

Architektenkammer RLP und Ingenieurkammer RLP

Fortbildungstag CLTECH

07.11.2024

Kaiserslautern

Versuchsgestützte Bemessung nach DIN EN 1990- Ein Schlüssel zum innovativen Ingenieur(holz)bau

em. Prof. Dr. techn. Wieland Becker

Lehr- und Forschungsgebiet Holz

Hochschule Trier

Trier, Deutschland



Planungs- und Ingenieurleistungen für den
Holzbau

Bahnhofstr. 39 | D-21514 Roseburg

Mobil 0151-10924921 |

w.becker@hochschule-trier.de

HANDOUT- Versuchsgestützte Bemessung nach DIN EN 1990-Ein Schlüssel zum innovativen Ingenieur(holz)bau

Bezugnahme

Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010 Oktober 2021 DEUTSCHE NORM

Ersatz für DIN EN 1990:2010-12

Bemerkung

Die in den Technischen Baubestimmungen des LANDES RLP zitierten Passagen zu Abs. 5.2 beziehen sich nach Datenquelle NAUTOS (DIN Media GmbH Am DIN-Platz Burggrafenstraße 610787 Berlin) auf eine zurückgezogene Norm

Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010

Inhalt

1. Historischer Rückblick	3
2. DIN EN 1990-gesetzlich verankert	4
3. DINEN 1990/AC 2010-Anwendungs- und Aufgabengebiete	5
4. Versuchsgestützte Bemessung als Teil der DINEN 1990/AC 2010 (Okt. 2021)	6
5. Sicherheitskonzept und versuchsgestützten Bemessung	8
6. Versuchsplanung	11
7. Versuchsdurchführung	12
8. Auswerteverfahren und Ableitung von Bemessungswerten	14
9. Resumee	15
10. Quellen und Literaturhinweise	15

1. Historischer Rückblick

Deutschland-Weltmeister der Normung

Die deutsche Normungsgeschichte beginnt in der Zwischenkriegszeit und erfährt durch die Standardisierung der Rüstungsindustrie im 2. Weltkrieg eine rasante Beschleunigung. Der 1947 gegründete NABau (Normenausschuß Bau) ist der größte Normenausschuss des Deutschen Instituts für Normung e.V. mit fast 400 Arbeitsausschüssen, Arbeitskreisen und Koordinierungsgremien, die jeweils einem der 23 Fachbereiche zugeordnet sind.

„Aktuell bilden rund 35.000 Normen das Deutsche Normenwerk. Diese werden über DIN Media veröffentlicht. Ob Kegelstift oder Babyschnuller, Treppe oder Schraube, Leiter oder Zahnbürste - fast nichts in unserem Alltag ist nicht von Normen erfasst“.

Das deutsche Normenwerk umfasst rund 3.900 baurelevante Normen, die in den Normenausschüssen Bauwesen (NABau), Wasserwesen und Heiz- und Raumluftechnik erarbeitet wurden. Für den Geschosswohnungsbau sind ca. 350 Normen relevant. Diese Zahl beinhaltet rein nationale Normen und in das deutsche Normenwerk übernommene europäische und internationale Normen. Auf rund 20 Prozent dieser Normen wird durch Gesetze verwiesen (~70 Stück) [1].

Hinzu kommen über 350 ergänzende Erlasse, Verordnungen, Richtlinien der Länder und des Bundes, des DIBt, DAfStb, DASt sowie die Technischen Baubestimmungen des DIBt (eine Behörde des Landes Berlin!) und die Baugebührenordnungen der Länder, ein nationales Bundesbauministerium, 16 oberste Bauaufsichtsbehörden der Länder mit jeweils 16 Landesbauordnungen, eine Industriebaurichtlinie, eine Schulbaurichtlinie, eine Krankenhausrichtlinie, Vorschriften für Beherbergungsstätten, Versammlungsstätten und Hochhäuser - meist in 16facher unterschiedlicher Ausfertigung für jedes Bundesland.

In Teilen selbstkritisch bei der Beurteilung dieser Vielfalt zeigt sich das Deutsche Institut für Normung auf seiner website:

„Es gibt so viele Baunormen – ist der Bereich nicht ein wenig überreguliert?“

Das deutsche Normenwerk umfasst zurzeit etwa 3.900 baurelevante Normen (für den Geschosswohnungsbau sind ca. 350 Normen relevant) ...

„Kann auch mit weniger Standards nachhaltig und qualitativ herausragend gebaut werden?“

Auch mit weniger Standards, z.B. in der Low-Tech-Architektur, kann effizient, ressourcenschonend und robust gebaut werden. Welche Standards für ein Bauwerk genutzt werden entscheiden grundsätzlich Bauherr und Architekt. Gesetze, z. B. dass Bauwerke so zu errichten sind, dass Leben und Gesundheit von Menschen nicht gefährdet wird, müssen eingehalten werden. Von gesetzlich referenzierten Normen kann dagegen abgewichen werden. Es ist dann allerdings nachzuweisen, dass gesetzliche Forderungen, wie z.B. die Bauwerkssicherheit,

trotzdem eingehalten werden. Das Deutsche Institut für Normung e.V. ist als gemeinnütziger Verein organisiert und wird von Vertretern der Wirtschaft, Verbänden, Forschungseinrichtungen und Behördenvertretern unterstützt.

Zusammenfassend können Aufgaben und Charakter einer Norm wie folgt beschrieben werden. Eine Norm:

1. ist eine qualifizierte Empfehlung etwas zu tun, eine (technische) Spezifikation – kein Gesetz,
2. ist öffentlich zugänglich,
3. wird im Konsens nach international anerkannten Verfahren erstellt,
4. beruht auf abgestimmten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Praxis und enthält präzise Kriterien,
5. zielt auf größtmöglichen Nutzen für alle, die sie als Regel, Richtlinie oder Definition konsequent verwenden

Eine Abweichung hiervon betrifft den **Pkt. 1.** Diese wird in **Abs. 2** erläutert.

DECEMBER 22, 1917

GRÜNDUNG NORMENAUSSCHUSS DER DEUTSCHEN INDUSTRIE

Der Beginn der Normung in Deutschland und der Auftakt für die Massenherstellung



Bild 1 Erfolgreich seit 1917 ...

2. DIN EN 1990-gesetzlich verankert

Die Anwendung der meisten DIN-Normen ist freiwillig und kann in Verträgen vereinbart werden. Ausgenommen hiervon sind jene Normen, deren Einhaltung der Gesetzgeber zwingend vorschreibt. In den Amtlichen Mitteilungen **des DIBT werden diese als Muster-Verwaltungsvorschrift** [2] aufgeführt und dann in den **Technischen Baubestimmungen der Länder** übernommen. Die strikte Anwendung dieser Normen dient den „Schutzzielen“ für „Leib und Leben“. Die technischen Baubestimmungen gliedern sich in 4 Teile wie folgt:

Teil A Grundanforderungen für Bauwerke gem. EU-BauPVO:

A 1 - Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

A 2 - Brandschutz,

A 3 - Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

A 4 - Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung

A 5 - Schallschutz

A 6 - Wärmeschutz

B Technische Baubestimmungen für Bauteile und

Sonderkonstruktionen, die zusätzlich zu den in Teil A aufgeführten Technischen Baubestimmungen zu beachten sind

C Technische Baubestimmungen für Bauprodukte, die nicht die CE-Kennzeichnung tragen, und für Bauarten

D Bauprodukte, die keines Verwendbarkeitsnachweises bedürfen

Der Beitrag zur versuchsgestützten Bemessung bezieht sich ausschließlich auf Inhalte des Kapitel A 1 der Technischen Baubestimmungen, welche sich mit der „**Mechanische Festigkeit und Standsicherheit von Bauwerken**“ befassen und Gesetzeskraft haben. Diese Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen folgende Normen:

EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke

EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetongtragwerken

EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

EN 1994, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

EN 1995, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten

EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

EN 1997, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik

EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben

EN 1999, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken

3. DINEN 1990/AC 2010-Anwendungs- und Aufgabengebiete

Die Norm DIN EN 1990/ (Eurocode 0) legt Prinzipien und Anforderungen zur Gebrauchstauglichkeit, Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit von Tragwerken fest. Nach Übernahme der „Muster-Verwaltungsvorschrift“ des DIBT in die Verwaltungsvorschriften der einzelnen Bundesländer, erlangt diese dann Gesetzeskraft.

Amtliche Mitteilungen

Ausgabe 2 | 28. August 2024

Veröffentlichung der
Muster-Verwaltungsvorschrift
Technische Baubestimmungen
2024/1

(MVV TB 2024/1)



Technische Baubestimmungen, die bei der Erfüllung der Grundanforderungen an Bauwerke zu beachten sind

A 1 Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

A 1.1 Allgemeines

Gemäß § 3 und § 12 Absatz 1 MBO¹ muss jede bauliche Anlage im Ganzen und in ihren einzelnen Teilen für sich allein standsicher sein. Die Standsicherheit anderer baulicher Anlagen und die Tragfähigkeit des Baugrundes der Nachbargrundstücke dürfen nicht gefährdet werden. Darüber hinaus dürfen die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen keine Beschädigungen anderer Teile des Bauwerks oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen der tragenden Baukonstruktion zur Folge haben.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen an bauliche Anlagen sind die technischen Regeln nach Abschnitt A 1.2 zu beachten.

A 1.2 Technische Anforderungen hinsichtlich Planung, Bemessung und Ausführung an bestimmte bauliche Anlagen und ihre Teile gem. § 85a Abs. 2 MBO¹

Teil

Lfd. Nr.	Anforderungen an Planung, Bemessung und Ausführung gem. § 85a Abs. 2 MBO ¹	Technische Regeln/Ausgabe	Weitere Maßgaben gem. § 85a Abs. 2 MBO ¹
1	2	3	4
A 1.2.1 Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke			
A 1.2.1.1	Grundlagen der Tragwerksplanung	DIN EN 1990:2010-12 DIN EN 1990/NA:2010-12	Anlage A 1.2.1/1

4. Versuchsgestützte Bemessung als Teil der DINEN 1990/AC 2010 (Okt. 2021)

Unter **Kap. 5.2 Versuchsgestützte Bemessung** der aktuellen Norm sowie der Technischen Baubestimmungen RLP findet sich folgender Inhalt:

(1) Die Bemessung darf auf einer Kombination von Versuchen und Berechnungen beruhen. ANMERKUNG: Versuche dürfen z. B. unter folgenden Umständen durchgeführt werden:

- wenn keine zutreffenden Berechnungsmodelle zur Verfügung stehen;
 - wenn eine große Anzahl gleichartiger Bauteile verwendet werden soll;
 - wenn Annahmen beim Entwurf durch Kontrollen überprüft werden sollen.
- siehe Anhang D.

(2) Die Ergebnisse der versuchsgestützten Bemessung erzielen das für die jeweilige Bemessungssituation erforderliche Zuverlässigkeitsniveau. Dabei ist die statistische Unsicherheit infolge einer begrenzten Versuchsanzahl zu berücksichtigen.

(3) Es sollten Teilsicherheitsbeiwerte (einschließlich derer für Modellunsicherheit) ähnlich wie in EN 1991 bis EN 1999 gewählt werden.

3. Der eingeführte nationale Anhang DIN EN 1990/NA:2010-12 ist zu beachten. Dort steht zu 5.2: NCI 5.2.1 (Anmerkung):

„Die Anwendung der versuchsgestützten Bemessung in der Tragwerksplanung bedarf der Zustimmung des Bauherrn und der zuständigen Behörde“

Obwohl der Anhang D (Versuchsgestützte Bemessung) in der gültigen Norm enthalten ist, wird dieser durch Anlage A 1.2.1/1 der MVV TBB, und damit von den Technischen Baubestimmungen (TBB) der Länder ausgeschlossen, denn dort ist zu lesen:

Anlage A 1.2.1/1

Zu DIN EN 1990 in Verbindung mit DIN EN 1990/NA

Die informativen Anhänge B, C und D sind nicht anzuwenden.

Auf diesbezügliche Nachfrage bezieht Herr Christian Berg, Oberste Bauaufsichtsbehörde, Abteilung 5 / Referat 4519 im MINISTERIUM DER FINANZEN RLP am 24.10.2024 schriftlich Stellung:

„Abweichung davon sind möglich. Bei wesentlichen Abweichungen ist ein Verwendbarkeitsnachweis (allg. bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder Zustimmung im Einzelfall (ZiE) und/oder Anwendbarkeitsnachweis (allg. Bauartgenehmigung (aBG) oder vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG)) erforderlich. Dabei können durchaus im Rahmen des Verfahrens zum Nachweis der Verwendbarkeit und/oder Anwendbarkeit die Methoden des Anhang D zu Grunde gelegt werden.“

Anhang D enthält im Wesentlichen statistische Methoden zur Bestimmung von charakteristischen Werten sowie Verfahren für die Kalibration von Widerstandsmodellen und die Bestimmung von Bemessungswerten. Konkrete Bestimmungen über Art und Umfang von Versuchen sind nicht enthalten. Ebenso fehlen konkreten Bestimmungen, die sich mit dem Einfluss von geometrischen und stofflichen Toleranzen oder mit physikalischen und Langzeit-Einflüssen auf bestimmte Eigenschaften beschäftigen.

D.h. für mich übersetzt: Wenn Sie die Methoden zur Berechnung mit Versuchsunterstützung anwenden möchten, benötigen Sie

- 1. die Zustimmung des Bauherrn oder der Bauaufsichtsbehörde (s. DIN EN 1990/NA:2010)*
- 2. einen entsprechenden Verwend- oder Anwendbarkeitsnachweis (wegen Abweichung von Anlage A 1.2.1/1 der MVV TB)*

Was steckt dahinter?

*Ich habe das DIBt so verstanden, dass man nicht möchte, dass Einzelpersonen oder Unternehmen alleine die Versuche durchführen und kein weiteres Augenpaar darüber schaut. **Es soll das 4-Augen-Prinzip gelten; der Versuchsdurchführende zum einen und der Genehmigende für den Verwend- bzw. Anwendbarkeitsnachweis zum anderen.** Im Klartext: Man benötigt zusätzlich entweder das DIBt für abZ oder aBG bzw. die oberste Bauaufsichtsbehörde für die ZiE oder vBG bei Berechnungen mit Versuchsunterstützung. Damit soll das bestehende Sicherheitsniveau erhalten bleiben.“*
Zitatende

(Als Verwendbarkeitsnachweise nennen die Bauordnungen der Länder für nicht geregelte Bauprodukte: die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP), die Zustimmung im Einzelfall (ZiE))

Anhang D 3 der DIN EN 1990 führt eine Anzahl von Möglichkeiten auf, für welche eine versuchsgestützte Bemessung möglich ist. Diese sind im Wesentlichen:

- 1. Konstruktionen (Bauteile) und Bauprodukte (Materialien), für welche keine Produktnorm, und/oder keine abZ vorliegt.**
- 2. Für Baukonstruktionen im Bereich der Sanierung /Altbaubestand, für welche keine oder nur unzureichende statische Nachweise vorhanden sind.**

3. **Tragwerke oder tragende Bauteile für bestimmte (besondere) Belastungsbedingungen (z. B. Anpralllasten)**
4. **Kontrollprüfungen zur Bestimmung des Tragwerksverhaltens eines wirklichen Tragwerks oder tragender Bauteile nach der Fertigstellung; z. B. zur Bestimmung der elastischen Verformung, Eigenfrequenzen oder Dämpfung.**

Generell gilt der Anwendungsbereich für überwiegend statische Belastungen und nicht für Brücken und dynamisch beanspruchte Bauwerke.

5. Sicherheitskonzept und versuchsgestützten Bemessung

Die versuchsgestützte Bemessung beruht auf dem Konzept der Bemessung nach Grenzzuständen mit Teilsicherheitsbeiwerten und gibt Hinweise zu Fragen der in diesem Zusammenhang geltenden Zuverlässigkeitsanforderungen. Derzeit gilt noch die Version DIN EN 1990/AC 2010 mit ihren textlichen Inhalten der Technischen Baubestimmungen der Bundesländer. Grundlage jeder Versuchsgestützten Bemessung muß hierbei die Zuverlässigkeitstheorie des EC 0/DIN EN 1990 sein, welche auf dem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept basiert. Möglich ist eine Betrachtung wahlweise nach:

- a) **Grenzzuständen der Tragsicherheit (Pkt. 6.4)**
- oder
- b) **Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Pkt. 6.5)**

5.1 Teilsicherheitsbeiwerte nach Methode der Grenzzustände

Grundsätze [4]

„Die Methode der Grenzzustände mit Teilsicherheitsbeiwerten bildet die Grundlage für die Nachweisgleichungen der vereinheitlichten, europäischen Normen. Bei dieser Methode werden die Teilsicherheitsbeiwerte an den Stellen in den Algorithmen zur Berechnung der Grenzzustände eingeführt, an denen zufällige Streuungen verursacht werden. Sie werden den Nennwerten der einzelnen Basisvariablen oder den Funktionen von Nennwerten zugeordnet. Die Zuordnung kann als Multiplikator, Divisor oder additives Element erfolgen. Durch diese Operanden entstehen aus den Nennwerten Bemessungswerte, mit denen der Sicherheitsnachweis der Grenzzustände geführt wird.

Nach Spaethe, G. 1992 werden vier verschiedene Typen von Teilsicherheitsbeiwerten im europäischen Normenwerk unterschieden:

- γ_f Teilsicherheitsbeiwert, der die Streuungen der Lasten abdeckt (Lastfaktor)
- γ_m Teilsicherheitsbeiwert, der die Streuungen der Baumaterialien und des Baugrundes erfasst (Materialfaktor)
- γ_{Ed} ; γ_{Rd} Teilsicherheitsbeiwerte zur Erfassung der Modellungenauigkeiten
- n Teilsicherheitsbeiwert, der die Folgen eines potenziellen Versagens berücksichtigt

E-Einwirkungsseite

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen, basierend auf wahrscheinlichkeitstheoretischen (probabilistisch) Modellen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten



Zur Dimensionierung der Einwirkungen ist der DIN EN 1990 zu entnehmen:

4.1.2 Charakteristische Werte von Einwirkungen

(1)P Der charakteristische Wert F_k einer Einwirkung ist ihr wichtigster repräsentativer Wert und muss wie folgt festgelegt werden:

— als ein Mittelwert, als oberer oder unterer Wert oder als Nennwert (d. h. ohne Bezug auf eine statistische Verteilung) (siehe EN 1991);

Empfehlenswert ist hier die Festlegung von Schnittgrößen auf Grundlage der linearen Elastizitätstheorie mit Lasten/Einwirkungen, orientiert an den „vereinfachten Kombinationsregeln“ der DINEN [5].

R-Widerstandsseite

Teilsicherheitsbeiwerte der Materialwiderstände, basierend auf experimentell nachgewiesenen (deterministisch) Modellen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

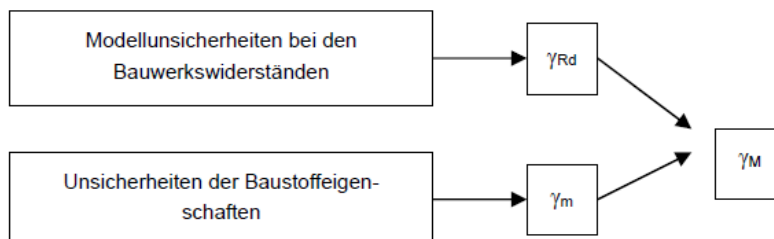


Abb. 3.14: Beziehung zwischen den einzelnen Teilsicherheitsbeiwerten in DIN 1055-100 2001

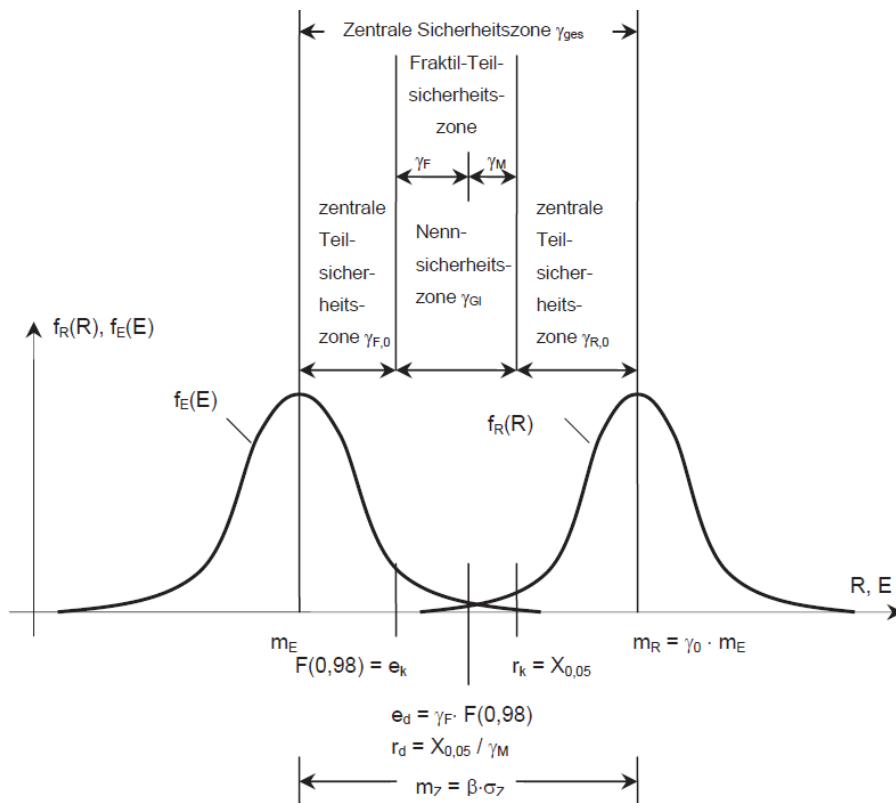


Abb. 3.21: Zusammenhang der Sicherheitszonen sowie Sicherheitsfaktoren

Bild 2 Modell des Semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes [4]

5.2 Betrachtung der Sicherheitszonen im Zusammenhang mit einer Versuchsgestützten Bemessung

a) Grenzzustände der Tragfähigkeit - Teilsicherheitsbeiwerte

Bild 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der Häufigkeitsverteilung von Einwirkungs- und Widerstandsseite mit den entsprechenden Sicherheitszonen und Sicherheitsfaktoren. Für eine Versuchsgestützte Bemessung sind die jeweiligen Einwirkungsgrößen mit ihren Teilsicherheitsbeiwerten γ_F „Gesetz“ und „nicht verhandelbar. Anders verhält es sich auf der Materialwiderstands,- bzw. auf der Bauteilseite. Hier kann man in vielen Fällen nicht auf (deterministische) Erfahrungen und Werte zurückgreifen, da es ja naturgemäß um die Erlangung derartiger Erfahrungen und Bemessungswerte geht. Entsprechend der Materialwahl müssen auch hier die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M (bei Holz außerdem noch die k-mod Werte) als „nicht verhandelbar“ zugrunde gelegt werden. In Abhängigkeit von Einflußfaktoren wie Variationskoeffizient, Kriechen, Temperatureinflüssen oder Langzeiteinflüssen kann es erforderlich werden, die Nennsicherheitszone **durch Vergrößerung des γ_M -Faktors in Richtung Materialseite zu erweitern**-siehe Abs. 7. Versuchsauswertung.

b) Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit-Teilsicherheitsbeiwerte

Die Belastungen für den Gebrauchstauglichkeitszustand liegen ca. 30% unter den Werten der Tragfähigkeitsgrenze E_d . Die DIN EN 1990 gibt hierzu folgende Hinweise:

Die Kombinationen der Einwirkungen, die in den maßgeblichen Bemessungssituationen zu berücksichtigen sind, sollten den Gebrauchstauglichkeitsanforderungen und Tragverhaltenskriterien entsprechen, die nachzuweisen sind, geeignet sein.

(2) Die Kombinationen von Einwirkungen für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit werden durch die folgenden Gleichungen symbolisch definiert (siehe auch 6.5.4):

ANMERKUNG In diesen Gleichungen werden alle Teilsicherheitsbeiwerte mit 1 angenommen. Siehe Anhang A und EN 1991 bis EN 1999.

(1) Falls nicht anders in EN 1991 bis EN 1999 angegeben, sollten die Teilsicherheitsbeiwerte für die **Grenzzustände (der Einwirkungen) der Gebrauchstauglichkeit mit 1,0 angesetzt**

Zur Wahl der Kombinationsfälle der Einwirkungsseite wird dabei die Kombination „**Quasi-Ständig**“ empfohlen.

Zusammenfassend wird der Zusammenhang zwischen den Grenzzuständen und den Einwirkungen anhand eines σ - ε Diagramms für Baustahl dargestellt. $f_{u,k} / \varepsilon_u$ stellt hier den Bruchzustand und einer zerstörenden Prüfung dar. $f_{y,k} / \varepsilon_{el}$ stellt das Ende eines linearen Spannungs-Dehnungsverlaufs dar. Bei einem noch unbekanntem Material oder Bauteil sind diese Marken durch entsprechende Versuchsabläufe zu erkunden und zu definieren.

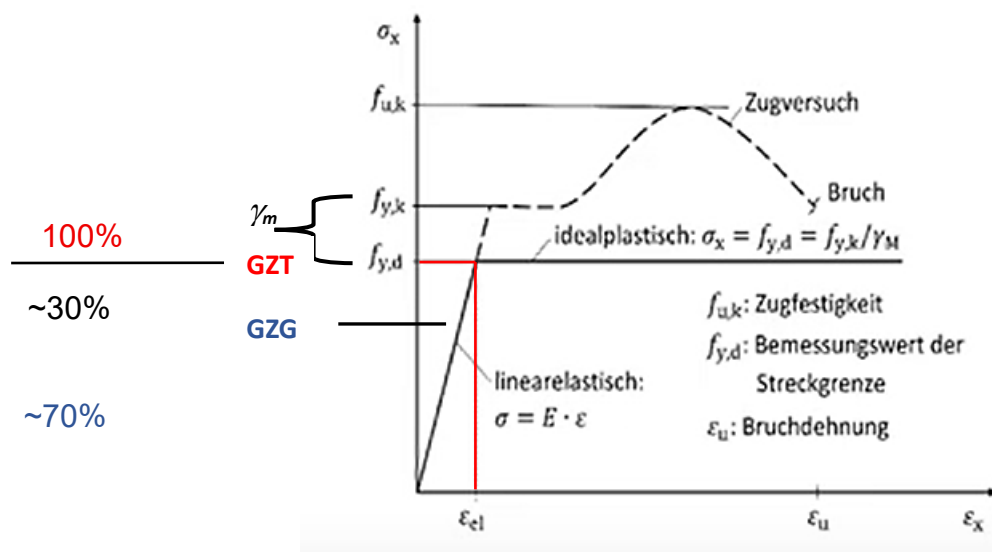


Bild 3 Sicherheitskonzept der Materialseite anhand des Spannungs-Dehnungsverlaufs von Baustahl

6. Versuchsplanung

6.1 Wahl und Festlegung der Versuchsziele und der Einwirkungen (hier Prüflasten)

Es ist zunächst zu klären, welches Hauptziel mit einer Prüfung verfolgt wird. Es kann sich hierbei um eine Prüfung der **Materialfestigkeit, der Stabilität, des Materialfließens oder der Ermüdung** (Wöhler-Versuche) handeln. Versuche entsprechend der Nachweismethode der GZT eignen sich besonders für **Materialtests (z.B. Betonformteil) oder Einzelbauteile (z.B. Anschlußknoten oder Verbindungsmittel)**. Weiterhin ist zu klären, bis zu welchem Lastniveau eine Versuchsdurchführung erfolgen soll. Dabei bleibt gerade bei zunächst unbekanntem Materialen unklar, wo die Belastungsgrenzen (z.B. Bruchgrenze f_u), oder der Übergang der elastisch-plastischen Verformung liegen. Ebenso kann bei Bausystemen/Tragkonstruktionen der Zeitpunkt eines Stabilitätsversagens ggf. zunächst nicht erkannt werden.

6.2 Numerische Simulation des Prüfablaufs

Deshalb soll zunächst eine numerische Modellierung (ABAQUS, SOFISTIC, RFEM) durchgeführt werden, welche näherungsweise Erkenntnisse über Materialversagen (Plastizieren, Bruch) oder Stabilitätsverlust liefert. Hieraus lassen sich erste Festlegungen des Prüfablaufs oder der Last- oder Verformungsgrenzen ableiten. Bereits in der numerischen Simulation müssen die Werte der Einwirkungen mit Teilsicherheitsbeiwerten, sowie die Lagerungsbedingungen berücksichtigt werden, welche dann zur Festlegung der Prüflasten sowie der Versuchsaufbauten dienen können. Dem Anh. D der DINEN 1990 sind u.a. folgende Hinweise zu entnehmen:

D.4 Versuchsplanung

Dieser Plan sollte die Versuchsziele und alle Festlegungen zur Wahl und Herstellung der Prüfkörper, zur Versuchsdurchführung und zur Versuchsauswertung enthalten. Im Einzelnen sollte der Plan enthalten:

- Zielsetzung und Anwendungsbereich,
- Prognose der Versuchsergebnisse,
- Festlegung der Prüfkörper und Probenahme,
- Festlegung der Belastungen,
- Versuchseinrichtung und -durchführung,
- Messplan,
- Auswertung und Berichte des Versuchs ...

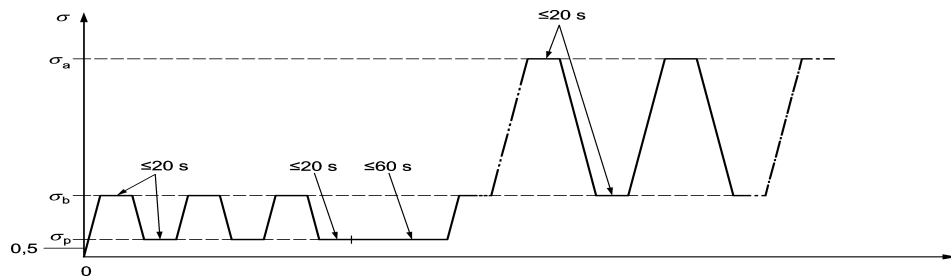
6.3 Zusammenstellung geeigneter Partner

Da es sich bei den meisten Fällen, bei welchen eine versuchsgestützte Bemessung durchgeführt wird, um eine ZIE oder vBG (siehe Abs.3) handelt, empfiehlt sich ein frühzeitiger Austausch mit den jeweiligen obersten Bauaufsichtsbehörden, sowie einem hierfür geeigneten Prüfsingenieur. Die Integration einer Versuchsanstalt (MPA, staatliche Baustoffprüfstelle, Universitäts- oder Hochschuleinrichtung mit entsprechender Laborausstattung, etc. in den Versuchsprozess erweist sich in aller Regel als zielführend. Als Diskussionsgrundlage erweisen sich die unter 5.1 aufgeführten vorläufigen Festlegungen und Konzepte als sinnvoll. Dabei sollte die federführende Stelle bereits genügend Grundlagenwissen und Kompetenzen vermitteln, welche eine „Kakophonie“ unter den späteren Beteiligten verhindert. Besonders hilfreich ist die Möglichkeit, Master-Studierende Mitarbeiter oder Doktoranden des Bauingenieurwesens oder eines anderen MINT-Faches etc. mit der Vorbereitung von Versuchskonzepten zu betrauen.

7. Versuchsdurchführung

7.1 Vorhandene Prüfnormen-Eine Orientierungshilfe

Zur Versuchsdurchführung empfiehlt sich die Orientierung an Prüfnormen, welche für die meisten Materialien vorhanden sind und auf welche die EC 2-8 Hinweise geben. Diesen Normen lassen sich grundlegende Versuchsaufbauten, Lastaufbringungen, Lagerungsbedingungen und Prüfkörpergeometrien etc. entnehmen. Somit kann eine Versuchsdurchführung „in Anlehnung an“ für eigene Untersuchungen in ähnlicher Weise erfolgen. Als Beispiele wird z.B. auf die „DINEN 12390-13 Prüfung von Festbeton — Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul)“ oder die „DIN 52186 Prüfung von Holz-Biegeversuche“ verwiesen.



Legende

—	Belastungszyklus
—	Belastungszyklus für die Bestimmung des anfänglichen Elastizitätsmoduls — Verfahren A
— · — · —	Belastungszyklus für die Bestimmung des stabilisierten Elastizitätsmoduls — Verfahren A
σ	aufgebrachte Spannung in MPa
σ_a	obere Prüfspannung — $fc/3$
σ_b	untere Prüfspannung — $0,10 \times fc \leq \sigma_b \leq 0,20 \times fc$
σ_p	Vorbelastungsspannung — $0,5 \text{ MPa} \leq \sigma_p \leq \sigma_b$
t	Zeit in s

Bild 4 Prüfzyklus für die Bestimmung des anfänglichen und des stabilisierten Elastizitätsmoduls v. Festbeton nach DINEN 12390-13

Seite 2 DIN 52 186

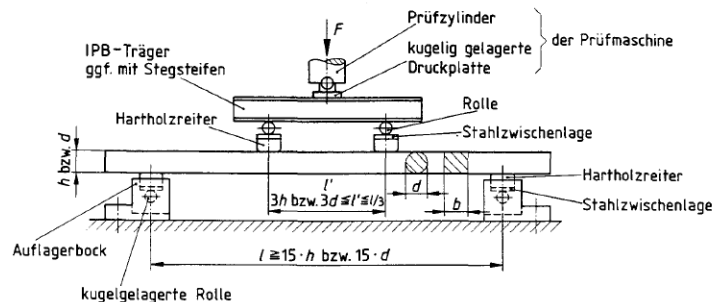


Bild 3. Versuchsanordnung für die Prüfung von Kantholz und Rundholz (Gebrauchsholz) mit Kraftangriff an 2 Punkten*

Bild 5 Versuchsanordnung für die Prüfung von Kantholz und Rundholz nach DIN 52186

7.2 Meßstellenplan

Anhang D der DINEN 1990 gibt u.a. konkrete Hinweise zur Aufstellung eines Messplanes:

Messplan: Vor der Versuchsdurchführung sollten alle maßgebenden Eigenschaften, die an jedem einzelnen Prüfkörper gemessen werden sollen, aufgelistet werden. Darüber hinaus sollte eine Liste für Folgendes erstellt werden:

- die Messstellen;
- die Verfahren zum Aufzeichnen von Ergebnissen, z. B. für — Zeitverläufe der Verlagerungen, — Geschwindigkeiten, — Beschleunigungen, — Dehnungen,

- *Kräfte und Drücke,*
- *Messgenauigkeiten, und*
- *geeignete Messgeräte.*

7.3 Praktische Hinweise zur Versuchsdurchführung [6, 7, 8,9]

Praktische Hinweise

Ein wesentlicher Faktor einer gelungenen Versuchsdurchführung ist die Auswahl und Installation der geeigneten einer Datenerfassungs-Software (z.B. Cadman-Easy), welche vor den jeweiligen Versuchen einer rechtzeitigen und intensiven Einarbeitung bedarf.

Von besonderer Bedeutung ist die Dokumentation des Versuchsablaufs in Form von Zeichnungen, Fotografien und Beschriftung der Meßstellen. Die Versuchskörper sind eindeutig zu codieren, die Versuchseinrichtung, der Versuchszeitpunkt sind gut lesbar darzustellen, sodass auch aus einer fotografischen Dokumentation eine eindeutige Zuordenbarkeit der jeweiligen Versuchsdurchläufe erkennbar ist. Verlaufskurven, wie z.B. Kraft-Verformungsdiagramme sind eindeutig und unverwechselbar den jeweiligen Versuchsdurchläufen zuzuordnen. Bereits vor den Versuchsterminen sind die codierten und vorbereiteten Unterlagen am Versuchsort bereit zu halten. Es ist in Abhängigkeit der vorhandenen Versuchsausrüstung festzulegen, welche Methode einer mechanischen Prüfung gewählt wird (kraftgeregelt oder weggeregelte Verfahren), wobei sich bei dem Verfahren nach dem **Grenzzustand der Tragfähigkeit** das **kraftgeregelte**, beim Nachweis über den **den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** das **weggeregelte** Verfahren anbietet.

In der Vorbereitungsphase der Versuche sind Probedurchgänge auszuführen, welche

- a) eine Kalibrierung der krafteinleitenden und messenden Komponenten des Versuchsaufbaus bei unterschiedlichen Teilwerten ermöglichen
- b) laststeigernd ausgeführt werden, bei ca. 30% der erwarteten Bruchlast beginnend, in 20-er Schritten bis zur erwarteten Bruchlast gesteigert werden.
- c) ausreichende Schutzmaßnahmen gegenexplosionsartige Versagen bei einer zerstörenden Prüfung berücksichtigen.

Besonderer Hinweis für die Durchführung

Bei zerstörenden Prüfungen soll sowohl krafteinleitenden wie auch messenden Komponenten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da die hohe kinetische Bruchenergie zur Zerstörung der Prüfeinrichtung führen kann. Es empfiehlt sich, bei zerstörenden Prüfungen die Anwendung einer berührungslosen Meßeinrichtung (z.B. Wegaufnehmer als Laserelement).

8. Auswerteverfahren und Ableitung von Bemessungswerten

Anhang D der EN 1990 geht ausführlich auf Methoden der Versuchsauswertung ein, wobei ein Betrachtungsschwerpunkt auf statistischen Methoden unter Berücksichtigung auftretender Standardabweichungen und des daraus resultierenden Variationskoeffizienten (COV) liegt. Dieser Ansatz setzt voraus, dass eine Mindestanzahl von Einzelversuchen durchgeführt wird, welche dann zu einer entsprechend großen Grundgesamtheit führen. Dieses ist dann der Fall, wenn z.B. ein Einzelbauteil hergestellt wird, für dessen experimentelle Untersuchung eine genügend große Anzahl an Prüfkörpern zur Verfügung steht. Hierbei wird auf eine Mindestanzahl von 3 Prüfkörpern verwiesen. Da die Bestimmung eines COV aus 3 Prüfkörpern keine zuverlässige Aussage zulässt, sollten mindestens 5 oder deutlich mehr (mind. 20) Prüfkörper untersucht werden. Beiwerte zur Ableitung von

Versuchsergebnissen zur Bestimmung des charakteristischen Wertes oder des Bemessungswertes sind angegeben und hängen wesentlich von der Versuchsanzahl, der Streuung und somit vom COV ab. Hierfür werden im wesentlichen zwei Verfahren aufgeführt, nämlich:

D.8.2 Standardisiertes Auswerteverfahren (Methode (a))

D.8.3 Standardisiertes Auswerteverfahren (Methode (b))

Unter Pkt. 6.3.3 des Hauptteils der DIN 1990 *Bemessungswerte für Eigenschaften von Baustoffen oder Bauprodukten* wird für den Bemessungswert eines Baustoffes oder eines Bauproduktes die Gl. angegeben.

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

Der Abminderungsfaktor η beinhaltet außer einem möglichen size-Effekt, sowie Feuchte- und Temperatureinflüssen, „andere maßgebliche Parameter“, welche mit „Ingenieurverstand“ analysiert und berücksichtigt werden sollen.

9. Resümee

Aufbau, Durchführung und Auswertung einer „versuchsgestützten Bemessung“ unterliegen keinen starren Regeln, sondern folgen dem zuvor erwähnten Begriff des „Ingenieurverstandes“. Der Anhang D der DIN EN 1990 liefert dabei wichtige Hinweise zur Dokumentation und Auswertung von Versuchsergebnissen. Die hohe Präzision von numerischen Simulationsprogrammen wie RFEM, ABAQUS, SOFISTIC etc. schafft bei fachgerechter Modellierung von Baustoffen, Bauteilen und Konstruktionen eine zuverlässige Erstellung von Referenzwerten, welche anschließend mit den experimentell erzielten Werten abgeglichen werden müssen. Damit lässt sich ein sehr hohes Zuverlässigkeitsniveau als Voraussetzung für die Nutzung „unregelmäßiger“ Bauprodukte oder Bauarten erzielen. Diese Vorgehensweise eröffnet somit neue und bisher unbeschrittene Wege zu einem innovativen Ingenieur(holz-)bau.

10. Quellen und Literaturhinweise

[1] <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/baukosten-normen>

[2] https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVVTB_2024-1.pdf

[3] <https://www.feuertrutz.de/richtiger-umgang-mit-verwendbarkeitsnachweisen-und-abweichungen-22012014>

[4] Fischer, Alexander Markus (2011): Bestimmung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte zur semiprobabilistischen Bemessung von Stahlbetonkonstruktionen im Bestand. Zugl.: Kaiserslautern, Techn. Univ., Diss., 2010. Als Ms. gedr. Kaiserslautern: Techn. Univ. (Schriftenreihe der Fachgebiete Massivbau und Baukonstruktion, Stahlbau, Werkstoffe im Bauwesen des Studienganges Bauingenieurwesen, Technische Universität Kaiserslautern, 13).

[5] <https://rudolfbaumgart.de/scripte/sicherheit.pdf>

[6] Lambert, Thomas (2023): Fachwerkknoten aus ultrahochfestem Polymerbeton. Bochum: Ruhr-Universität Bochum (Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau / Lehrstuhl für Massivbau, 2023-4).

[7] Lambert, Thomas; Bender, Michél; Becker, Wieland (2021): Experimentelle Untersuchungen zum Materialverhalten von Polymerbeton. Anwendung und Potenzial von Polymerbeton im Bauwesen. In: *Beton- und Stahlbetonbau*. DOI: 10.1002/best.202100012.

[8] <https://www.iexb.de/referenzen/versuchsgestuetzte-bemessung-gemaess-din-en-1992/>

[9] Becker, Wieland; Lambert, Thomas (2024): Holz-Stabbtragwerke mit Polymerbetonknoten als lösbare Verbindungen. In: *Bauen Plus*. ISSN 2663-8125

Heine, Burkhard (2011): Werkstoffprüfung. Ermittlung von Werkstoffeigenschaften ; mit zahlreichen Tabellen. 2., neu bearb. Aufl. München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl. Online verfügbar unter <http://www.vlb.de/GetBlob.aspx?strDisposition=aundstrIsbn=9783446425538>.