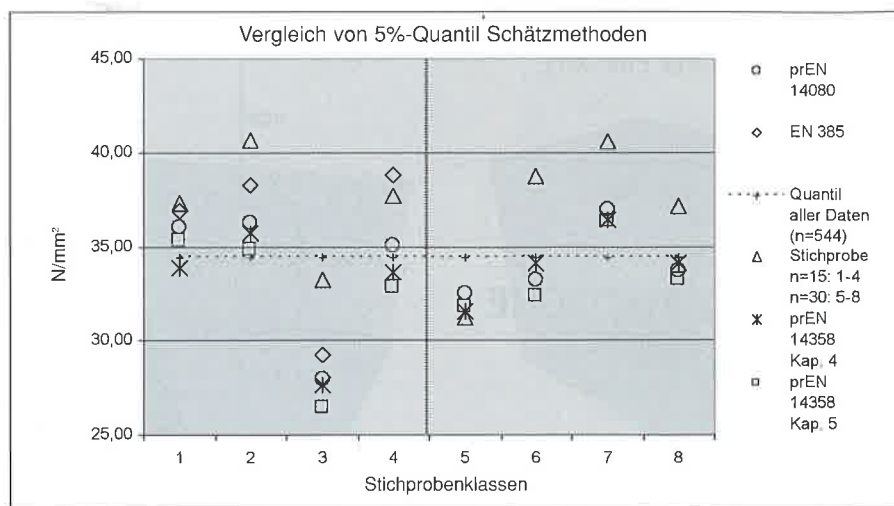


ABBILDUNG 2: VERGLEICH VERSCHIEDENER METHODEN ZUR BESTIMMUNG CHARAKTERISTISCHER BIEGEFESTIGKEITEN (5%-QUANTIL)

Stichprobengröße (bei Normalverteilung) und Stichprobengröße und Variationskoeffizienten (bei Lognormalverteilung) entnommen werden. Bei Lognormalverteilung wird auch oft folgende, statistisch nicht korrekte Methode [sh. Fischer, 2003], vorgeschlagen (prEN 14358): Man schätzt durch die logarithmierten Daten, die einer Normalverteilung entsprechen, das Quantil mit Methode (2) und transformiert anschließend diesen Wert mittels Exponentialfunktion.

Beispiel Keilzinkenbiegeprüfungen

In der Abbildung 2 ist ein Vergleich von verschiedenen Methoden der Schätzung der charakteristischen Biegefestigkeit von keilgezinkten BSH-Lamellen mit 15 mm Normprofil [Önorm EN 385] und Sortierklasse S10 [Önorm B 4100-2] dargestellt. Es handelt sich dabei insgesamt um 544 Festigkeitsdaten von verschiedenen Brettschichtholzherstellern. Verglichen wird das empirische 5%-Quantil aller Daten sowie empirische 5%-Quantile der einzelnen Stichproben [vgl. Önorm EN 384] und die Schätzmethoden⁶ aus prEN 14358 (Kapitel 4 und 5), prEN 14080 (entspricht der Methode aus Eurocode 5) und Önorm EN 385 (für Stichproben mit 15 Daten).

Die Daten für Abbildung 2 wurden von acht zufällig ausgewählten Herstellern (dies entspricht den acht Stichprobenklassen) beliebig aus der Gesamtheit ausgewählt. Die Klassen 1 bis 4 enthalten 15, die Klassen 5 bis 8 jeweils 30 Datensätze.

Auffallend ist die große Streubreite (>5 N/mm²) der einzelnen Schätzmethoden. Das Verfahren prEN 14358 Kap. 5 (Annahmekriterium für Stichproben) liefert fast generell die niedrigsten Schätzungen. Geht man davon aus, dass Keil-

zinkenverbindungen der Sortierklasse S10 mindestens 30 N/mm² [Önorm B 4100-2] charakteristische Festigkeit zu erfüllen haben, dann ist diese Methode nach prEN 14358 die strengste bezüglich einer Produktüberwachung. Auffallend ist auch, dass die Stichprobenquantile fast immer die größten Werte liefern, was sicherlich an der Methode und der kleinen Stichprobenanzahl liegt. Diese Verhaltensweisen zeigen sich auch für andere Normprofile und Festigkeitsklassen. Die Beispiele legen nahe, die einzelnen Methoden genauer zu vergleichen und auf eine gemeinsame moderne statistische Basis zu stellen.

Verteilungsproblematik

Eine wichtige Fragestellung haben wir bei den eben angeführten Beispielen außer Acht gelassen. Die Önorm EN 385 gibt an, dass der Keilzinkenbiegeprüfungen die Lognormalverteilung zu Grunde zu legen ist. Wie man aus den Grafiken (Abbildung 3 und 4) erkennen kann, zeigt sich aber oft folgender, offensichtlich nachvollziehbarer Sachverhalt:

Für niedrige Sortierklassen wie der Klasse S10 und MS10 kann die Lognormalverteilungs-Hypothese empirisch bestätigt werden. Für höhere Sortierklassen wie S13, MS13 und MS17 ist ein Modell der Normalverteilung eher angepasst. Dies bestätigte sich auch durch Analysen

⁵ Es sei darauf hingewiesen, dass es mitunter sehr schwierig ist, die Ursprungsquellen der entsprechenden Schätzmethoden (speziell für die Lognormalverteilung) zu eruieren, da in den Normen nicht immer relevante Quellen zitiert werden

⁶ Angabe des Vertrauensniveaus in beiden verwendeten Ausgaben mit 84,1%. Neuere Ausgaben von prEN 14358 verwenden ein Vertrauensniveau von 75%

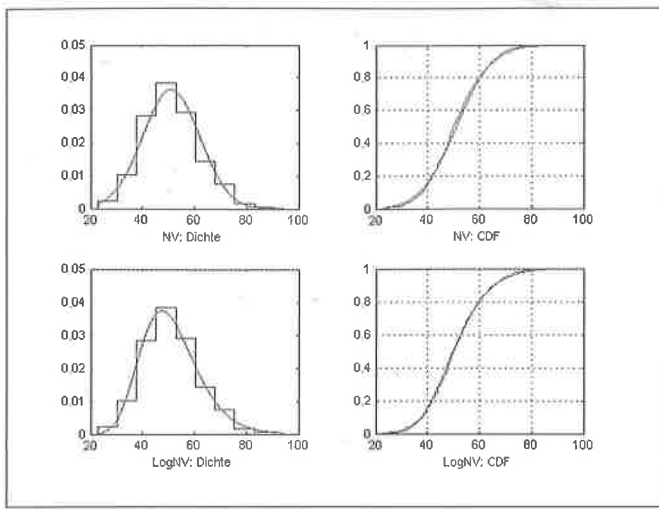


ABBILDUNG 3: VERTEILUNGSANPASSUNG DURCH NORMAL- (OBEN) UND LOGNORMALVERTEILUNGEN (UNTEN) FÜR SORTIERKLASSE S10

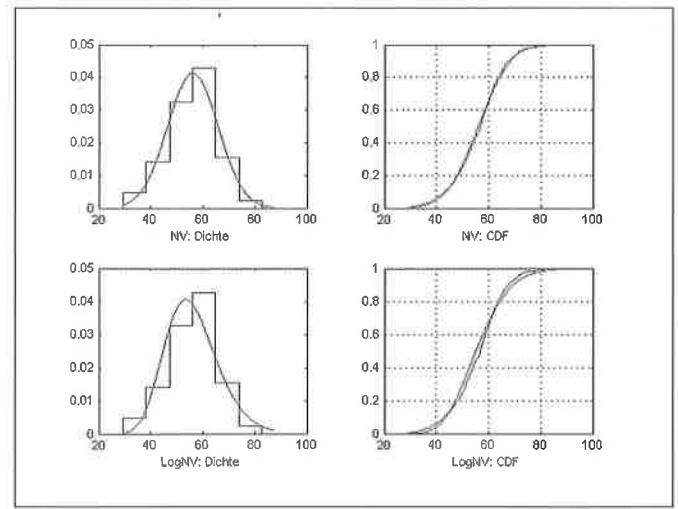


ABBILDUNG 4: VERTEILUNGSANPASSUNG DURCH NORMAL- (OBEN) UND LOGNORMALVERTEILUNGEN (UNTEN) FÜR DIE SORTIERKLASSE S13

großer Datenbestände bei maschinell sortiertem Vollholz in der Dissertation von Stöffler [2003]. Abbildung 3 zeigt eine Normal- (NV) beziehungsweise Lognormal-Verteilungsanpassung⁷ (LogNV) auf Grundlage von 544 Biegefestigkeitsdaten von Keilzinkenverbindungen (15 mm Normprofil) der Sortierklasse S10. Links sieht man jeweils ein Histogramm der Daten und die angepasste Dichtefunktion und rechts wird die empirische und theoretische Verteilungsfunktion dargestellt. Wie man rein optisch vermuten kann, ist in Abbildung 3 die Anpassung durch die Lognormalverteilung „besser“. Dies bestätigt sich auch durch statistische Tests, welche in diesem Fall eine Normalverteilungshypothese ablehnen. In Abbildung 4 zeigt sich genau das Gegenteil für die Sortierklasse S13 auf einer Grundlage von 804 Daten: Hier kann mittels Tests die Lognormalverteilungs-Annahme hochsignifikant abgelehnt werden, die Normalverteilungshypothese jedoch nicht.

Diskussion

Diese einfachen empirischen Analysen bestätigen die Notwendigkeit einer kritischen Diskussion der Bestimmungsmethoden für charakteristische Festigkeiten im konstruktiven Holzbau. Dazu gehört eine moderne Aufarbeitung der statistischen Methoden und eine Analyse der Verteilungsannahmen. Zitat [Fischer 1999]: „Die Heterogenität der Quantilswerte von Baustoffeigenschaften in den Eurocodes muss beseitigt werden. Wichtig ist, dass die statistischen Zusammenhänge klar dargestellt werden müssen, so dass die verwendeten Zusammenhänge

mit den Mitteln der mathematischen Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie erklärt werden können. Für die Anwendung müssen Hilfsmittel, am besten Tabellen, zur Ermittlung der benötigten p-Quantile erarbeitet werden. Die Erkenntnisse der modernen Statistik müssen Eingang in die entsprechenden Kapitel der Eurocodes finden. Nur so ist das Niveau für alle Eurocode-Anwender gleich.“

Aufgrund des ausgewerteten Datenmaterials konnten die den europäischen Normen zugrunde liegenden Verteilungen nur zum Teil bestätigt werden. Erkennbar ist, dass bei den unteren Sortierklassen (S10, MS10) eine Lognormalverteilung und bei den höheren Sortierklassen (S13, MS13, MS17) eine Normalverteilung besser angepasst ist.

Literaturverzeichnis

- Fischer, L. (1995): Bestimmung des 5%-Quantils im Zuge der Bauwerksprüfung – Bezugsname auf DIN Normen und Eurocodes, Bautechnik, Band 72, Heft 11, S. 712 bis 722
- Fischer, L. (1999): Sicherheitskonzept für neue Normen – ENV und DIN-neu, Grundlagen und Hintergrundinformation Teil 3, Bautechnik, Band 76, Heft 3, S. 236 bis 253
- Fischer, L. (2003): Charakteristische Werte – ihre Bedeutung und Berechnung, Bauingenieur, Band 78, S. 179 – 186
- Hartung, J., Elpelt, B., und Klöselner, K.-H. (2002): Statistik, Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, Oldenbourg Verlag
- Stöffler, Ch.G. (2003): Auswirkungen der maschinellen Sortierung auf die Bemessung im Holzbau. Dissertation, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Dieser Artikel entstand im Rahmen einer Praxis sowie Diplomarbeit-Kooperation zwischen der Holzforschung Austria (HFA) und dem Fachhochschul-Studiengang Holztechnik & Holzwirtschaft (HTW) der FH Salzburg. Im Rahmen der Diplomarbeit erfolgte eine Literaturlauswertung und Analyse von bestehendem Datenmaterial der akkreditierten Prüf- und Überwachungsstelle HFA.

Der konstruktive Holzbau ist ein zentraler Ausbildungsinhalt des FH-Studiengangs HTW, weitere Schwerpunkte im Studium sind Fasertechnologie und Möbel- und Innenausbau. Den seit 1995 am Holztechnikum Kuchl geführten FH-Studiengang haben mittlerweile 155 Studierende absolviert, sie sind in verschiedenen Unternehmen und Sparten der Holzwirtschaft im In- und Ausland tätig.

- > Univ.-Doz. Dr. Karl Entacher⁸, Fachbereich Technische Grundlagen, Fachhochschule Salzburg karl.entacher@fh-sbg.ac.at www.fh-sbg.ac.at
- > DI (FH) Sebastian Knoflach, HTW Absolvent sebastian.knoflach@gmx.at
- > DI (FH) Johann Scheibenreiter, Holzforschung Austria, Abteilung Roh- und Werkstoffe j.scheibenreiter@holzforschung.at www.holzforschung.at

8 Unterstützung durch FWF P17434-N13