

2.1 Lastannahmen, Einwirkungen

Grundlagen der Tragwerkplanung, Sicherheitskonzept und Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1055-100

Allgemeine Anforderungen

Ein Bauwerk muss so entworfen und ausgeführt werden, dass es

- a. alle während der Errichtung, Instandsetzung und planmäßigen Nutzung möglicherweise auftretenden Einwirkungen und Einflüsse mit angemessener Zuverlässigkeit und Sicherheit trägt, ohne zu versagen oder unzulässig große Verformungen zu erleiden,
- b. außergewöhnliche Ereignisse wie Feuer, Brand, Explosion oder Aufprall eines Fahrzeuges übersteht, ohne in einem Maße beschädigt zu werden, das in keinem Verhältnis zur Schadensursache steht,
- c. Einwirkungen infolge Erdbebens übersteht ohne zu versagen,
- d. während der vorgesehenen Nutzungsdauer neben seiner Tragfähigkeit auch seine Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bei angemessenem Unterhaltungsaufwand behält.

Die Gebrauchstauglichkeit ist nicht mehr gegeben, wenn das Bauwerk die für seine geplante Nutzung und das Wohlbefinden der zu dieser Nutzung gehörenden Personen erforderlichen Bedingungen und Voraussetzungen nicht mehr erfüllt. Zu

diesen Bedingungen gehört neben dem einwandfreien Funktionieren des Bauwerks z. B. auch ein einwandfreies optisches Erscheinungsbild.

Für das Bauwerk ist bei der Planung ein Tragsystem zu wählen, das

- gegen außergewöhnliche Gefährdungen weitgehend unempfindlich ist,
- bei einer örtlichen Beschädigung oder beim Ausfall eines begrenzten Teiles des Tragwerks nicht insgesamt versagt.

Wo immer angezeigt und möglich, sind vorsorglich konstruktive Maßnahmen zu treffen, die eine Gefährdung des Bauwerks durch außergewöhnliche Einwirkungen wie den Aufprall eines Fahrzeuges ausschließen oder doch jedenfalls merklich vermindern.

Beim Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind alle Zustände bzw. Situationen zu berücksichtigen, die während der Errichtungsphase und geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks auftreten können. Die Menge dieser Situationen ist einzuteilen in

- die Gruppe der planmäßig während der gesamten Nutzungszeit auftretenden – also in diesem Sinne ständigen – Situationen,
- die Gruppe der vorübergehend und zeitlich begrenzt auftretenden Situationen, wie z. B. die Situationen im Bauzustand oder während irgendwelcher Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten,
- die Gruppe der außergewöhnlichen Situationen, wie sie z. B. durch Feuer und Brand, Explosion oder den Aufprall eines Fahrzeugs entstehen und
- die Situation bei einem Erdbeben.

Diese Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit kann verloren gehen durch

- Verlust des Gleichgewichts
- übermäßige Verformung
- Übergang in eine sogenannte kinematische Kette
- Verlust der Stabilität und Übergang in einen Zustand des indifferenten oder labilen Gleichgewichts
- Ermüdung des Materials oder Wirksamwerden eines anderen Langzeitphänomens
- Bruch eines Bauteils mit oder ohne Vorankündigung (letzteres ist unbedingt zu vermeiden).

Tab. 2.1 Klassifizierung von Bauten im Hinblick auf die Nutzungsdauer

Klasse	Geplante Nutzungsdauer in Jahren	Beispiel
1	1 bis 5	Tragwerke mit befristeter Standzeit
2	25	Austauschbare Tragwerksteile, z. B. Kranbahnträger, Lager
3	50	Gebäude und andere gewöhnliche Tragwerke
4	100	Monumentale Gebäude, Brücken und andere Ingenieurbauwerke

Tabelle 2.1 zeigt die Einteilung der Bauwerke hinsichtlich der Nutzungsdauer.

Einwirkungen auf ein Bauwerk; Beanspruchung und Beanspruchbarkeit eines Bauwerks

Es gibt ständige und veränderliche Einwirkungen, statische und dynamische Einwirkungen, Brandeinwirkungen und Umwelteinflüsse. Alle diese Einwirkungen werden durch Modelle erfasst, deren für ein Bauwerk denkbar ungünstigen Werte oder – vereinfacht gesagt – größtmöglichen Werte in den verschiedenen Teilen von DIN 1055 angegeben sind.

Freilich darf ein Bauwerk nicht so entworfen werden, dass es sofort bei Erreichen dieser größtmöglichen Werte versagt. Vielmehr muss ein gewisser Sicherheitsabstand entstehen zwischen dem Erreichen dieser größtmöglichen Werte und dem Versagen des Bauwerkes. Deshalb wird das Bauwerk bei seiner Bemessung rechnerisch nicht diesen größtmöglichen Werten der Einwirkungen – „charakteristischen Werten“ – unterworfen sondern sogenannten Bemessungswerten, das sind – im einfachsten Fall – die mit einem Last-Teilsicherheitsbeiwert γ_F multiplizierten größtmöglichen Werte.

Analog lassen sich zu den Nominalwerten der Abmessungen von Bauwerk und Bauteilen sowie den – in den verschiedenen Normen gegebenen – Festigkeiten usw. der Baumaterialien und des Baugrundes – ebenfalls „charakteristische Werte“ – unter Verwendung von Material-Teilsicherheitsbewertungen γ_M – und gegebenenfalls Maß-Abschlägen – Bemessungswerte dieser Größen errechnen.

Mit diesen beiden Datensätzen – den Bemessungswerten der Einwirkungen und den Bemessungswerten der Bauwerksdaten – können nun unter Verwendung eines geeigneten Algorithmus in einer Strukturanalyse des zugehörigen Tragwerks die Bemessungswerte der Beanspruchung des Bauwerks ermittelt werden, unter anderen also die Bemessungswerte der Verschiebungen der einzelnen Punkte des Bauwerks, der Verformungen seiner einzelnen Teile und der in ihnen wirksamen Schnittgrößen, das sind die Resultierenden der zugehörigen Spannungen.

Tab. 2.2 Struktur des Bemessungskonzepts

Grenzzustand	Tragfähigkeit	Gebrauchstauglichkeit
Anforderungen	Sicherheit von Personen	Wohlbefinden von Personen
	Sicherheit des Tragwerks	Funktion des Tragwerks
		Erscheinungsbild
Nachweiskriterien	Verlust der Lagesicherheit	Verformungen und Verschiebungen
	Festigkeitsversagen	Schwingungen
	Stabilitätsversagen	Schäden (einschließlich Rissbildung)
	Versagen durch Materialermüdung	Schäden durch Materialermüdung
Bemessungssituationen	Ständige	Charakteristische
	Vorübergehende	Seltene
	Außergewöhnliche	Häufige
	Erdbeben	Quasi-ständige
Beanspruchung	Bemessungswert der Beanspruchung	Bemessungswert der Beanspruchung
	Z. B.: destabilisierende Einwirkungen, Schnittgrößen	Z. B.: Spannungen, Rissbreiten, Verformungen
Widerstand	Bemessungswert des Tragwiderstandes (Beanspruchbarkeit)	Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums
	Z. B.: stabilisierende Einwirkungen, Materialfestigkeiten, Querschnittswiderstände	Z. B.: Dekompression, Grenzwerte für Spannungen, Rissbreiten, Verformungen

Andererseits lässt sich aus dem genannten Datensatz der Bemessungswerte der Bauwerksdaten – Abmessungen und Materialien der verschiedenen Teile des Bauwerks und Gegebenheiten des Baugrundes – unter Verwendung gegebener Materialwerte im Grenzzustand des Versagens die rechnerische Beanspruchbarkeit dieses Bauwerks ermitteln.

Schließlich wird der so errechnete Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Bauwerks beim Nachweis der Tragfähigkeit dem Bemessungswert seiner Beanspruchung in den verschiedenen Bemessungssituationen gegenüber gestellt. Beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird – mit anderen Datensätzen – analog verfahren.

Tabelle 2.2 zeigt dies.

Einwirkungen

Einwirkungen F können entweder ständige Einwirkungen G oder veränderliche Einwirkungen Q sein. Andere Gesichtspunkte bei der Einteilung der Menge der Einwirkungen sind:

- a. Art der Einwirkung: direkt, indirekt
- b. zeitliches Verhalten: ständig, veränderlich, außergewöhnlich
- c. örtliche Gebundenheit: ortsfest, ortsveränderlich
- d. Art und Weise der Tragwerksreaktion: statisch, dynamisch
- e. Art der Einwirkungsintensität: unterschiedlich, stets voll

2.2 Stahlbeton- und Spannbetonbau nach DIN 1045-1

Allgemeines

Die DIN 1045-1 vom Juli 2001 ersetzt die DIN 1045 aus dem Jahre 1988.

Die DIN 1045-1 ist aus dem Eurocode 2 hervorgegangen und hat viele Gemeinsamkeiten mit dieser europäischen Norm.

Gegenüber der alten DIN 1045 enthält die neue DIN viele grundlegende Änderungen. Die wichtigsten sind:

- Teilsicherheitskonzept
- Spannbeton, Leichtbeton und Stahlbeton sind in einer Norm geregelt
- Hochfeste Betonfestigkeitsklassen
- Viele Bezeichnungen sind dem internationalen Gebrauch angelehnt.
- Schubnachweis völlig anders als bisher.
- Gebrauchstauglichkeitsnachweise haben an Wichtigkeit gewonnen.

Die Norm unterscheidet Prinzipien und Anwendungsregeln. Die Prinzipien müssen immer eingehalten werden. Anwendungsregeln folgen den Prinzipien und sind allgemein anerkannte Regeln. Von Anwendungsregeln der Norm darf abgewichen werden, wenn das zugehörige Prinzip eingehalten wird.

Begriffe nach DIN 1045-1, Abschn. 2.1

- üblicher Hochbau
Hochbau mit vorwiegend ruhenden und gleichmäßig verteilten Nutzlasten bis 5 kN/m^2 und Einzellasten bis 7 kN

- vorwiegend auf Biegung beanspruchtes Bauteil
Bauteil mit einer bezogenen Exzentrizität im Grenzzustand der Tragfähigkeit von $e_d/h > 3,5$
- Druckglied
Vorwiegend auf Druck beanspruchtes, stab- oder scheibenförmiges Bauteil mit einer bezogenen Exzentrizität im Grenzzustand der Tragfähigkeit von $e_d/h \leq 3,5$
- Normalbeton
Beton mit Trockenrohdichte zwischen 2000 und 2600 kg/m³
- Leichtbeton
Trockenrohdichte zwischen 800 und 2000 kg/m³
- Spannglied mit sofortigem Verbund
Im Spannbett gespanntes Spannglied, das nach dem Spannen einbetoniert wird.
- Spannglied mit nachträglichem Verbund
In einem einbetonierten Hüllrohr liegendes Spannglied, das nach dem Erhärten des Betons gespannt und durch Ankerkörper an den Enden verankert wird. Danach wird der Hohlraum im Hüllrohr durch Einpressmörtel gefüllt.
- Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.
Zustände, die den Bereich der Beanspruchung begrenzen, in dem das Tragwerk tragsicher oder gebrauchstauglich ist.
- Einwirkung
Lasten, die als Kräfte oder Zwänge in Form von Temperatur oder Setzungen auf ein Bauwerk wirken
- charakteristischer Wert
Werte der Einwirkungen, die in einschlägigen Bestimmungen festgelegt werden
- Bemessungswert
Werte, die sich durch Multiplikation der charakteristischen Werte mit einem Sicherheitsbeiwert ergeben
- Duktilität
Plastische Dehnfähigkeit von Betonstahl, Spannstahl und Stahlbeton
- Relaxation
Mit Relaxation wird bei Spannstählen das allmähliche Absinken der Spannung bei gleichbleibender Dehnung bezeichnet.

Baustoffeigenschaften (DIN 1045-1, Abschn. 9)

Die physikalischen Eigenschaften für die zur Verwendung kommenden Baustoffe sind in Tab. 2.3 zusammengestellt.

Beton nach DIN 1045-1, Abschn. 9.1

Normalbeton ist Beton mit geschlossenem Gefüge, der aus festgelegten Gesteinskörnungen hergestellt wird und so zusammengesetzt und verdichtet ist, dass außer den künstlich erzeugten kein nennenswerter Anteil an eingeschlossenen Luftporen vorhanden ist.

Tab. 2.3 Physikalische Eigenschaften von Beton, Stahlbeton und Spannbeton aus Normalbeton: Betonstahl und Spannstahl

Physikalische Eigenschaft	Normalbeton		Stahl	
	Beton	Stahlbeton Spannbeton	Betonstahl	Spannstahl
Dichte ρ [kg/m ³]	2400	2500	7850	7850
Wärmedehnzahl [K ⁻¹]	10×10^{-6}			
Querdehnzahl μ [/]	0,2 für elastische Dehnungen 0 wenn Ribbildung in Beton unter Zugbeanspruchung zulässig ist			

Betondruck- und Betonzugfestigkeit nach DIN 1045-1, Abschn. 9.1.5 bis 9.1.7

Der Bemessung der Bauteile liegen die charakteristischen Zylinderdruckfestigkeiten f_{ck} zugrunde. Die Betondruckfestigkeit ist als der Bemessungswert definiert, der bei statistischer Auswertung aller Druckfestigkeitsergebnisse von Beton im Alter von 28 Tagen nur in 5 % aller Fälle (5 % Fraktile) unterschritten wird.

Die Druckfestigkeitswerte f_{ck} können entweder an Zylindern (Abmessung: 300 mm Höhe, 150 mm Durchmesser) als $f_{ck, \text{zyl}}$ oder an Würfeln (150 mm Kantenlänge) als $f_{ck, \text{cube}}$ ermittelt werden. Da die Bemessungsregeln auf den Werten der Zylinderfestigkeit basieren, gilt im weiteren $f_{ck, \text{zyl}} = f_{ck}$.

Die Betonzugfestigkeit wird für den einachsigen Spannungszustand angegeben. Wegen der großen Streuung der Zugfestigkeitswerte werden hierfür sowohl die Mittelwerte f_{ctm} als auch die unteren und oberen charakteristischen Grenzwerte $f_{ctk;0,05}$ bzw. $f_{ctk;0,95}$ angegeben, wobei folgende Beziehungen bis C 50/60 gelten

$$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \quad f_{ctk;0,05} = 0,7 f_{ctm} \quad f_{ctk;0,95} = 1,3 f_{ctm}.$$

Spannungs-Dehnungs-Linien

Es gibt eine Spannungs- Dehnungs- Linie für nichtlineare Schnittgrößenermittlungsverfahren (und Verformungsberechnungen) und noch drei für die Querschnittsbemessung. In den Tab. 2.4 und 2.5 sind die erforderlichen Parameter zur Bestimmung der Spannungsdehnungslinien aufgeführt.

Schnittgrößenermittlung und Verformungsberechnung (Abb. 2.1)

$$\sigma_c = -f_c \left(\frac{k \cdot \eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta} \right)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}}$$

$$k = -1,1 \cdot E_{cm} \cdot \frac{\varepsilon_{cl}}{f_c}$$

Tab. 2.5 Festigkeits- und Formänderungskennwerte von hochfestem Beton >C 50/60

Kenngröße	Festigkeitsklassen					
	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C 90/105	C 100/115
f_{ck} in N/mm ²	55	60	70	80	90	100
$f_{ck, cube}$ in N/mm ²	67	75	85	95	105	115
f_{cm} in N/mm ²	63	68	78	88	98	108
f_{ctm} in N/mm ²	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2
$f_{ctk;0,05}$ in N/mm ²	3	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7
$f_{ctk;0,95}$ in N/mm ²	5,5	5,7	6	6,3	6,6	6,8
E_{cm} in N/mm ²	37800	38800	40600	42300	43800	45200
ε_{c1} in ‰	−2,65	−2,7	−2,8	−2,9	−2,95	−3,0
ε_{c1u} in ‰	−3,4	−3,3	−3,2	−3,1	−3,0	−3,0
n in ‰	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,55
ε_{c2} in ‰	−2,03	−2,06	−2,1	−2,14	−2,17	−2,2
ε_{c2u} in ‰	−3,1	−2,7	−2,5	−2,4	−2,3	−2,2
ε_{c3} in ‰	−1,35	−1,4	−1,5	−1,6	−1,65	−1,7
ε_{c3u} in ‰	−31	−2,7	−2,5	−2,4	−2,3	−2,2

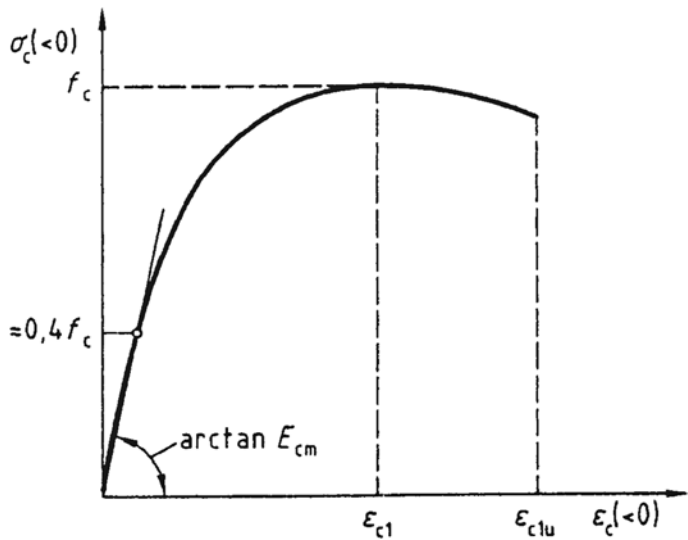


Abb. 2.1 Diagramm nur für Verformungsberechnungen

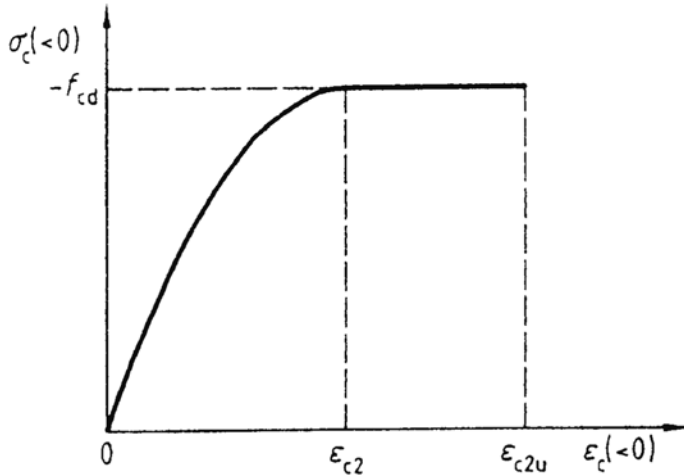


Abb. 2.2 Parabel-Rechteck-Diagramm

wobei:

σ_c = Betonspannung

f_c = Betonfestigkeit

ϵ_c = Betondehnung

E_{cm} = mittlerer Beton-Elastizitätsmodul

Bei Verformungsberechnungen darf für

$$f_c = f_{cm} = f_{ck} + 8 [\text{N/mm}^2]$$

eingesetzt werden.

Querschnittsbemessung

Für das Parabel-Rechteck-Diagramm (Abb. 2.2)

gilt für $0 \geq \epsilon_c \geq \epsilon_{c2}$

$$\sigma_c = -f_{cd} \left(1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right)$$



<http://www.springer.com/978-3-658-08919-1>

Berechnung von Baukonstruktionen

Ein Überblick

Schröder, B.

2015, IX, 41 S. 5 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-08919-1