

Sanierung und Instandsetzung historischer Holzbauteile - Stand der Entwicklung



Prof. Dr.- Ing. Wolfgang Rug

Zusammenfassung

Durch genauere Untersuchungen an historischen Holzkonstruktionen können Tragfähigkeitsreserven erschlossen werden, die zu einem geringeren Aufwand bei der Instandsetzung der verbauten Bauteile führen. Der zusätzliche ingenieurtechnische Aufwand lohnt sich, ist er doch mit einem substanzschonenden Erhalt der historischen Konstruktion verbunden.

Die neuen Erkenntnisse sollen in der Baupraxis weiter erprobt werden. Die Einführung in die Praxis wird möglichst im Rahmen europäischer Bestrebungen zur Erarbeitung spezieller Standards für den Erhalt des kulturellen Erbes erfolgen.

Inhalt

1	Die Bewertung des Bauzustandes	2
2	Bewertung der Trag- und Standsicherheit	5
3	Zusammenfassung	9
4	Literatur	10

1. Die Bewertung des Bauzustandes

Holzbauteile wurden in der Geschichte der Bautechnik in vielfältiger Weise in historischen Bauten verwendet. Der Grund hierfür war die regionale Verfügbarkeit und die Reproduzierbarkeit des Baustoffs (s. Bild 1).



Bild 1: Fachwerkhaus- Instandsetzung und teilweise Erneuerung der hölzernen Tragkonstruktion, Erneuerung des Sockelmauerwerks/Fundament

Die Erhaltung historischer Holzbauteile ist eine komplexe Aufgabe, die ein methodisches Vorgehen erfordert. Bewährt hat sich dabei der in Bild 2 dargestellte Ablauf. Art und Umfang der Untersuchungen ist abhängig vom kulturgeschichtlichen Wert des Gebäudes und der Funktion der verbauten Holzbauteile und -Konstruktionen.

Im Rahmen der **Erfassung des Bauzustandes** wird die Bau- und Nutzungsgeschichte des Bauwerkes, der Charakter und das Ausmaß der Schäden sowie das Erscheinungsbild analysiert, deren Dokumentation bzw. Kartierung vorgenommen und Bestandsunterlagen erstellt. Eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Erhaltungswürdigkeit und die Entscheidung einer wirtschaftlichen Erhaltungsstrategie spielen aussagefähige Bestandspläne mit Angaben über die konstruktive Durchbildung, Materialien, Verformungen, Durchbiegungen und baulichen Schwachstellen. Diese Unterlagen sind auch für das Baugenehmigungsverfahren wichtig.

Eine sorgfältige Erfassung des Bauzustandes bildet eine wichtige Voraussetzung für die Planung von wirtschaftlich vertretbaren und fachgerechten Sanierungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen.

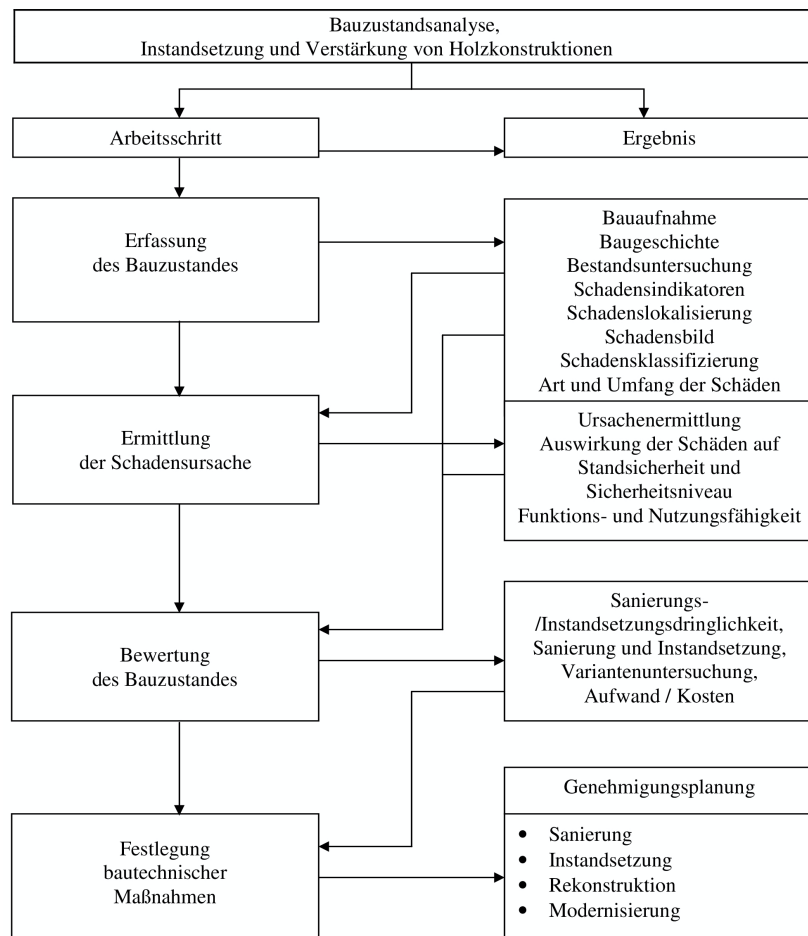


Bild 2: Methodik der Bauzustandsanalyse (aus [1])

Ziel einer **Schadensanalyse** ist es, das tatsächliche Ausmaß einer Schädigung festzustellen, die Schadensursachen zu erkennen und Wege zur Schadensbehebung aufzuzeigen. Dies schließt eine exakte Lokalisierung und Erfassung der Schäden ein. In der Hauptsache erfolgt die genaue und vollständige Erfassung der Schadensbilder durch handnahe visuelle Untersuchungen vor Ort unter Zuhilfenahme vertiefender Untersuchungsverfahren zur Schadensermittlung und –lokalisierung (s. Bild 3).

Je nach Aufgabenstellung, Schadensbild und Schadensumfang sowie Denkmalswürdigkeit wird der mit der Planung beauftragte Architekt oder Ingenieur weitere fachkundige Spezialisten zu Rate ziehen. Nur wenn der Ist-Zustand des Gebäudes richtig und umfassend genug ermittelt und in Plänen dargestellt wurde, sind die zu planenden Folgeschritte wie Genehmigungs-, Ausführungsplanung und Kontrolle der Bauausführung in der entsprechenden Qualität herstellbar.

Probleme ergeben sich vor allem aus der Verschiedenartigkeit des Schadbildes. Nicht immer ist das Untersuchungsobjekt frei zugänglich und die Untersuchungen müssen unter bewohnten oder genutzten Bedingungen durchgeführt werden.

Die Kette „Ursache-Wirkung-Schaden“ kann in vielen Fällen auf den ersten Blick nicht eindeutig geklärt werden. Viele Schädigungen sind das Ergebnis komplexer Entwicklungsvorgänge.

Ein wichtiger Schritt ist die Ermittlung der **Schadensursachen**, geht es doch um die zweifelsfreie Beurteilung der Auswirkung der Schäden und Mängel auf die Standsicherheit und Funktionsfähigkeit bzw. Nutzungsfähigkeit der Bauteile, Verbindungen sowie des gesamten Bauwerkes. Bei der Ermittlung von Schadensursachen und ihrer

Bewertung ist zu beachten, dass in vielen Fällen die bedrohlichen Schäden weniger auf das hohe Alter der Bausubstanz zurückzuführen sind, sondern mehr auf fachwidrige Umbauten und ungenügende Pflege. Letztere wird meist dadurch erschwert, dass die Umbauten die Schadensanfälligkeit erhöht, aber nicht die funktionellen Mängel beseitigt haben.

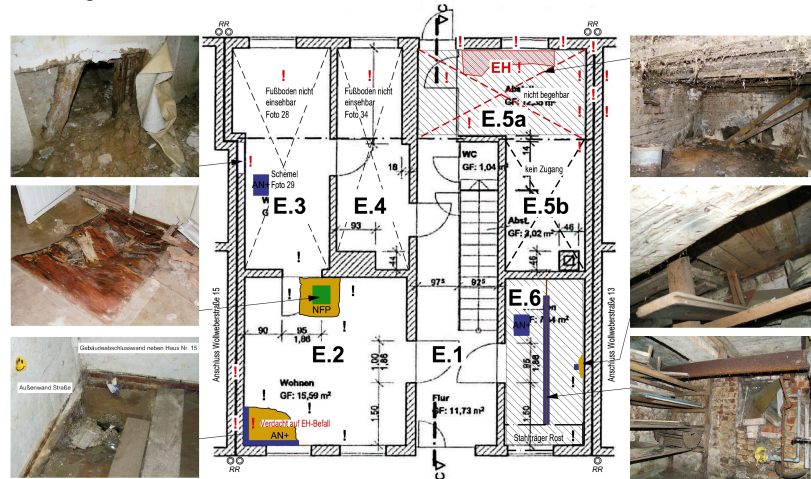


Bild 3: Ergebnis einer Schadensanalyse – Erdgeschossdecke eines Fachwerkhauses – Kartierung der wichtigsten Schäden und Schadensbereiche (Ingenieurbüro Rug GmbH)

Die dritte Etappe nach Bild 2 beinhaltet die **Bewertung des Bauzustandes** im Hinblick auf die tatsächliche Sicherheit und Nutzungsfähigkeit (Funktionsfähigkeit) des Bauwerkes oder einzelner Elemente. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die gültigen Baunormen im Allgemeinen für neu zu errichtende Gebäude gelten, im Gegensatz dazu aber ein historisches Bauwerk zu beurteilen ist, welches zu einer bestimmten Zeit unter bestimmten Bedingungen errichtet und mit bestimmten Materialien gebaut und über die Nutzungszeit durch Erhaltungsmaßnahmen repariert, instandgesetzt, modernisiert oder saniert wurde.

So muss z. B. das verbaute Holz für die statische Beurteilung einer Festigkeitsklasse zugeordnet [2] und die bauphysikalischen Eigenschaften der verschiedenen Materialien definiert werden (s. auch Bild 4).

Im vierten Schritt gemäß Bild 2 werden die **Maßnahmen für den Erhalt der Bausubstanz** unter Berücksichtigung moderner Nutzeransprüche festgelegt. Gleichzeitig werden Sanierungs- und Instandsetzungslösungen gesucht, die mit den historischen Materialien und Konstruktionsprinzipien korrespondieren und bei Denkmälern den denkmalschutzrechtlichen Anforderungen genügen. Im Rahmen einer Genehmigungsplanung wird das Konzept für die baulichen Maßnahmen erarbeitet und die bauordnungsrechtlichen und, wenn erforderlich, die denkmalpflegerischen Zustimmungen eingeholt.

Danach beginnt eigentlich erst die Phase der Ausführungsplanung, d. h. die Erarbeitung der projekttechnischen Lösung für eine Instandsetzung, Verstärkung oder umfassende Sanierung (Bild 2).

Auf europäischer Ebene arbeitet man seit einigen Jahren, sowohl in einzelnen Ländern, zum Beispiel in vorbildlicher Weise in der Schweiz [11], als auch im CEN/TC250, WG.2 (Existing Structures) an der Erarbeitung eines Standards zur Bewertung und Ertüchtigung bestehender Bauwerke [12].

Zusätzlich arbeitet man im Rahmen anderer europäischer Arbeitsgruppen, so zum Beispiel des CEN/TC 346 (Erhaltung des kulturellen Erbes) an Leitlinien für die Bewertung historischer Holzkonstruktion-

nen oder methodischer Grundlagen für die Bauzustandsanalyse für das kulturelle Erbe [12], [13].

Bezogen auf historische Holzkonstruktionen liegt ein erstes Ergebnis der Arbeit im CEN/TC 346 vor. Es ist der 2017 erschienene Entwurf der DIN EN 17121-Leitlinien für die Bewertung vor Ort [13].

An diesem Prozess ist zurzeit die Holzbaupraxis in Deutschland nicht beteiligt. Eine Künftige Mitwirkung von Fachexperte aus dem Bereich des Holzbaues wäre unbedingt wünschenswert.

2. Bewertung der Trag- und Standsicherheit

Ausgangspunkt der Arbeit des Tragwerksplaners ist die Überprüfung der statisch-konstruktiven Funktionsfähigkeit der eingebauten Bauteile. Prinzipiell erfolgt dies nach dem in Bild 4 dargestellten Ablaufschema.

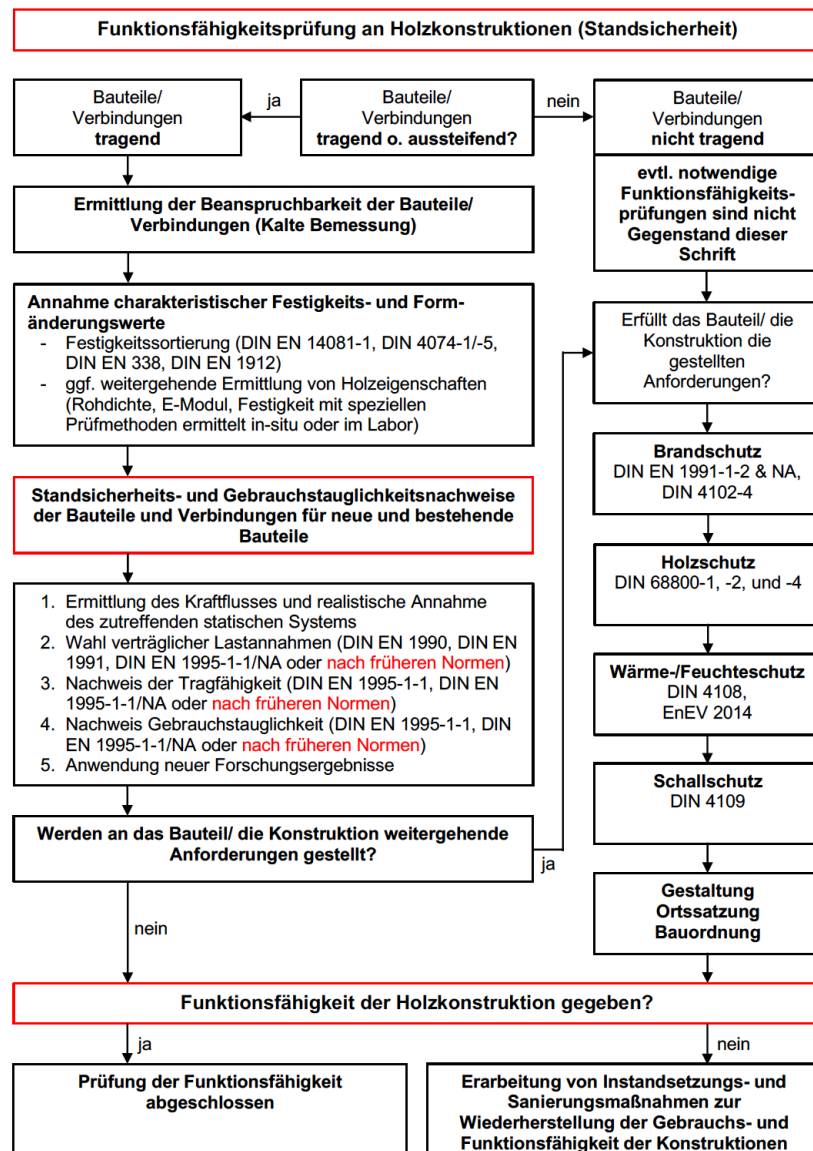


Bild 4: Ablaufschema zur Prüfung der Trag- und Standsicherheit an Holzkonstruktionen in Altbauten (nach [1], [2], [3]), aktualisiert unter Beachtung der bauaufsichtlichen Einführung der DIN EN 1995-1-1:2010 und DIN EN 1995-1-1/NA:2013)

Die geltende Berechnungsnorm für den Holzbau, DIN EN 1995-1-1:2010 gilt gemäß Abschnitt NCI Zu 1.1.2 Anwendungsbereich der DIN EN 1995-1-1/NA:2013 (NA.5) auch „... **sinngemäß für Bauten im Bestand, soweit in den speziellen Normen nichts anderes bestimmt ist**“.

Will man die Beanspruchbarkeit von Holzbauteilen und -verbindungen in Altbauten beurteilen, so sind nach den Regeln der Berechnungsnorm DIN EN 1995-1-1:2010 die für die Nachweisführung notwendigen Eingangsgrößen, wie charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte festzulegen. Es ist also zunächst festzustellen, in welche Sortier- oder Festigkeitsklasse das verbaute Holz eingeordnet werden kann. Grundlage hierfür ist die DIN EN 14081-1, welche die europäischen Anforderungen an die visuelle und maschinelle Festigkeitssortierung von Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt festlegt. Mit der Aufnahme der Sortiervorschrift DIN EN 14081-1 als Produktnorm in die Liste der technischen Baubestimmungen gilt das nach den in der DIN 4074-1 und DIN 4074-5 festgelegten Kriterien sortierte Nadel- und Laubholz als geregeltes Bauprodukt.

Für die visuelle Sortierung definiert DIN EN 14081-1 in Abschnitt 5.2 die Anforderungen wie folgt:

„... Bauholz ist nach einer Sortiernorm, die die Anforderungen nach Anhang A (in DIN EN 14081-1) erfüllt, visuell zu sortieren“.

Wenn Sortierklasse und Holzart einer Festigkeitsklasse für Bauholz für tragende Zwecke nach DIN EN 1912 zugeordnet werden, müssen die charakteristischen Werte der Eigenschaften der zugeordneten Festigkeitsklasse nach DIN EN 338 entsprechen; andernfalls werden die charakteristischen Werte nach DIN EN 384 experimentell bestimmt.

Allerdings konnte man sich im europäischen Rahmen bisher nicht auf ein einheitliches Verfahren für die visuelle Sortierung des Bauholzes nach der Festigkeit einigen.

Deshalb wird Abschnitt 5.2 in DIN EN 14081-1 in der Norm DIN 20000-5 in Abschnitt 4.2 „Zu 5.1.2 Visuelle Festigkeitssortierung“ wie folgt geregelt:

„DIN 4074-1 und DIN 4074-5 erfüllen die Anforderungen nach DIN EN 14081-1, Abschnitt 5.2.1“.

Das heisst, die visuelle Sortierung erfolgt in Deutschland auch zukünftig nach den Regeln der DIN 4074-1 und DIN 4074-5.

Nach den Sortiernormen DIN 4074-1 und DIN 4074-5 ist es möglich, das Schnittholz nach Abschnitt 6 in der Norm visuell oder nach Abschnitt 7.2 in der Norm nach visuell in Kombination mit apparativ feststellbaren Merkmalen nach Sortierklassen zu sortieren. Die Gruppen der Nadel- und Laubhölzer werden nach genormten Kriterien visuell (d. h. durch Inaugenscheinnahme) sortiert. Bei visueller Sortierung kann das Holz aber bei der Sortierung unterschiedlicher Holzarten (z. B. bei Nadelholz aus Fichte, Tanne, Lärche oder Douglasie) nicht nach einheitlichen Festigkeitseigenschaften klassifiziert werden. Die Sortiermethode korreliert nicht direkt und auf relativ niedrigem Niveau mit den Festigkeitseigenschaften (Korrelationskoeffizienten $r < 0,5$, s. bspw. [7]). Die in DIN 4074-1 und DIN 4074-5 festgelegten quantifizierten Sortierkriterien werden bei der visuellen Sortierung durch Inaugenscheinnahme und Abschätzung der Ausprägung ausgewählter Wuchsmerkmale festgestellt.

Die Ermittlung der tatsächlichen Materialkennwerte erfolgt nicht. Dieses Verfahren ist deshalb relativ ungenau und gestattet die Sortierung des Holzes maximal bis zur Sortierklasse S13 bzw. LS 13 nach DIN 4074-1 bzw. DIN 4074-5. Aus der Praxis der Holzsortierung von Bauholz für Neubauten weiß man aber, dass etwa die Hälfte des in

Europa zur Anwendung kommenden Nadelholzes in eine höhere Festigkeitsklasse als die mit visueller Sortierung erreichbare S13 sortiert werden kann, wenn eine maschinelle Sortierung des Holzes durchgeführt wird.

Überlegungen zur Einführung von höherwertigen Sortierverfahren bei verbauten Holzbauteilen in Bestandsgebäuden sind daher nur folgerichtig. Neuere Untersuchungen an Fichten-, Kiefern- und Eichenholz zeigen, dass durch eine visuelle Festigkeitssortierung in Kombination mit der zerstörungsfreien Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung eine wesentlich höhere Ausbeute an höherfesten Hölzern >C30 heraus-sortiert werden kann (s. Bild 5 & [5],[6]). Untersuchungen an historischen Dachkonstruktionen ergaben ähnliches Ergebnis.

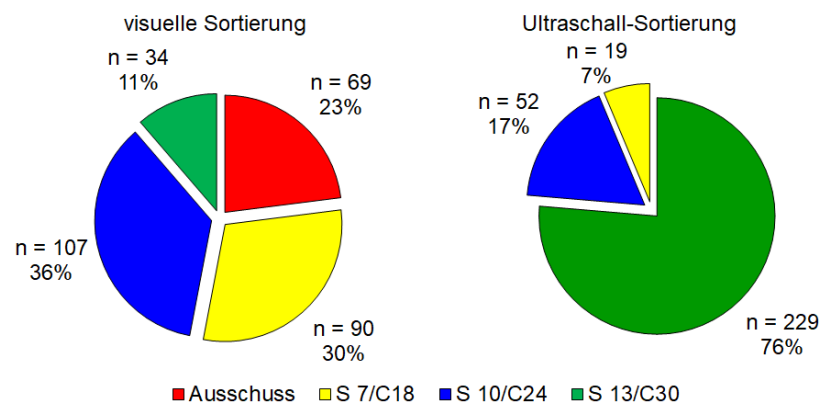


Bild 5: Vergleich der Sortierausbeute nach visueller Sortierung nach DIN 4074-1 und nach Sortierung anhand der Ultraschallgeschwindigkeit (direkte Messung) am Beispiel von Kiefernholz (aus [6])

Das Ergebnis kann weiter verbessert werden, wenn zusätzlich noch die Rohdichte des verbauten Holzes bestimmt werden kann. Hierfür bieten sich zwei Verfahren an, die zerstörungsarme Bohrkernentnahme (s. Bild 6) und die zerstörungsfreie Eindringwiderstandsmessung (s. Bild 7).

Vergleich der Rohdichte von Bohrkernproben und Normproben nach bisherigen Untersuchungen

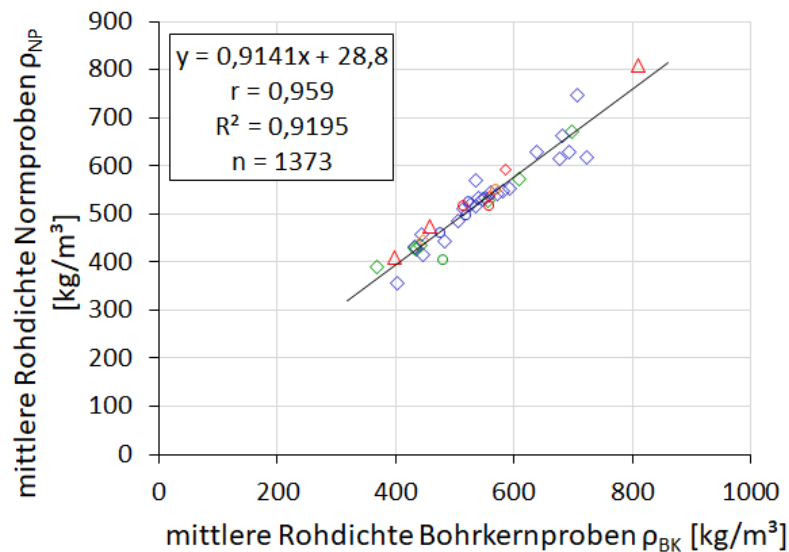


Bild 6: Regression zwischen der Rohdichte von Bohrkernen und Normproben aus Versuchen an 1373 Proben (aus [15])

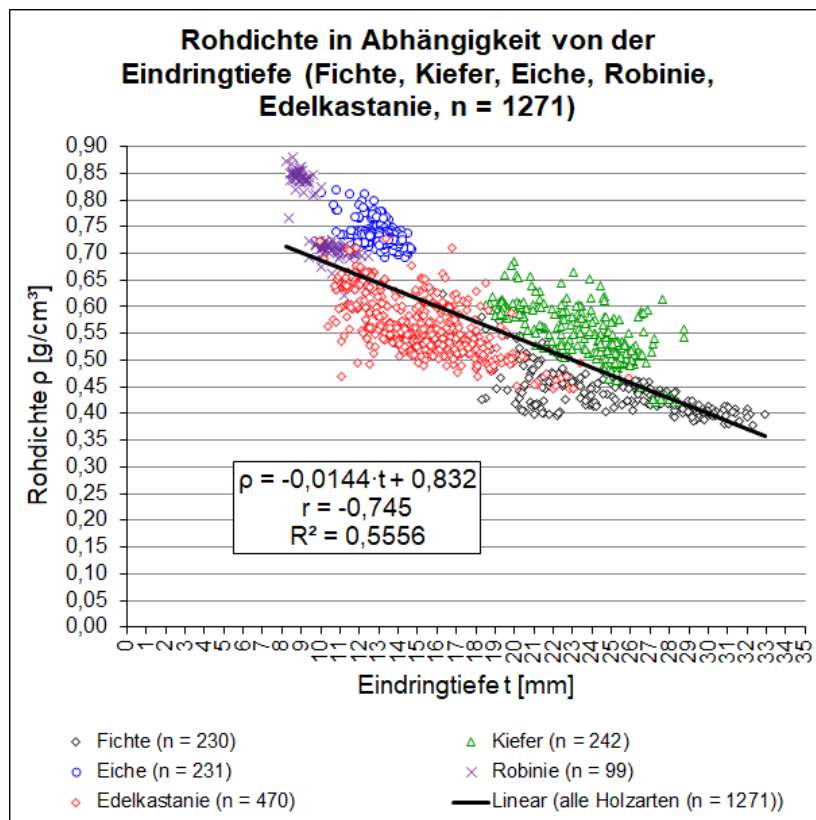


Bild 7: Regression zwischen Eindringtiefe und Rohdichte aus Versuchen an 1271 Proben (nach [16])

Weitere Untersuchungen sind aber noch notwendig, bevor die Verfahren in der Praxis eingesetzt werden können.

Eine Bewertung der Stand- und Tragsicherheit von historischen Holzkonstruktionen kann sowohl nach früheren Berechnungsnormen, die auf der Methode der zulässigen Spannungen basierten, oder nach den zurzeit geltenden bauaufsichtlich eingeführten Normen, die auf der Methode der Teilsicherheitswerte basieren, durchgeführt werden (s. auch Hinweise in [14]).

Die aktuellen Berechnungsnormen gelten ausschließlich für Neubauten. Zu eventuellen Modifizierungen der Teilsicherheitswerte bezogen auf die Spezifik bestehender Holzkonstruktionen (nachgewiesene Funktionsfähigkeit über lange Standzeit 50...500 Jahre; mögliche exakte Ermittlung der Geometrie und Materialqualitäten sowie der Eigenlasten) gibt es bisher keine Regeln. Grundsätzlich wurde in einer Reihe von neueren Untersuchungen (s. [7]bis [10]) auf der Basis von Zuverlässigkeitsanalysen die Möglichkeiten einer Modifizierung aufgezeigt. Vorgeschlagen wurde ein mehrstufiges Herangehen, welches sich durch die Genauigkeit der Festigkeitssortierung und durch die Anwendung semi-probabilistischer und probabilistischer Berechnungsverfahren unterscheidet (s. Bild 8).

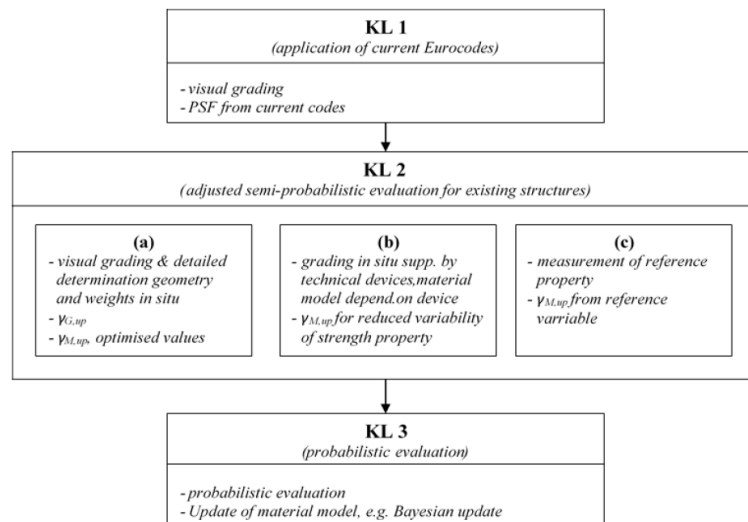


Bild 8: Mehrstufiges Vorgehen bei der Bewertung der Tragfähigkeit und Standsicherheit von historischen Holzkonstruktionen (nach [8])

In Abhängigkeit von den Materialstreuungen und der Zielzuverlässigkeit kann der Teilsicherheitswert für die Eigenlast und das Material reduziert werden.

Damit lassen sich Tragfähigkeitsreserven erschließen, die letztendlich der substanzschonenden Erhaltung des kulturellen Erbes zu Gute kommen. Ein Effekt, der am größten ist, wenn die gewonnenen Erkenntnisse nach ausreichender Praxiserprobung Eingang in die europäischen Berechnungsnormen finden.

3. Zusammenfassung

Durch genauere Untersuchungen an historischen Holzkonstruktionen können Tragfähigkeitsreserven erschlossen werden, die zu einem geringeren Aufwand bei der Instandsetzung der verbauten Bauteile führen. Der zusätzliche ingenieurtechnische Aufwand lohnt sich, ist er doch mit einem substanzschonenden Erhalt der historischen Konstruktion verbunden.

Die neuen Erkenntnisse sollen in der Baupraxis weiter erprobt werden. Die Einführung in die Praxis wird möglichst im Rahmen europäi-

scher Bestrebungen zur Erarbeitung spezieller Standards für den Erhalt des kulturellen Erbes erfolgen.

4. Literatur

- [1] K. Lißner, W. Rug: Holzbausanierung beim Bauen im Bestand, Springer Verlag, 2. Ergänzte und überarbeitete Auflage, Berlin 2018
- [2] K. Lißner, W. Rug: Ergänzung bzw. Präzisierung der für die Nachweisführung zur Stand und Tragsicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in der Altbausubstanz maßgebenden Abschnitten der DIN 1052:2004 - aktualisierte Fassung aus dem Jahre 2004 und Beachtung der Einführung der Euro-codes, Fassung 29.07.2015 (unter www.holzbau-statik.de)
- [3] K. Becker, K. Tichelmann: Ablaufschema für Sanierungsbauten-erarbeitet vom AA13 „Erhaltung alter Bausubstanz“ der DGfH München 1997
- [4] C. Gerber: Entwicklungsstand und Weiterentwicklung der Bauzustandserfassung von bestehenden Holzkonstruktionen, HNEE, Masterarbeit, Eberswalde 2019 (unveröffentlicht)
- [5] G. Linke, W. Rug, H. Pasternak: Festigkeitssortierung von Bauholz in historischen Gebäudenbericht zum Stand der Technik, Bauingenieur (2017) H. 5, S. 229-236
- [6] G. Linke, W. Rug, H. Pasternak: Strength grading of structural timber in existing structures with the ultrasonic time-of-flight measurements; In: 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, 25.- 27. September 2019, in Vorbereitung
- [7] M. Loebjinski, W. Rug, H. Pasternak: Zuverlässigkeitsbewertung von Holzbauteilen im Bestand, Bauingenieur (2017) H. 2, S. 65-73
- [8] M. Loebjinski, W. Rug, H. Pasternak: The influence of an improved strength grading in situ on modelling timber strength properties; In: 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, 25.- 27. September 2019, in Vorbereitung
- [9] M. Loebjinski, G. Linke, W. Rug, H. Pasternak: Evaluation of existing timber structures- current standards for the assessment and evaluation in Germany and Europe; In: 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, 25.- 27. September 2019 , in Vorbereitung
- [10] M. Loebjinski, G. Linke, W. Rug, H. Pasternak: Redevelopment of a wooden roof construction under preservation order, In: 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, 25.- 27. September 2019, in Vorbereitung
- [11] SIA 269:2011: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken; Teil1: Einwirkungen; Teil 2: Betonbau; Teil 3: Stahlbau; Teil 4: Stahl- Beton- Verbundbau; Teil 5: Holzbau; Teil 6: Mauerwerksbau; Teil 7: Geotechnik
- [12] Luechinger, u. a.: New European Technical Rules for the Assessment and retrofitting of Existing Structures, Joint Research Centre, Luxembourg 2015

[13] E DIN EN 17121:2017- Entwurf: Erhaltung des kulturellen Erbes- historische Holzkonstruktionen- Leitlinien für die Bewertung vor Ort

[14] ARGEBAU 2008: Hinweise und Beispiele zum Vorgehen beim Nachweis der Standsicherheit beim Bauen im Bestand Fassung 2008

[15] G. Linke: Ermittlung der Rohdichte mittels zerstörungsarmer und -freier Prüfmethode, Versuchsanstalt für Holzbau und ökologische Bautechnik UG, 2019 (in Vorbereitung)

[16] J. Fritz, G. Linke, W. Rug: Untersuchung zur Anwendbarkeit der Eindringtieftiefenmessung für die Festigkeitssortierung von Holzbauteilen in bestehenden Holzkonstruktionen, In: Holzbau im Bestand- historische Holztragwerke, Beispiele für substanzschonende Erhaltung / Beuth- Verlag Berlin 2018

Bildnachweis

Bild 1: Prof. Rug

Bild 2: s. [1]

Bild 3: Ingenieurbüro Rug GmbH

Bild 4: s. [1], [2], [3]]

Bild 5: s. [6]]

Bild 6: s. [15]

Bild 7: s. [16]

Bild 8: s. [8]

Autor

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug
Hochschule für nachhaltige
Entwicklung Eberswalde
FB Holzingenieurwesen – FG Holzbau
Alfred-Möller-Str. 1
16225 Eberswalde

E-Mail: rug@holzbau-statik.de

Web: www.holzbau-statik.de

Werdegang:

- Studium Bauingenieurwesen an der Hochschule
- für Architektur und Bauwesen Weimar;
- Wissenschaftlicher Mitarbeiter Bauakademie der DDR Berlin, Aufbau und Leitung des Forschungsgebiets Holzbau an der Bauakademie der DDR;
- 1986 Promotion an der Bauakademien der DDR;
- seit 1990 freiberuflich tätig als Beratender Ingenieur
- 1990–1994 regionaler Fachberater der ARGE Holz e. V. Düsseldorf für Berlin
- seit 1994 Prüfenieur für Standsicherheit
- seit 2000 Professur für Holzbau an der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde
- Mitarbeit in Normungsausschüssen
- Mitautor verschiedener Fachbücher und zahlreiche Fachbeiträge zur Geschichte des Holzbaus den Normungsgrundlagen, zur Sanierungs- und Instandsetzung und zur Anwendung und Entwicklung im Holzbau (s. www.holzbau-statik.de, www.holzbau-statik.de)

software.de, www.svb-holzbau-holzleimbau.de, www.otto-hetzer.de).

Stichwortverzeichnis:

Sanierung, Instandsetzung, historische Holzbauteile, Erfassung und Bewertung, Bauzustand, Schadensanalyse, Bewertung Trag- und Standsicherheit, Festigkeitssortierung, Zuverlässigkeitsanalyse