

## Gebrauchstauglichkeit

### 1 Nachweiskonzept für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Die Grundlage für das gesamte Sicherheitskonzept bildet der EC 0 („Grundlagen der Tragwerksplanung“). Konkrete Werte von Einwirkungen (Belastungen) werden in den jeweiligen Lastnormen (hier: EC 1 Teile 1 bis 7) festgelegt, wo die sog. **charakteristischen Werte (Index k)** entnommen werden können.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass das Sicherheitskonzept in seinen Grundzügen bekannt ist.

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit erfassen das Verhalten der Bauteile unter den real auftretenden Einwirkungen während der Nutzung. Da die Gebrauchstauglichkeit über die gesamte Lebensdauer eines Bauteils sichergestellt werden muss, müssen die Auswirkungen von **Kriechen und Schwinden** des Betons bei Spannungs- und Verformungsberechnungen berücksichtigt werden.

Folgende Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG) müssen normalerweise im üblichen Stahlbetonbau nachgewiesen werden:

- **Begrenzung von Stahl- und Betonspannungen**
- **Beschränkung der Rissweite**
- **Begrenzung der Verformungen**

Für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit werden die Bemessungswerte von Beanspruchungen  $E_d$  den Bemessungswerten von Gebrauchstauglichkeitskriterien  $C_d$  gegenübergestellt:

$$E_d \leq C_d$$

Um die Einwirkungen realistisch zu erfassen, werden die **Sicherheiten auf der Einwirkungsseite auf  $\gamma_F = 1,0$**  gesetzt.

Die im EC 2 vorgegebenen Anforderungen sind **Mindestanforderungen**, die die Gebrauchstauglichkeit üblicher Hochbauten sicherstellen. Im Einzelfall können darüber hinaus gehende Anforderungen an Bauteile gestellt werden. Hinweise hierzu können oft den Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbetonbau (DAfStb) entnommen werden, wie z.B. die Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“.

## 1.1 Nachweisgrundlagen

Während im GZT große Verformungen (Stahlfliessen) und deutlich sichtbare Risse erwünscht sind, um dem Nutzer die Gefahr eines ggf. bevorstehenden Tragwerkversagens deutlich zu machen, müssen z. B. Verformungen und Rissbreiten während der Nutzung klein gehalten werden. Dies wird unter anderem durch die Begrenzung der Spannungen von Stahl (kein Fließen) und Beton (kein Plastizieren) erreicht.

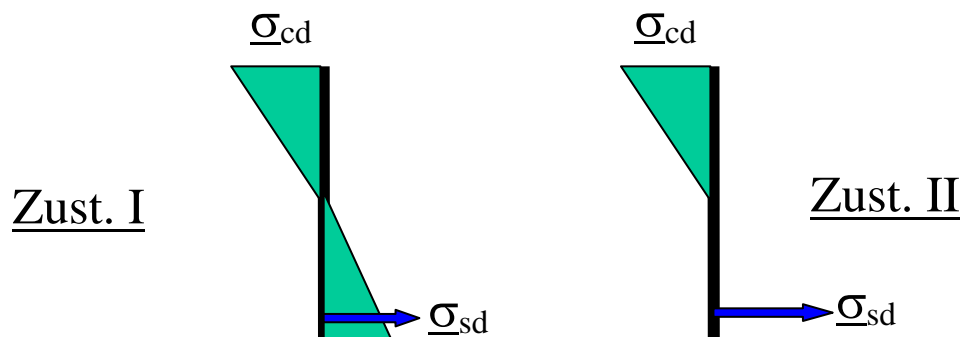
Die Grundlagen für Nachweise auf Gebrauchslastniveau basieren deshalb auf den im Folgenden genannten Annahmen:

- Das Materialverhalten von **Stahl und Beton** wird durch eine **lineare Spannungs-Dehnungs-Beziehung** beschrieben.
- Querschnitte bleiben im verformten Zustand eben (**Bernoulli-Hypothese**)
- Betonzugspannungen werden vernachlässigt, wenn der Querschnitt gerissen ist.
- Für die Spannungsermittlung in biegebeanspruchten Querschnitten wird starrer Verbund vorausgesetzt.

Die geringe **Betonzugfestigkeit** besitzt erheblichen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit eines Bauteils. Mit dem Aufreißen eines Bauteils (Übergang von Zustand I zu Zustand II) verändert sich der Spannungszustand im Querschnitt grundlegend, gleichzeitig nehmen die Verformungen erheblich zu. Man unterscheidet daher folgende Zustände für die Ermittlung der Steifigkeiten:

Zustand I:	ungerissener Querschnitt ( $EA^I, EI^I, \dots$ )
Zustand II:	gerissener Querschnitt ( $EA^{II}, EI^{II}, \dots$ )
Mittleres Verhalten eines gerissenen Bauteils:	gerissener Querschnitt ( $EA_m^{II}, EI_m^{II}, \dots$ )

Ein Querschnitt ist dabei im Allgemeinen als gerissen zu betrachten, wenn die maßgebende **Betonzugfestigkeit**  $f_{ct}$  unter der **seltenen Einwirkungskombination** erreicht wird (**Spannungsnachweise:  $f_{ct} = f_{ctk;0,05}$  Verformungsnachweise:  $f_{ct} = f_{ctm}$** ). Hierbei ist zu beachten, dass für nachfolgende Berechnungen auch dann mit einem gerissenen Querschnitt zu rechnen ist, wenn die maßgebenden Schnittgrößen unterhalb der Risschnittgrößen liegen („Gedächtnis“ des Baustoffs)! Hieraus kann man erkennen, dass das **Superpositionsgesetz** trotz der Annahme eines linearen Materialverhaltens **nicht gilt!**



## 1.2 Bemessungssituationen

Durch die Nachweise im GZG wird im Wesentlichen das Verhalten eines Bauteils während seiner üblichen Nutzung erfasst; außergewöhnliche Ereignisse sind i.A. nicht relevant. Allerdings erfolgt eine feinere Differenzierung parallel zu den repräsentativen Werten der Einwirkungen (mit Kombinationsbeiwerten  $\Psi_i$ ) durch die Vereinbarung der folgenden Bemessungssituationen:

- **Seltene Situation** (Auftreten irreversibler Auswirkungen, englisch **rare**):
- **Häufige Situation** (Auftreten reversibler Auswirkungen, englisch **frequent**):
- **Quasi-ständige Situation** (Langzeitauswirkungen, englisch **permanent**):

Eine einmalige Überschreitung eines Grenzzustandes kann zu irreversiblen Schäden führen: Wenn z.B. die Betonstahlbewehrung im Riss die Streckgrenze nur ein einziges Mal überschreitet, dann bleiben klaffende Risse zurück. Um dies zu verhindern ist nachzuweisen, dass selbst unter der größten zu erwartenden Beanspruchung (**seltene Situation**) dieser Fall nicht eintritt.

Wenn die Auswirkungen reversibel sind, dann kann deren mehrmaliges Auftreten während der Nutzungsdauer durchaus akzeptiert werden. Für den rechnerischen Nachweis sind deshalb Beanspruchungen zu Grunde zu legen, die häufiger auftreten können (**häufige Situation**).

Für den Nachweis von z.B. langfristig infolge Kriechen und Schwinden zu erwartende Verformungen ist es ausreichend, die langfristig vorliegenden quasi-ständigen Beanspruchungen als Maßstab für den rechnerischen Nachweis festzulegen (**quasi-ständige Situation**).

### 1.3 Einwirkungskombinationen

Analog zu den Einwirkungskombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) folgen die Kombinationen im GZG dem Konzept der **Leiteinwirkung** mit dem einzigen Unterschied, dass die Sicherheiten  $\gamma_F = 1,0$  sind.

#### Seltene Kombination

Die seltene Kombination entspricht der um die Teilsicherheitsbeiwerte reduzierten Grundkombination des GZT für den Nachweis von ständigen/vorübergehenden Bemessungssituationen. Sie stellt den zu erwartenden Höchstwert bzw. den im Mittel nur alle 50 Jahre auftretenden Wert der Einwirkungen dar:

$$E_{d,rare} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

#### Häufige Kombination

Häufige, d.h. innerhalb etwa 5 % der Nutzungszeit auftretende Einwirkungen werden durch die folgende Kombination festgelegt:

$$E_{d,frequ} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

#### Quasi-ständige Kombination

Die im Folgenden gezeigte quasi-ständige Einwirkungskombination erfasst Einwirkungen für den Nachweis von Langzeitauswirkungen. Hierbei handelt es sich um den Mittelwert der über die Nutzungsdauer auftretenden Einwirkungen.

$$E_{d,perm} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

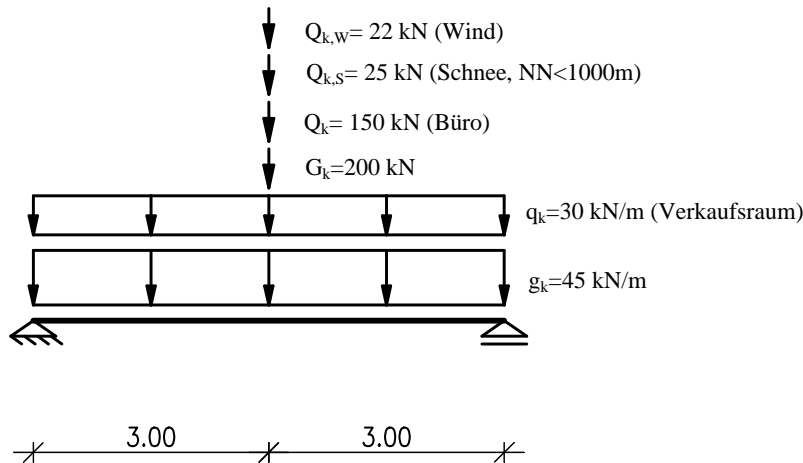
G = Ständige Lasten    P = Lasten aus Vorspannung    Q = Veränderliche Lasten

Auf die Darstellung der Vereinfachungsmöglichkeiten für den üblichen Hochbau wird verzichtet, da diese keinen wirklichen Vorteil bringen.

Die Festlegung, welche Einwirkungskombination für welchen Nachweis maßgebend ist, wird in der jeweils zuständigen Norm, hier also im EC 2, festgelegt.

## 2 Beispiel Sicherheitskonzept

Für den unten dargestellten Abfangträger soll das maximale Feldmoment für verschiedene Grenzzustände berechnet werden.



Im Folgenden sind die charakteristischen Momente in Feldmitte getrennt nach den einzelnen Einwirkungen zusammengestellt:

Ständige Lasten:

$$M_{k,G} = \frac{45 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2}{8} + \frac{200 \text{ kN} \cdot 6 \text{ m}}{4} = 202,5 \text{ kNm} + 300 \text{ kNm} = 502,5 \text{ kNm}$$

Nutzlasten:

$$M_{k,Q} = \frac{30 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2}{8} + \frac{150 \text{ kN} \cdot 6 \text{ m}}{4} = 135 \text{ kNm} + 225 \text{ kNm} = 360 \text{ kNm}$$

Schnee:

$$M_{k,S} = 25 \text{ kN} \cdot 6 \text{ m} / 4 = 37,5 \text{ kNm}$$

Wind:

$$M_{k,W} = 22 \text{ kN} \cdot 6 \text{ m} / 4 = 33 \text{ kNm}$$

### Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Leiteinwirkung Nutzlasten:

$$M_{d1} = 1,35 \cdot 502,5 \text{ kNm} + 1,5 \cdot (360 \text{ kNm} + 0,5 \cdot 37,5 \text{ kNm} + 0,6 \cdot 33 \text{ kNm}) = 1276,2 \text{ kNm}$$

Leiteinwirkung Schnee:

$$M_{d2} = 1,35 \cdot 502,5 \text{ kNm} + 1,5 \cdot (37,5 \text{ kNm} + 0,7 \cdot 360 \text{ kNm} + 0,6 \cdot 33 \text{ kNm}) = 1142,3 \text{ kNm}$$

Leiteinwirkung Wind:

$$M_{d3} = 1,35 \cdot 502,5 \text{ kNm} + 1,5 \cdot (33 \text{ kNm} + 0,7 \cdot 360 \text{ kNm} + 0,5 \cdot 37,5 \text{ kNm}) = 1134 \text{ kNm}$$

Die maßgebende Kombination ist  $M_{d1}$ . Da in diesem Beispiel die Nutzlast deutlich größer als die Wind- und Schneelast ist, wird im Weiteren nur der Fall mit Leiteinwirkung Nutzlast verfolgt.

### Vereinfachtes Verfahren (GZT) im Hochbau mit Leiteinwirkung Nutzlasten:

$$M_{Q,unf} = M_{Qk,1} + \Psi_{0,Q} \cdot \sum_i M_{Qk,i} = 360kNm + 0,7 \cdot (37,5kNm + 33kNm) = 409,4kNm$$

$$M_{d4} = 1,35 \cdot 502,5kNm + 1,5 \cdot 409,4kNm = 1292,4kNm$$

Zum Vergleich ohne Kombinationsbeiwerte ( $\Psi_0 = 1$ ):

$$M_{d5} = 1,35 \cdot 502,5kNm + 1,5 \cdot (360kNm + 37,5kNm + 33kNm) = 1324,1kNm$$

### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Es wird nur das allgemeine Verfahren der Kombination gezeigt, da das vereinfachte Verfahren keine echte Vereinfachung bringt. Bei der häufigen und quasi-ständigen Kombination ist zu beachten, dass die Kombinationsbeiwerte  $\Psi_1$  bei der Leiteinwirkung für Verkaufsräume  $\Psi_1 = 0,7$  und für Büroräume  $\Psi_1 = 0,5$  betragen.

Seltene Kombination (mit  $\Psi_0$ ):

$$M_{rare} = 502,5kNm + 360kNm + 0,5 \cdot 37,5kNm + 0,6 \cdot 33kNm = 901kNm$$

Häufige Kombination (mit  $\Psi_1$  und  $\Psi_2$ ):

$$M_{frequ} = 502,5kNm + (0,7 \cdot 135kNm + 0,5 \cdot 225kNm) + 0 + 0 = 709,5kNm$$

Quasi-ständige Kombination (mit  $\Psi_2$ ):

$$M_{perm} = 502,5kNm + (0,6 \cdot 135kNm + 0,3 \cdot 225kNm) + 0 + 0 = 651kNm$$