

Benno Eierle

Mechanische Kennwerte – vom Versuch zum statischen Nachweis

<Zusammenfassung>

Die Entwickler und Hersteller von Bauprodukten sind nur selten Experten für statische Nachweise. Entsprechend schwierig gestaltet sich die Diskussion mit Prüfinstituten oder Statikern, wenn es um die Bestimmung oder die Verwendung von statischen Kennwerten geht. Während es früher ausreichte, den Mittelwert einer Versuchsreihe auszuwerten, ist heute bereits die statistische Versuchsauswertung hinreichend komplex. Was ist genau gemeint, wenn der Statiker nach dem charakteristischen Wert oder dem Bemessungswert fragt? Der Aufsatz erklärt für den Nicht-Statiker, was bei der Planung und Auswertung von Versuchen zu beachten ist, damit die gewonnenen Kennwerte als Basis für statische Nachweise brauchbar sind. Der gesamte Prozess vom Versuch bis zum statischen Nachweis wird dazu in 10 Einzelschritte unterteilt.

1 Überblick über die Verwendung statischer Kennwerte

Bauprodukte mit statischen Anforderungen sind nicht nur im Rohbau zu finden. Auch im Ausbau müssen Bauteile bemessen werden, die zwar in der Regel „nichttragend“ aber trotzdem sicherheitsrelevant sein können [1]. Beispiele sind Geländer, Trennwände oder Fenster die als Absturzsicherung dienen.

Für den statischen Nachweis werden verschiedene Kennwerte benötigt, die das Verformungsverhalten („Steifigkeit“) und die Tragfähigkeit („Festigkeit“) beschreiben. Für die gängigen Baustoffe des Rohbaus findet man diese Kennwerte (z.B. Elastizitätsmodul und Streckgrenze) problemlos in den entsprechenden Produkt- oder Bemessungsnormen oder noch einfacher in einem Tabellenbuch. Für die Vielzahl an Werkstoffen im Ausbau sind die Kennwerte für den Statiker oft nur mühsam in Erfahrung zu bringen. Hersteller von Produkten sind oft erstaunt über den Aufwand, der notwendig ist, um von einem anerkannten Prüfinstitut entsprechende Werte ermitteln zu lassen, die dann ggf. in einen Verwendbarkeitsnachweis, z.B. eine nationale oder europäische Zulassung, Eingang finden.

2 In 10 Schritten vom Versuch zum statischen Nachweis

Der gesamte Prozess von der Versuchsplanung zum statischen Nachweis wird hier in 10 Schritte gegliedert (Abb. 1). Die Schritte 1 bis 5 werden für ein Bauprodukt oder eine Bauart vom Hersteller in Kooperation mit einem Prüfinstitut durchgeführt. Sie münden in ein Dokument, welches die Kennwerte oder die Produktklassifizierung nach einer Produktnorm bestätigt, und zwar meistens unabhängig von einem konkreten Bauvorhaben. Die Schritte 6 bis 10 obliegen dem Ingenieurbüro, das für ein konkretes Bauvorhaben einen objektbezogenen Nachweis erstellen soll, entweder im Auftrag des Bauherrn (Regelfall beim Rohbau) oder im Auftrag der ausführenden Firma (häufiger Fall im Ausbau). Nachfolgend werden jeweils kurze Erläuterungen und Hinweise zu den 10 Schritten angegeben.

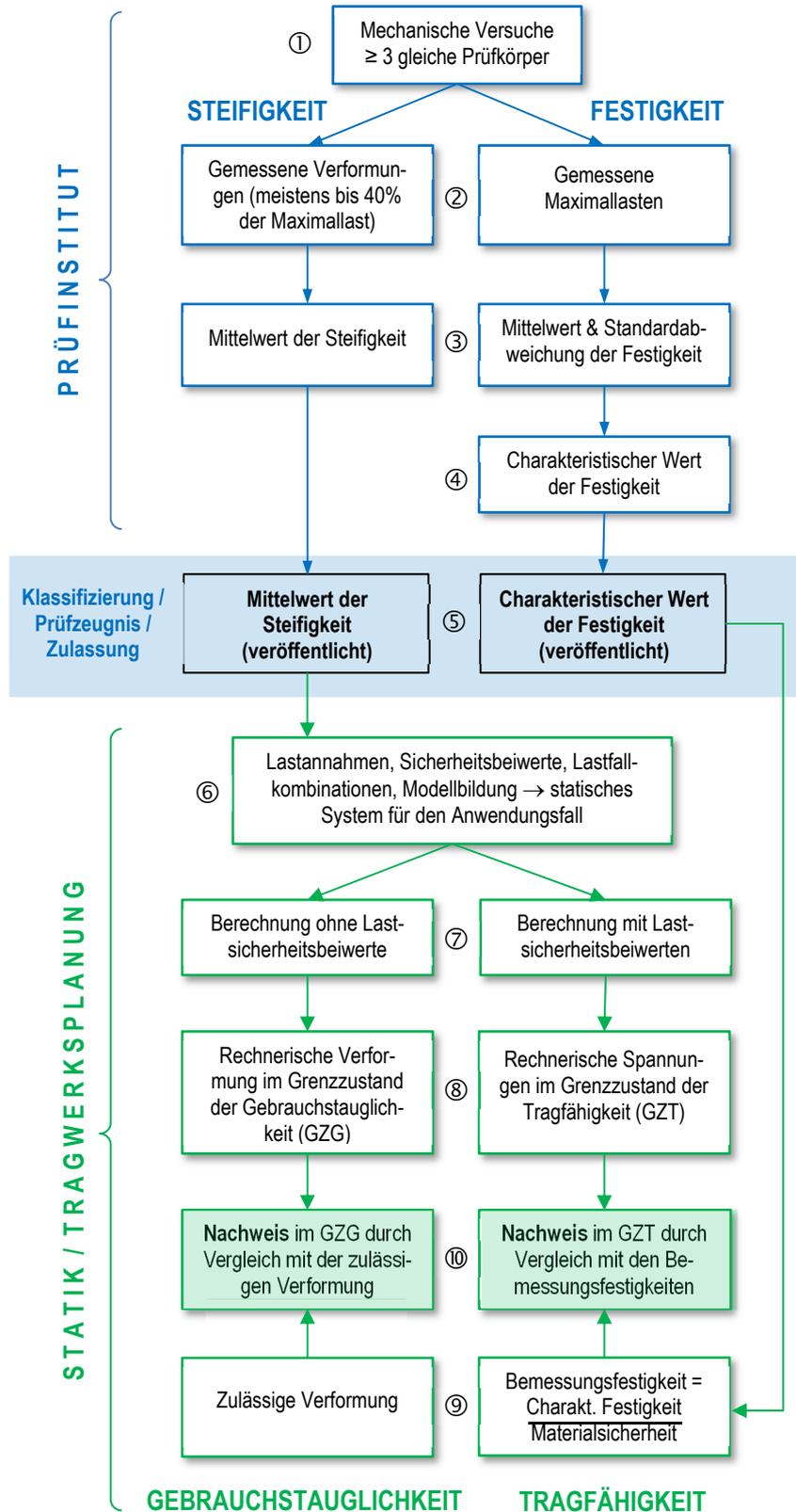


Bild 1. Überblick: Vom Versuch zum statischen Nachweis in 10 Schritten.

3 Vom Versuch zum Kennwert (Schritte 1 bis 5)

Die Schritte 1 bis 5 zeigen die Sichtweise des Herstellers und des Prüfinstituts.

3.1 Schritt 1: Versuchsplanung

Zu Beginn steht die Definition des Ziels: Welche Fragestellung soll die Versuchsreihe beantworten und welche Kennwerte sind dafür zu ermitteln?

Bereits in der Vorplanung ist es sinnvoll, ein erfahrenes Prüfinstitut beratend einzuschalten. Die Auswahl des Prüfinstituts sollte dabei nicht vorrangig nach finanziellen Gesichtspunkten erfolgen. Das vermeintlich billigste Angebot stellt sich am Ende oft als teuer heraus – ein Problem, das den am Bau Beteiligten hinreichend bekannt ist, wenn es um die Vergabe von Bauleistungen geht.

Oft wird über die notwendige Anzahl an Probekörpern diskutiert, die sich in der Regel zwischen 3 und 30 bewegt. Wenn es nur um das Verformungsverhalten (Steifigkeit) geht, dann reichen meistens wenige Versuche, aus denen der Mittelwert gebildet wird. Eine höhere Anzahl von Probekörpern bringt dabei keinen wesentlichen Vorteil. Ganz anderes bei einer Festigkeitsuntersuchung: Hierbei hat die Anzahl der Probekörper einen entscheidenden Einfluss auf die statistische Auswertung. Wenige Probekörper bedeuten eine unsichere Datenbasis und werden in der Auswertung „bestraft“. Es kann und wird sich daher in der Regel lohnen, bei Festigkeitsuntersuchungen mehr Geld in die Versuche zu investieren, weil mehr Probekörper – bei gleicher Materialqualität – am Ende zu besseren Kennwerten führen (vgl. hierzu Schritt 4).

Beispiel:

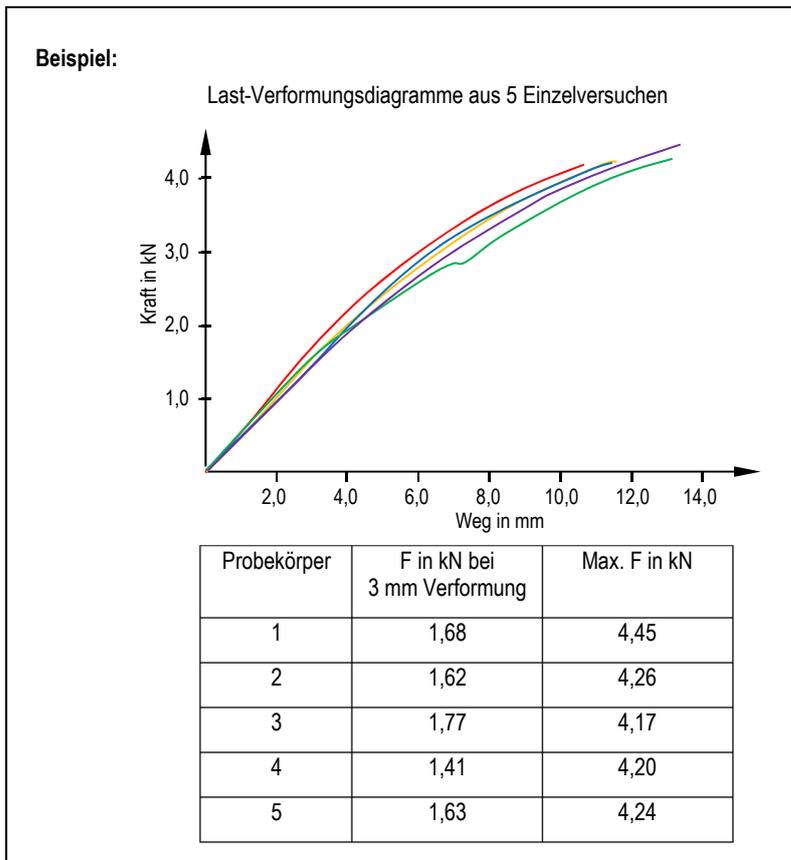
- Ziel: Bestimmung der Tragfähigkeit einer Konsole zur Fassadenbefestigung. Zusätzlich soll die Kraft bei 3 mm Verformung (= zulässiger Wert) ermittelt werden.
- Versuchsplanung: 5 gleichartige Probekörper werden bis zum Bruch belastet (Festigkeit). Im gleichen Versuch wird jeweils auch die Kraft bei 3 mm Verformung ausgewertet (Steifigkeit).

3.2 Schritt 2: Durchführung der Versuche

In mechanischen Versuchen wird typischerweise der Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung gemessen und als Diagramm dargestellt. Für jeden Probekörper werden ausgewertet:

- **Festigkeit:** Maximale Last
- **Steifigkeit:** Verformungsverhalten, z.B. als Steigung der Kraft-Verformungskurve in einem bestimmten Intervall (oft zwischen 10% und 40% der Maximalkraft)

Welche Kriterien angelegt werden (Was genau ist das Versagen? In welchem Bereich der Last-Verformungs-Kurve wird die Steifigkeit bewertet?) hängt vom Werkstoff und der jeweiligen Prüfnorm ab.



3.3 Schritt 3: Statistische Auswertung der Versuche

Bei der statistischen Auswertung zeigt sich das unterschiedliche Sicherheitsniveau, das bei statischen Nachweisen verwendet wird. Die Steifigkeit bestimmt das Verformungsverhalten, das in der Statik im Regelfall zur „Gebrauchstauglichkeit“ gehört. Hier wird mit dem Mittelwert des Werkstoffverhaltens gearbeitet, da es sich – bis auf wenige Ausnahmen – nicht um ein sicherheitsrelevantes Bemessungskriterium handelt.

Bei den Festigkeiten soll dagegen ein unterer Grenzwert ermittelt werden, der sogenannte charakteristische Wert. Dafür wird als weitere Größe die Standardabweichung (bzw. der Variationskoeffizient) benötigt. Die Berechnung dieser Größen hängt von der angenommenen Verteilungsfunktion ab. Am bekanntesten und oft verwendet ist die Normalverteilung. Allerdings hat diese Verteilung für die Auswertung der Festigkeiten Nachteile. Hier kann es – je nach Streuung der gemessenen Werte – vorkommen, dass sich rechnerisch negative Werte ergeben, was physikalisch nicht sinnvoll ist. Als Alternative wird in einigen Normen die logarithmische Normalverteilung angegeben [2,3,8], deren Anwendung sich insbesondere bei größeren Streuungen anbietet.

Tabelle 1: Statistische Auswertung (Bezeichnungen nach EC0, Anhang D)

Bezeichnungen nach EC0, Anhang D	Normalverteilung	Log-Normalverteilung
Mittelwert m	$m_x = \frac{1}{n} \sum x_i$	$\left\{ m_y = \frac{1}{n} \sum \ln(x_i) \right\}$
Standardabweichung der Stichprobe s	$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2}$	$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln(x_i) - m_y)^2}$
Variationskoeffizient V	$V = s / m$	

Beispiel:

Auswertung im Beispiel (in Klammern die Werte für die Log-Normalverteilung):

Probekörper 1 - 5	Kriterium GZG F bei 3 mm Verformung	Kriterium GZT Max. F
Mittelwert	1,62 kN	4,26 kN (1,45) ²⁾
Standardabweichung	Nicht relevant	0,110 kN ¹⁾ (0,025) ²⁾

¹⁾ Die Standardabweichung ist hier aufgrund der geringen Streuung sehr gering. Ggf. muss ein Mindestwert angesetzt werden, z.B. 5% des Mittelwerts [3]

²⁾ Die Auswertung auf Basis des Logarithmus ergibt Werte, denen keine physikalische Einheit zugeordnet werden kann.

3.4 Schritt 4: Charakteristischer Wert der Festigkeit

Der charakteristische Wert soll die Festigkeit des Werkstoffs angeben, die bei 95% aller Bauteile überschritten wird (5%-Quantil). Eine vereinfachte Betrachtung zur Veranschaulichung, die mathematisch nicht ganz korrekt ist: Würde man 100 Probekörper testen, könnten man vereinfacht den fünft-schlechtesten Wert verwenden.

Da man in der Praxis jedoch deutlich weniger als 100 Proben testet, muss man aus dieser begrenzten Stichprobe abschätzen, was der charakteristische Wert sein könnte. Auch dies ist wieder mit einer Unsicherheit verbunden, da nicht bekannt ist, aus welchem Bereich der Verteilung die n Probekörper zufällig ausgewählt wurden. Klar ist, dass diese Unsicherheit mit wachsender Anzahl n geringer wird. Ohne auf die komplexen mathematischen Hintergründe einzugehen, sei hier noch auf den Begriff der „Aussagewahrscheinlichkeit“ hingewiesen, der angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit der berechnete charakteristische Wert auf der sicheren Seite liegt. Im Bauwesen üblich sind Auswertungen mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von

- $W = 75\%$ (z.B. im Holzbau [3, 8], bei tragenden Kunststoffbauteilen [10] und bei Sandwich-Elementen [7]),
- $W = 90\%$ (z.B. in der Dübeltechnik nach EC2-4 und bei Metallunterkonstruktionen des Trockenbaus [6,9])

- $W = 95\%$ (z.B. für Glas nach DIN 18008-1).

Je höher die Aussagewahrscheinlichkeit angesetzt wird, desto konservativer das Ergebnis.

Beispiel: Die unbekannte charakteristische Tragfähigkeit eines Bauteils liegt mit 75%-iger Wahrscheinlichkeit oberhalb von 4,0 kN. Dann würde der Wert 4,0 kN mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% zu hoch angesetzt sein. Will man die Aussage besser absichern, dann verwendet man eine Aussagewahrscheinlichkeit von 90%, was zu einer Verringerung der charakteristischen Tragfähigkeit auf z.B. 3,9 kN führt.

Weiterhin wird unterschieden, ob für das Produkt die Standardabweichung bekannt ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn es sich um ein Serienprodukt handelt, für das bereits viele Tests durchgeführt wurden, und dessen Eigenschaften im Zuge der Produktionskontrolle überwacht werden.

Die genannten Überlegungen münden in ein einfaches Berechnungsverfahren (Tab. 2) mit einem dimensionslosen Beiwert k_s , der vom Stichprobenumfang n und der gewünschten Aussagewahrscheinlichkeit W abhängt.

Tabelle 2: Bestimmung des charakteristischen Wertes R_k für die Festigkeit

Normalverteilung	Log-Normalverteilung
$R_k = m_x - k_s(n) \cdot s_x$	$R_k = e^{(m_y - k_s(n) \cdot s_y)}$

Für den Variationskoeffizient V wird in einigen Vorschriften ein Mindestwert von 0,05 angegeben, z.B. in [2] und [3]. Dies entspricht einer Untergrenze für die anzusetzende Standardabweichung s_x von 5% des Mittelwerts bei der Normalverteilung. Bei der logarithmischen Normalverteilung s_y ist die Standardabweichung dann mindestens mit 0,05 anzusetzen (Tab. 3). Im EC 0 [2] wird ein Variationskoeffizient von mind. 0,10 empfohlen.

Tabelle 3: Üblicher Mindestwert der Standardabweichung zur Berechnung der charakteristischen Festigkeit R_k

Normalverteilung	Log-Normalverteilung
$s_x \geq 0,05 \cdot m_x$	$s_y \geq 0,05$

Der Beiwert $k_s(n)$ ist in diversen Literaturquellen und Regelwerken definiert. Er hängt entscheidend von der Aussagewahrscheinlichkeit und der Anzahl der Versuche n ab, und ist deshalb für den jeweiligen Anwendungsfall durch das Prüfinstitut zu ermitteln.

In Deutschland wird in der Regel auf eine Veröffentlichung des DIBt Bezug genommen (Tab. A2.1 in [4]). Die Werte sind in Tab. 4 für die 5% Fraktile wiedergegeben. Auch in diversen Normen werden die Werte aus [4] verwendet, z.B. in [3,6,7,8,9].

Tabelle 4: 5%-Fraktalfaktor $k_s(n)$ für die Aussagewahrscheinlichkeit W bei unbekannter Standardabweichung [4]

Anzahl Versuche $n =$	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50
$W = 95\%$	7,66	5,14	4,21	3,71	3,40	3,19	3,03	2,91	2,57	2,40	2,22	2,07
$W = 90\%$	5,31	3,96	3,40	3,09	2,89	2,75	2,65	2,57	2,33	2,21	2,08	1,97
$W = 75\%$	3,15	2,68	2,46	2,34	2,25	2,19	2,14	2,10	1,99	1,93	1,87	1,81

Im Anhang D des Eurocode 0 [2], der in Deutschland nicht in die VV-TB aufgenommen wurde, sind Fraktalfaktoren angegeben, die von Tab. 4 abweichen. Die zugehörige Aussagewahrscheinlichkeit ist in [2] nicht genannt.

Im Beispiel ergeben sich ohne Berücksichtigung der Untergrenze für die Standardabweichung annähernd gleiche charakteristischen Festigkeiten für beide Normalverteilungen:

<p>Beispiel (ohne Untergrenze für die Standardabweichung):</p> <p>Auswertung auf Basis der Normalverteilung mit $n = 5$ und $W = 75\%$:</p> $R_k = m_x - k_s(n) \cdot s_x = 4,26 - 2,46 \cdot 0,110 = 3,99 \text{ kN}$ <p>Auswertung auf Basis der Log-Normalverteilung mit $n = 5$ und $W = 75\%$:</p> $R_k = e^{(m_y - k_s(n) \cdot s_y)} = e^{(1,45 - 2,46 \cdot 0,025)} = e^{1,3885} = 4,01 \text{ kN}$

Bezieht man einen ggf. normativ geforderten Mindestwert der Standardabweichung (z.B. Variationskoeffizient mind. 0,05 nach [3]) in die Auswertung mit ein, führt dies im vorliegenden Fall zu schlechteren Kennwerten:

<p>Beispiel (mit Untergrenze für die Standardabweichung):</p> <p>Auswertung auf Basis der Normalverteilung mit $n = 5$ und $W = 75\%$:</p> $R_k = m_x - k_s(n) \cdot \min s_x = 4,26 - 2,46 \cdot (0,05 \cdot 4,26) = 3,74 \text{ kN}$ <p>Auswertung auf Basis der Log-Normalverteilung mit $n = 5$ und $W = 75\%$:</p> $R_k = e^{(m_y - k_s(n) \cdot \min s_y)} \cong e^{(1,45 - 2,46 \cdot 0,05)} = e^{1,327} = 3,77 \text{ kN}$
--

In einem Gedankenexperiment soll anhand des Beispiels gezeigt werden, wie sich ein weiterer Probekörper auswirkt. Sofern der zusätzliche Probekörper ein Maximalkraft im Bereich des bisherigen Mittelwerts aufweist, verbessern sich die Ergebnisse (geringere Standardabweichung und besserer Wert k_s). Interessant ist die Auswirkung, die ein Ausreißer nach oben bewirkt: Es wird angenommen, dass ein 6. Probekörper mit einer Maximalkraft von 4,85 kN geprüft wurde. Daraus ergeben sich folgende Kennwerte:

Beispiel mit zusätzlichem 6. Probekörper (Ausreißer nach oben):

Probekörper 1 - 6	Kriterium GZT Max. F	
	Normalverteilung	Log-Normalverteilung
m	4,36 kN	1,47
s	0,259 kN ¹⁾	0,057 ¹⁾
$k_s(n = 6)$	2,46	
R_k	3,72 kN	3,81 kN

¹⁾ Der Variationskoeffizient ist hier jeweils größer als 0,05.

Der 6. Probekörper, dessen Einzelwert deutlich besser ist als der bisherige Mittelwert, verschlechtert das Ergebnis, zumindest bei einer Auswertung nach der Normalverteilung. Die Erklärung dieses scheinbaren Widerspruchs: Ein Ausreißer – egal ob nach unten oder nach oben - vergrößert die Streubreite der Normalverteilung, die sich in der Standardabweichung niederschlägt. Trotz der gleichzeitigen Erhöhung des Mittelwerts und des günstigeren k_s -Beiwertes kann dies zu einer Verschlechterung des Kennwerts führen. Bei der Log-Normalverteilung ist der Effekt geringer. Die Ergebnisse der beiden Verteilungen unterscheidet sich nun stärker als vorher.

3.5 Schritt 5: Veröffentlichte Werte

Auf Basis der mathematischen Modelle und Auswertungen aus Schritt 3 und 4 werden nun die Werte ermittelt, die veröffentlicht werden. Dies können exakt die Werte aus Schritt 3 und 4 sein. In vielen Fällen findet jedoch eine Klassifizierung statt, d.h. der Werkstoff wird einer „Klasse“ zugeordnet, die normativ definierte Festigkeitswerte hat.

Produktabhängig werden die Ergebnisse in Prüfberichten, Prüfzeugnissen, Zulassungen oder Leistungserklärungen veröffentlicht. Diese Dokumente dienen als Schnittstelle zur statischen Berechnung.

Beispiel: Auswertung auf Basis der Probekörper 1-5:

- Federkonstante zur Verformungsberechnung (gültig bis 3 mm): $c = F_{3 \text{ mm}} / 3 \text{ mm} = 0,54 \text{ kN/mm}$
- Charakteristische Festigkeit: $F_{Rk} = 4,0 \text{ kN}$ (gerundet)

4 Vom Kennwert zum statischen Nachweis (Schritte 6 bis 10)

Die Schritte 6 bis 10 zeigen die Sichtweise des Tragwerksplaners.

4.1 Schritt 6: Modellbildung

Für die statische Berechnung wird die Realität in ein Modell überführt. Dieser Schritt beinhaltet gewisse Idealisierungen, Annahmen und Vereinfachungen. Teilweise – z.B. bei den Lastannahmen – existieren normative Vorgaben. In anderen Bereichen – z.B. bei der Wahl des statischen Systems – gibt

es in der Tragwerksplanung einen gewissen Spielraum, welche Genauigkeit als notwendig oder sinnvoll erachtet wird. Durch die Idealisierungen liegt ein Berechnungsmodell tendenziell auf der sicheren Seite. Daher werden in einem Versuch im Regelfall bessere Eigenschaften erreicht als im Rechenmodell vorhergesagt. Das ist nicht als Fehler oder Schwäche des Modells zu werten, sondern liegt in der Natur der Sache.

4.2 Schritt 7: Berechnung

Die statische Berechnung kann von Hand oder mit einer Software erfolgen. Es werden dabei zwei Szenarien untersucht:

- a) Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit (GZG), d.h. die Berechnung von Verformungen oder Schwingungen auf Basis von Mittelwerten der Steifigkeiten und ohne Ansatz von Lastsicherheitsbeiwerten. Man könnte sagen, dass dies eine relativ realistische Vorhersage der Systemverhaltens darstellt. Da die Realität streut, sind in am Bauwerk in manchen Fällen auch Überschreitung der Berechnungsergebnisse zu erwarten und zu akzeptieren.
- b) Untersuchung der Tragfähigkeit (GZT), d.h. die Berechnung von Schnittgrößen und Spannungen. Hierbei werden auch die Verbindungs- und Auflagerpunkte betrachtet, da die Lastabtragung als lückenlose „Kette“ bis ins Fundament gewährleistet sein muss. Diese Berechnung erfolgt ebenfalls auf der Basis von Mittelwerten der Steifigkeiten (außer bei Stabilitätsproblemen, z.B. bei Knicknachweisen), jedoch werden nun die Bemessungslasten angesetzt, die sich aus den charakteristischen Lasten durch Multiplikation mit Lastsicherheitsbeiwerten ergeben. Es wird also ein „worst-case“-Szenario untersucht, das nur in sehr seltenen Ausnahmefällen am Bauwerk auftreten wird. Dadurch wird sichergestellt, dass eine sichere Tragkonstruktion geplant wird, die mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht versagt.

4.3 Schritt 8: Auswertung der Berechnung

Aus einer Vielzahl von Ergebnissen aus Schritt 7 (verschiedene Lastkombinationen, verschiedene Konstruktionen) wählt der Tragwerksplaner die maßgebenden Nachweisstellen aus. Dieser „Filter“ enthält wiederum Vereinfachungen, die in der Regel auf der sicheren Seite liegen. Z.B. wird von 10 gleichartigen Balken nur der ungünstigste bemessen und die anderen 9 werden gleich ausgeführt. Die Details der Konstruktion, z.B. die Bewehrung von Betonbauteilen oder die Schrauben in Stahlverbindungen, werden basierend auf den Berechnungsergebnissen durch den Statiker festgelegt

Beispiel (fiktive Berechnungsergebnisse ohne Rechenweg):

- Kraft im GZG (1,0-fache Lasten): $F_{Ek} = 1,77 \text{ kN}$
- Kraft im GZT (1,5-fache Lasten): $F_{Ed} = 2,66 \text{ kN}$
- Bruchlast nach ETB-Richtlinie (Stoßlast, außergew. Lastfall): $F_u = 2,8 \text{ kN}$ [5]

4.4 Schritt 9: Ermittlung der „zulässigen“ Werte

Für die zulässige Verformung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gibt es meist Empfehlungen oder Vorgaben in den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Ansonsten legt der Planer einen

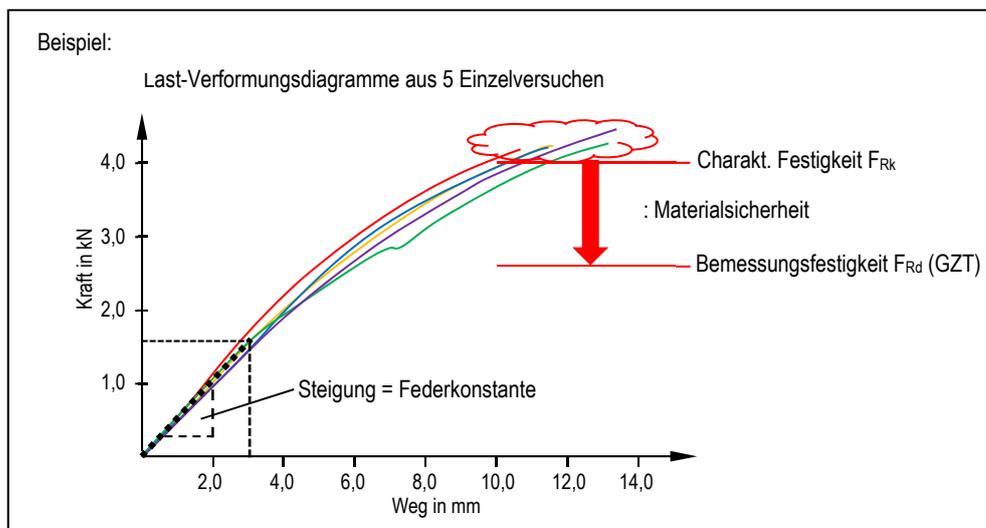
geeigneten Grenzwert für die Nutzung der Konstruktion in Abstimmung mit dem Bauherrn fest.

Die Bemessungsfestigkeit ergibt sich aus dem in Schritt 5 ermittelten charakteristischen Wert abgemindert durch einen Material Sicherheitsbeiwert γ_M . Dieser Beiwert berücksichtigt die Streuung in den Materialeigenschaften. Bauprodukte, die auf der Baustelle hergestellt werden, wie z.B. Beton oder Mauerwerk, haben stärkere Abminderungen als industrielle hergestellte Produkte wie Baustahl. Der Material Sicherheitsbeiwert ist in der Regel normativ oder seltener im Verwendbarkeitsnachweis festgelegt und liegt meistens zwischen 1,0 und 1,5, in manchen Fällen auch darüber.

Weiterhin werden in diesem Schritt Einflüsse auf die Festigkeit berücksichtigt, die im Versuch (Schritt 1) keine Rolle spielten, z.B. die Lasteinwirkungsdauer oder Klimaeinflüsse. In der Regel handelt es sich um Abminderungsfaktoren, da die Laborbedingungen günstiger sind als die Bedingungen am Bauwerk.

Beispiel: Auswertung auf Basis der Probekörper 1-5:

- Federkonstante (gültig bis 3 mm): $c = 0,54 \text{ kN/mm}$
- Bemessungswiderstand im GZT ($\gamma_M = 1,5$): $F_{Rd} = 4,0 \text{ kN} / 1,5 = 2,67 \text{ kN}$



4.5 Schritt 10: Nachweis

Als letzter Schritt erfolgt der Nachweis durch den Vergleich des Grenzwertes (Schritt 9) mit dem berechneten Wert (Schritt 8). Oft wird der Quotient gebildet, der den Ausnutzungsgrad darstellt.

Auswertung im Beispiel:

- GZG: Verformung $w = F_{Ek} / c = 1,76 \text{ kN} / 0,54 \text{ kN/mm} = 3,3 \text{ mm} > 3 \text{ mm} \rightarrow$ Nachweis GZG nicht erfüllt
- GZT: $F_{Ed} = 2,66 \text{ kN} \cong F_{Rd} = 2,67 \text{ kN}$
Ausnutzungsgrad $2,66 / 2,67 \cong 1,0 \rightarrow$ Nachweis GZT erfüllt
- Anprall: $F_u = 2,8 \text{ kN} < F_{Rk} = 4,0 \text{ kN} \rightarrow$ Nachweis ETB erfüllt

Insgesamt ist der Nachweis nicht erfüllt, da eines von drei Kriterien nicht erfüllt wird. Die Konstruktion im Beispiel ist zwar standsicher (ausreichende Festigkeit) aber nicht gebrauchstauglich (zu geringe Steifigkeit).

Bei bestimmten Gebäudeklassen und Sonderbauten wird die statische Berechnung durch eine/n Prüflingenieur/in oder eine/n Prüfsachverständige/n geprüft. Die Details sind in den 16 Bundesländern unterschiedlich geregelt. Sofern eine Prüfpflicht besteht, darf erst nach der Prüffreigabe gebaut werden. Die Prüfung bezieht sich in erster Linie auf die Tragfähigkeit. In der gezeigten Beispielrechnung kann der Prüflingenieur also die Ausführung durchaus freigeben, obwohl das Gebrauchstauglichkeitskriterium nicht erfüllt ist. Ggf. erfolgt im Prüfbericht ein Hinweis auf die eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit, die letztendlich zivilrechtliche Haftungsrisiken für den Planer und die ausführende Firma nach sich ziehen kann.

5 Zusammenfassung

Gerade in den Ausbaugewerken werden oft Versuche als Basis für statische Nachweise herangezogen. Der Hersteller des Produkts und das beauftragte Prüfinstitut ermitteln die Kennwerte (Schritte 1 bis 5), die in den statischen Nachweis des Tragwerksplaners (Schritte 6 bis 10) eingehen. Für alle Beteiligten ist ein Verständnis für den gesamten Nachweisweg wichtig, damit die einzelnen Nachweisschritte ineinandergreifen.

Literatur

- [1] Kathage, K.: Aktuelles zu EN 1090-1. In: DIBt-Newsletter 2/2017, https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Newsletter/2017_02.pdf
- [2] DIN EN 1990 (Eurocode 0): Grundlagen der Tragwerksplanung. Ausgabe 2010-12.
- [3] DIN EN 14358: Holzbauwerke – Berechnung und Kontrolle charakteristischer Werte. Ausgabe 2016-11
- [4] Zulassungsgrundlagen, 1986: Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren. Institut für Bautechnik. Berlin, 1986.
- [5] Eierle, B.; Rimböck, R.: Dynamische Einwirkungen auf absturzsichernde Bauteile im Hochbau. Bautechnik 89 (2012), H. 4, S. 238-248
- [6] DIN EN 14195: Metall-Unterkonstruktionsbauteile für Gipsplatten-Systeme. Ausgabe 2015-03
- [7] DIN EN 14509: Selbsttragende Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten, Ausgabe 2013.
- [8] DIN EN 1058: Holzwerkstoffe – Bestimmung der charakteristischen 5%-Quantilwerte und der charakteristischen Mittelwerte. Ausgabe 2010-04.
- [9] DIN EN 13964: Unterdecken – Anforderungen und Prüfverfahren. Ausgabe 2014-08.

[10] Bau-Überwachungsverein (BÜV e.V.): Tragende Kunststoffbauteile – Entwurf-Bemessung-Konstruktion. Springer Vieweg, Berlin 2014.

Autor:

Prof. Dr. Benno Eierle

Technische Hochschule Rosenheim

Hochschulstr. 1

83024 Rosenheim

Email: benno.eierle@th-rosenheim.de