

Arbeitshilfe

Tragwerksplanung im Stahlbau

Grundlegende Anforderungen

Allgemeines

Die Bemessung von Stahlbauten erfolgt nach den Grundregeln gemäß DIN EN 1993 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“. Allgemeine Grundlagen zur Tragwerksplanung sind DIN EN 1990, „Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung“ zu entnehmen. In der Regel sind Tragwerke nach den Einwirkungen gemäß DIN EN 1991 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke“ zu bemessen. Regeln zur Kombination von Einwirkungen sind in DIN EN 1990 angegeben. Bei der Ausführung von Stahltragwerken sind die Regeln der DIN EN 1090 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken“ einzuhalten.

Ein Tragwerk ist so zu planen, dass es in der vorgesehenen Nutzungszeit sowie während seiner Errichtung mit angemessener Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit den möglichen äußeren Einwirkungen und Einflüssen standhält sowie die geforderten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks oder eines Bauteils erfüllt. Hierbei sind die in **Tabelle 1** dargestellten Normen inklusive ihrer nationalen Anwendungsdokumente zu beachten.

Sicherheits- und Nachweiskonzept der Eurocodes

Bei der Bemessung von Tragwerken wird zwischen den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit unterschieden:

- **Grenzzustände der Tragfähigkeit** beinhalten alle Grenzzustände, die die Sicherheit von Personen und/oder die Sicherheit des Tragwerks betreffen. Grenzzustände der Tragfähigkeit beinhalten beispielsweise den Verlust der Lagesicherheit des betrachteten Tragwerks oder eines seiner Teile, ein Versagen durch übermäßige Verformungen, einem Bruchzustand oder eine instabile Lage oder ein Versagen des Tragwerks oder eines seiner Teile durch Ermüdung.
- **Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit** beinhalten die Grenzzustände, die die Funktion des Tragwerks oder eines seiner Teile unter normalen Gebrauchsbedingungen, das Wohlbefinden der

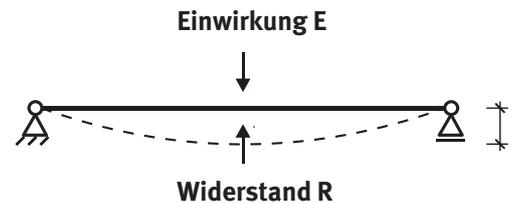


Bild 1 Nachweisformat der Eurocodes

Nutzer oder das Erscheinungsbild des Bauwerks betreffen. Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit beinhalten die Begrenzung von Verformungen, Verschiebungen oder Schwingungen. Die Nachweisverfahren der Eurocodes beruhen auf einem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten bei dem die Auswirkung einer Einwirkung E einer Beanspruchbarkeit R gegenübergestellt wird, siehe **Bild 1**. Eine Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten bedeutet, dass für jede Bemessungssituation die Auswirkung der charakteristischen Einwirkungen E_k um einen Teilsicherheitsbeiwert γ_F erhöht und die charakteristische Beanspruchbarkeit R_k um einen Teilsicherheitsbeiwert γ_M abgemindert wird, siehe **Bild 2**. Hierbei ist sicherzustellen, dass in allen maßgebenden Bemessungssituationen beim Ansatz der Bemessungswerte der Auswirkungen der Einwirkungen E_d und für die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten R_d keiner der maßgebenden Grenzzustände überschritten wird. Für die beiden Grenzzustände muss gelten:

Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT):

$$E_k \cdot \gamma_F = E_d \leq R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG):

$$E \cdot \gamma_F = E_d \leq C_d = \frac{C}{\gamma_M}$$

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten				
DIN EN 1993 -1-1	Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau	DIN EN 1993 -2	Stahlbrücken	
DIN EN 1993 -1-2	Tragwerksbemessung im Brandfall	DIN EN 1993 -3-1	Türme, Maste und Schornsteine Türme und Maste	-
DIN EN 1993 -1-3	Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche	DIN EN 1993 -3-2	Türme, Maste und Schornsteine Schornsteine	-
DIN EN 1993 -1-4 ¹⁾	Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen	DIN EN 1993 -4-1	Silos	
DIN EN 1993 -1-5	Plattenförmige Bauteile	DIN EN 1993 -4-2	Tankbauwerke	
DIN EN 1993 -1-6	Festigkeit und Stabilität von Schalen	DIN EN 1993 -4-3	Rohrleitungen	
DIN EN 1993 -1-7	Plattenförmige Bauteile mit Querbelastung	DIN EN 1993 -5	Pfähle und Spundwände	
DIN EN 1993 -1-8	Bemessung von Anschlüssen	DIN EN 1993 -6	Kranbahnen	
DIN EN 1993 -1-9	Ermüdung			
DIN EN 1993 -1-10	Stahlsortenwahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung			
DIN EN 1993 -1-11	Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl			

¹⁾ Bei der Verwendung nichtrostender Stähle sind die Bedingungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“ (20. April 2009) zzgl. der Ergänzung (Mai 2011) zu beachten. DIN EN 1993-1-4 ist derzeit nicht bauaufsichtlich eingeführt.

Tabelle 1 Übersicht über die Normenreihe Eurocode 3

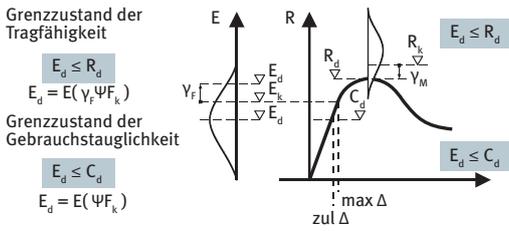


Bild 2 Nachweisformat mit Teilsicherheitsbeiwerten

Teilsicherheitsbeiwert	Wert	Beanspruchbarkeit von
γ_{M0}	1,0	Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse)
γ_{M1}	1,1	Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen)
γ_{M2}	1,25	Querschnitte bei Bruchversagen infolge von Zugbeanspruchung

Tabelle 2 Wesentliche Teilsicherheitswerte γ_M in Grenzzustand der Tragbarkeit

Zur Bestimmung der Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte wird aus den Mittelwerten und Standardabweichungen der Häufigkeitsverteilung von Einwirkungen und Widerständen der Zuverlässigkeitsindex β berechnet, siehe Bild 3.

Für einen Bemessungszeitraum von $T_{ref} = 50$ Jahren gilt die Anforderung an den Zuverlässigkeitsindex $\beta = 3,8$. Mit dem Zuverlässigkeitsindex lässt sich die Verteilung der Häufigkeit des Bauteilversagens Z in der Form: Versagen $Z =$ Widerstand $R -$ Einwirkung E aufstellen, siehe Bild 4.

Für $Z < 0$ versagt das Bauteil, gilt $Z > 0$ versagt das Bauteil nicht. Mit dem Zuverlässigkeitsindex β : $\beta \geq 3,8$ lässt sich daraus die Versagenswahrscheinlichkeit p_f als Funktion $p(Z < 0)$ bestimmen. Bezogen auf einen Bemessungszeitraum von 50 Jahren ergibt sich daraus eine Versagenswahrscheinlichkeit von $7 \cdot 10^{-5}$.

Einwirkungskombinationen

Die Einwirkungen werden nach DIN EN 1991 zusammengestellt und nach DIN EN 1990 in den Einwirkungskombinationen zusammengefasst. Hierbei sind folgende Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen:

Einwirkungskombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Es wird zwischen zwei unterschiedlichen Bemessungssituationen unterschieden:

1) *Ständige und vorübergehende Bemessungssituation* - entspricht den üblichen Nutzungsbedingungen eines Tragwerks, einschließlich zeitlich begrenzter Zustände wie Bauzustände,

2) *Außergewöhnliche Bemessungssituation* - berücksichtigt außergewöhnliche Einwirkungen auf das Tragwerk wie beispielsweise Anprall oder Explosion.

Für die unterschiedlichen Bemessungssituationen gelten folgende Kombinationsregeln:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\Psi_{1,1} \text{ oder } \Psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

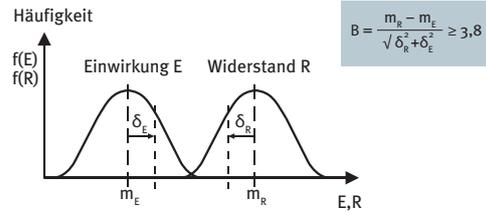


Bild 3 Sicherheitsindex β

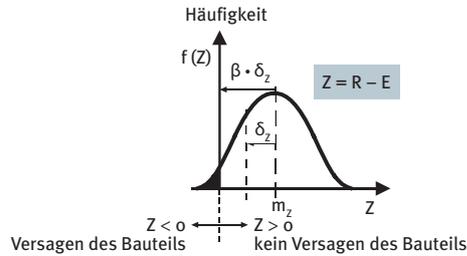


Bild 4 Häufigkeitsverteilung für Versagen des Bauteils

“+“ bedeutet in Kombination mit $G_{k,j}$ steht für ständige Einwirkungen, P für die Vorspannung, $Q_{k,1}$ für die maßgebende veränderliche Einwirkung oder Leiteinwirkung (Verkehr, Temperatur, ...) und $Q_{k,i}$ für die nicht maßgebenden veränderlichen Einwirkungen oder Begleiteinwirkungen (Verkehr, Temperatur, ...). In der außergewöhnlichen Bemessungssituation wird zusätzlich die außergewöhnliche Einwirkung A_d berücksichtigt. Die unterschiedlichen Ψ -Werte sind Kombinationsbeiwerte, die die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens veränderlicher Einwirkungen unterschiedlichen Ursprungs berücksichtigen. Die entsprechenden Zahlenwerte können DIN EN 1990/NA entnommen werden.

Einwirkungskombinationen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird ebenfalls zwischen drei verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten unterschieden:

1) *Charakteristische Kombination* - entspricht der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation ohne Teilsicherheitsbeiwerte. Sie wird in der Regel für nicht umkehrbare Auswirkungen am Tragwerk verwendet.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

2) *Häufige Kombination* - wird in der Regel für umkehrbare Auswirkungen am Tragwerk angewendet.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

3) *Quasi-ständige Kombination* - wird in der Regel für Langzeitauswirkungen, wie beispielsweise dem Erscheinungsbild des Bauwerks angewendet.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind die Teilsicherheitsbeiwerte unterschiedlicher Größenordnung nach DIN EN 1990 für unterschiedliche Einwirkungen zu berücksichtigen. Auf der Widerstandsseite sind die wesentlichen Teilsicherheitsbeiwerte γ_M gemäß Tabelle 2 angegeben. Weitere Teilsicherheitsbeiwerte sowie Kombinationsbeiwerte sind DIN EN 1993 bzw. DIN EN 1990 zu entnehmen.

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit betragen die Teilsicherheitsbeiwerte sowohl auf der Einwirkungsseite als auch auf der Widerstandsseite 1,0 ($\gamma_F = \gamma_M = 1,0$).

Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

Alle im Eurocode 3 festgelegten Beanspruchbarkeiten für Querschnitte und Bauteile sind aus Bauteilversuchen an Werkstoffen mit ausreichender Duktilität abgeleitet, so dass anhand der Versuchsergebnisse vereinfachte Bemessungsmodelle abgeleitet werden konnten. Die Beanspruchbarkeiten nach DIN EN 1993 dürfen nur dann verwendet werden, wenn die in Abschnitt 3 der DIN EN 1993-1-1 definierten Duktilitätsanforderungen erfüllt sind, siehe Arbeitshilfe 1.1

Normen

- DIN EN 1990:2010-12, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010
- DIN EN 1990/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- DIN EN 1991, Einwirkungen auf Tragwerke (verschiedene Teile)
- DIN EN 1993-1-1:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009
- DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- DIN EN 1993-1-4:2007-02, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006
- DIN EN 1993-1-4/NA:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006
- DIN EN 1993-1-9:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009
- DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung
- DIN EN 1993-1-10:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009
- DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung