

KTA 2201.3**Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen****Teil 3: Auslegung der baulichen Anlagen****Entwurf****Inhalt**

	Seite
Grundlagen	2
1 Anwendungsbereich.....	2
2 Schnittgrößenermittlung	2
2.1 Grundsätze.....	2
2.2 Dynamische Berechnung	2
2.3 Vereinfachte Nachweise.....	4
3 Überlagerung von Lasten.....	4
3.1 Allgemeines.....	4
3.2 Lasten.....	4
3.3 Lastkombinationen	4
4 Bemessung.....	4
4.1 Allgemeine Anforderungen.....	4
4.2 Bemessung von Stahlbetonbauteilen.....	4
4.3 Bemessung von Spannbetonbauteilen	6
4.4 Bemessung von Stahlbauteilen.....	6
4.5 Bemessung von Mauerwerk	9
4.6 Verformungen	9
4.7 Bemessung von Stahlverbundbauten.....	9
5 Konstruktionsregeln und -empfehlungen	9
5.1 Gebäudeformen und Anordnung der Bauteile.....	9
5.2 Konstruktive Durchbildung	9
5.3 Befestigungskonstruktionen.....	11
Anhang A: Verfahren zur Begrenzung der Wasserdurchlässigkeit.....	13
Anhang B: Formelzeichen und Indizes	15
Anhang C: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird.....	16

Grundlagen

(1) Die Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) haben die Aufgabe, sicherheitstechnische Anforderungen anzu-geben, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist (§ 7 Abs. 2 Nr. 3 Atomgesetz), um die im Atomgesetz und in der Strahlenschutzverordnung festgelegten sowie in den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke" und den "Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung (Störfall-Leitlinien)" weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Zur Erreichung dieser Ziele stellt die Regel KTA 2201.3 im Rahmen von KTA 2201 "Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen" Anforderungen an die Erdbebenauslegung der baulichen Anlagen.

Zur Regel KTA 2201 gehören als weitere Teile:

KTA 2201.1: Grundsätze

KTA 2201.2: Baugrund

KTA 2201.4: Anforderungen an Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit für maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile

KTA 2201.5: Seismische Instrumentierung

KTA 2201.6: Maßnahmen nach Erdbeben

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Regel ist auf Kernkraftwerke anzuwenden. Sie gibt an, welche Anforderungen an die Auslegung der baulichen Anlagen gemäß KTA 2201.1 Abschnitt 5 zu stellen sind, um deren Standsicherheit bei Erdbeben zu gewährleisten. Weitergehende Anforderungen, z. B. hinsichtlich der Erhaltung von Wasserdichtigkeit, Gasdichtigkeit und Strahlenschutzfunktionen bei Erdbeben, werden nicht behandelt. Hierfür sind gegebenenfalls gesonderte Nachweise erforderlich.

(2) Unter baulichen Anlagen einschließlich der dazugehörigen Gründungen werden in dieser Regel Gebäude und Bauteile aus Stahlbeton, Spannbeton, Stahl und Mauerwerk verstanden. Hierzu gehören unter anderem auch Kranbahnen und Bühnen. Für Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl, Stahlbeton und Spannbeton gilt diese Regel für die Schnittgrößenermittlung.

Hinweis:

Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl siehe KTA 3401, Sicherheitsbehälter aus Stahlbeton und Spannbeton siehe DIN V 25 459.

(3) Inwieweit Stütz- und Befestigungskonstruktionen von Betriebsanlagen nach dieser Regel oder nach KTA 2201.4 zu bemessen sind, ist im Einzelfall zu vereinbaren.

(4) Diese Regel ist nicht auf Krane und Rohrleitungen anzuwenden.

2 Schnittgrößenermittlung

2.1 Grundsätze

(1) Berechnungsannahmen, rechnerische Beanspruchung und konstruktive Durchbildung müssen im Zusammenhang gesehen werden. Der Schwankungsbereich der Annahmen, insbesondere bezüglich der Steifigkeiten, der Lagerungsbedingungen und des Schwingungsmodells soll erfaßt und

gegebenenfalls mit Hilfe von Grenzbetrachtungen abgeschätzt werden. Im allgemeinen genügt es, den Schwankungsbereich der dynamischen Bodenparameter zu erfassen, da diese den größten Einfluß auf die Ergebnisse haben.

(2) Die dynamischen Schnittgrößen dürfen auf der Grundlage geometrischer und stofflicher Linearität ermittelt werden, falls nicht in Abschnitt 4 andere Festlegungen getroffen sind. Nichtlineares Werkstoffverhalten darf angesetzt werden. Das nichtlineare Werkstoffverhalten darf auch durch die Anwendung nichtlinearer Antwortspektren erfaßt werden.

2.2 Dynamische Berechnung

2.2.1 Allgemeines

(1) Die dynamische Berechnung darf nach einer der folgenden Methoden durchgeführt werden:

- Antwort-Spektrum-Methode,
- Zeitverlauf-Methode.

(2) Die Antwort-Spektrum-Methode ist nicht ausreichend, wenn die Kenntnis des Antwort-Zeitverlaufs erforderlich oder der Einfluß der Phasenlage von Bedeutung ist.

2.2.2 Antwort-Spektrum-Methode

(1) Bei der Antwort-Spektrum-Methode werden nach Berechnung der Eigenformen und Eigenfrequenzen die maximalen Bewegungs- und Schnittgrößen zu den einzelnen Eigenformen ermittelt. Bei der Anwendung auf Systeme mit mehreren Freiheitsgraden sind diese nach Gleichung (2-1) zu überlagern.

$$S = \left[\sum_{i=1}^n S_i^2 \right]^{1/2} \quad (2-1)$$

Hierbei bedeuten:

S maximale resultierende Bewegungs- oder Schnittgröße

S_i maximale Bewegungs- oder Schnittgröße zu der i-ten Eigenform

n Anzahl der berücksichtigten Eigenformen

(2) Haben Starrkörperanteil oder eng beieinanderliegende Eigenformen einen wesentlichen Einfluß, so ist dieser durch eine Erweiterung der Überlagerungsformel (2-1) zu erfassen.

2.2.3 Zeitverlauf-Methode

Bei der Zeitverlauf-Methode werden als Antwort auf die Erregung mit einem bestimmten Zeitverlauf der Zeitverlauf der Bewegungs- und Schnittgrößen und deren Extrema ermittelt. Dabei sind für den Standort repräsentative Erdbebenzeitverläufe zu verwenden.

2.2.4 Durchführung der Berechnung

2.2.4.1 Allgemeines

Die dynamischen Berechnungen dürfen für die Hauptachsen der zu untersuchenden Struktur getrennt durchgeführt werden. Die Bewegungs- und Schnittgrößen für die Erregung in horizontaler Richtung dürfen für die jeweilige Hauptachse mit denjenigen für die Erregung in vertikaler Richtung überlagert werden. Diese Überlagerung darf nach Gleichung (2-1) durchgeführt werden, wenn die Bewegungs- und Schnittgrößen für die Erregung in horizontaler und vertikaler Richtung

getrennt berechnet werden. Die Überlagerung darf zeitgerecht erfolgen, wenn für beide Erregungsrichtungen statistisch unabhängige Zeitverläufe verwendet werden.

2.2.4.2 Modellabbildung

(1) Für die dynamische Berechnung werden die Bauwerke und der Baugrund auf mathematisch-mechanische Modelle abgebildet. Das Modell muß in der Lage sein, den durch das Erdbeben maßgebend angeregten Frequenzbereich der baulichen Anlage zu erfassen.

(2) Bei stark unsymmetrischen Strukturen muß der Einfluß der Kopplung der Schwingungen in unterschiedlichen Richtungen erfaßt werden.

(3) Der Einfluß der Wechselwirkung zwischen Bauwerk und Baugrund auf die Beanspruchungen des Bauwerks ist zu erfassen.

(4) Ein gleichmäßiger Boden darf auf ein gedämpftes Feder-Masse-Modell abgebildet werden. Die Parameter dieses Modells dürfen auf der Grundlage der Theorie des elastischen Halbraumes ermittelt werden. Sie dürfen vereinfacht als frequenzunabhängig angenommen werden, wenn zur Absicherung die Parameter in einem angemessenen Bereich variiert werden.

(5) Bei geschichteten Böden mit stark unterschiedlichen dynamischen Kennwerten, sowie bei besonderen Gründungsformen (z. B. Pfahlgründungen) sind besondere Untersuchungen durchzuführen.

Hinweis:

Die Wahl des Modells hängt ab von der Art der Erregung, der Art der Bauwerksstruktur und der Art der gesuchten Antwort.

Bezüglich des Bauwerks hängt die Modellabbildung davon ab, inwieweit die Struktur, insbesondere zur Abtragung von horizontalen Lasten, aus einer Gesamtsteifigkeit oder aus aufgelösten Einzelsteifigkeiten besteht. Danach kommen Balken- oder Rahmenmodelle in Frage, in Sonderfällen auch Faltwerks- oder Schalenmodelle. Die Abbildung wird ferner davon beeinflusst, ob globale oder lokale Antworten gesucht werden. Insgesamt wird einer einfacheren Modellabbildung wegen der besseren Überschaubarkeit der Vorzug gegen über sehr detaillierten Modellen gegeben, sofern sie die wesentlichen Einflüsse berücksichtigt, und angemessene Parametervariationen durchgeführt werden.

2.2.4.3 Mitwirkende Massen

Bei der Berechnung der Bauwerke sind als mitwirkende Massen zu erfassen:

- die Massen der Bauteile;
- die ständigen Massen aus dem Betriebsgewicht von Anlagenteilen. Dabei dürfen in Behältern und Becken gelagerte Flüssigkeitsmassen als starr gekoppelte Massen angenommen werden. Bei der Berechnung von Einzelbauteilen sind zusätzlich die nicht ständigen Massen zu erfassen. Sie sind jedoch nur mit einem von den örtlichen Gegebenheiten abhängigen Anteil an zusetzen. Massen, die aus betrieblichen Gründen nur kurzzeitig und selten vorhanden sind (z.B. bei Brennelement-Wechsel) brauchen nicht erfaßt zu werden.

2.2.4.4 Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl

(1) Bei der dynamischen Berechnung sind für den Baugrund die dynamischen Kennwerte zugrunde zu legen. Für Beton, Betonstahl und Baustahl dürfen die für statische Be-

rechnungen geltenden Werte für Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl verwendet werden.

(2) Der Elastizitätsmodul des Mauerwerks darf mit dem doppelten Wert des in DIN 1053 Teil 1 Tabelle 9 angegebenen Wertes angesetzt werden. Für den Baugrund sind dynamische Kennwerte zugrunde zu legen.

2.2.4.5 Dämpfung

(1) Für die Berechnung der Bewegungs- und Schnittgrößen darf geschwindigkeitsproportionale (viskose) Dämpfung angesetzt werden.

(2) Bei der dynamischen Berechnung ist die unterschiedliche Dämpfung von Baugrund und den einzelnen Gebäudestrukturen zu erfassen.

(3) Für die baulichen Anlagen dürfen die Dämpfungswerte der Tabelle 2-1 verwendet werden, falls die Konstruktionsregeln des Abschnittes 5 erfüllt werden. In begründeten Fällen darf von den Werten der Tabelle 2-1 abgewichen werden.

Bauteile aus	Dämpfungswert D
Stahlbeton	7
Spannbeton	5
Stahl mit geschweißten Anschlüssen	4
Stahl mit geschraubten Anschlüssen	7
Stahlverbund	7
Mauerwerk	7

Tabelle 2-1: Dämpfungswerte D in % der kritischen Dämpfung

(4) Für den Baugrund darf die Dämpfung aus Hysterese und die Dämpfung aus Energieabstrahlung gemäß den Baugrund- und Gründungsverhältnissen angesetzt werden. Bei der Anwendung modaler Verfahren mit reellen Eigenformen soll deren Dämpfung auf folgende Werte begrenzt werden:

- für Horizontal- und Drehschwingungen:
15 % der kritischen Dämpfung
- für Vertikalschwingungen:
30 % der kritischen Dämpfung

Höhere Werte sind im Einzelfall zu begründen.

Hinweis:

Bei Böden mit stark veränderlichen dynamischen Kennwerten kann die Dämpfung erheblich von der des homogenen Halbraums abweichen.

2.2.4.6 Schnittgrößen von Bauteilen

Die Schnittgrößen von Bauteilen dürfen in den Fällen, in denen sie sich nicht direkt aus den Gebäudebeschleunigungen errechnen lassen, mit Hilfe von Etagen-Antwort-Spektren ermittelt werden. Die Verankerungskräfte, die von Komponenten auf Bauteile ausgeübt werden, sind zu erfassen.

2.2.4.7 Bauwerke der Klasse II, die auf Anlagenteile der Klasse I einwirken können

(1) Für solche Bauwerke der Klasse II, die zur Klasse I gehörende Teile in ihrer sicherheitstechnischen Funktion beein-

trächtigen können (KTA 2201.1, Abschnitt 5, 3. Absatz), ist für das Bemessungserdbeben ein Nachweis ihrer Standsicherheit zu führen oder es sind die Lasten R_B gemäß Abschnitt 3.2 anzusetzen.

(2) Der Standsicherheitsnachweis darf nach DIN 4149 Teil 1 erfolgen; dem Nachweis ist die Bauwerksklasse 2 der DIN 4149 Teil 1 zugrunde zu legen. Dabei ist abweichend von DIN 4149 Teil 1 die Intensität des Bemessungserdbebens für den Standort anzusetzen und der Eingangswert b_0 der Horizontalbeschleunigung als Lastannahme nach Tabelle 2-2 zuzuordnen.

Intensität des Erdbebens	Eingangswert b_0 für die Bemessung nach DIN 4149 Teil 1 b_0 (m/s ²)	Abminderungsfaktor α
VI	0	0
VI - VII	0,25	0,6
VII	0,40	0,7
VII - VIII	0,65	0,8
VIII	1,0	0,9

Tabelle 2-2: Intensität und zugehöriger Eingangswert b_0 der Horizontalbeschleunigung als Lastannahme sowie Abminderungsfaktor α für den Nachweis von Bauwerken der Klasse II, die zur Klasse I gehörende Teile in ihrer sicherheitstechnischen Funktion beeinträchtigen können.

Hinweis:

Der Geltungsbereich der DIN 4149 Teil 1 wird mit diesen Festlegungen auf bestimmte bauliche Anlagen erweitert, die zwar der Klasse II (KTA 2201.1) zuzuordnen sind, für die aber ein Nachweis der Standsicherheit gefordert wird. Das Sicherheitsniveau wird durch eine von DIN 4149 Teil 1 abweichende Festlegung der „Lastannahme“ derart angehoben, daß es demjenigen entspricht, das für das gesamte Kernkraftwerk gilt (Intensität des Bemessungserdbebens). Die Anwendung der DIN 4149 ist konservativ; die in DIN 4149 getroffenen Festlegungen sind aus jahrhundertelangen Erfahrungen an Bauwerken entstanden.

2.3 Vereinfachte Nachweise

(1) Für einzelne Bauteile dürfen vereinfachte Nachweise geführt werden, wenn durch Art und Ausbildung der einzelnen Bauteile eine rechnerisch nicht ausgenutzte Systemzähigkeit gewährleistet wird (z.B. bei Stahlbühnen) oder eine hinreichend homogene Massenverteilung vorhanden ist (vgl. KTA 2201.4 Abschnitt 4.3.2.4).

(2) Ein rechnerischer Nachweis der Erdbebensicherheit darf für die baulichen Anlagen entfallen, wenn die Intensität des Bemessungserdbebens zu nicht mehr als 6 (\leq VI) ermittelt wurde und die baulichen Anlagen gemäß Abschnitt 5 ausgeführt werden.

3 Überlagerung von Lasten

3.1 Allgemeines

Für die Standsicherheitsnachweise der baulichen Anlagen sind die Lasten infolge Erdbeben mit den Lasten aus anderen Lastfällen zu kombinieren. Soweit Verkehrslasten nur wegen

der Montage schwerer Anlagenteile höher angegeben sind als für den Betriebsfall erforderlich, brauchen nur diejenigen Verkehrslasten erfaßt zu werden, die tatsächlich während des Betriebes auftreten. Nichtständige Lasten, die den seismisch bedingten Lasten entgegenwirken, sind nicht zu erfassen. Kurzzeitige und selten auftretende Lasten brauchen nicht erfaßt zu werden.

3.2 Lasten

Folgende Lasten sind zu erfassen:

L = äußere Lasten des Gebrauchszustandes, wie z.B. Eigenlast, ständige Last, Verkehrslast, Betriebslasten, Erd- druck, Wasserdruck.

E_B = Erdbebenlasten, hervorgerufen durch Bemessungserdbeben.

R_B = Lasten, hervorgerufen durch Schäden oder Versagen von Anlagenteilen infolge Bemessungserdbeben.

3.3 Lastkombinationen

(1) Die Gebäude und Bauteile sind hinsichtlich der Erdbebenbelastung für folgende Lastkombination auszulegen:

$$L_B = L + E_B + R_B \quad (3-1)$$

(2) Im Einzelfall ist zu untersuchen, ob ein gleichzeitiges Eintreten oder ein zeitliches Nacheinander dieser Lasten anzusetzen ist.

(3) Wenn mehrere stochastisch unabhängigen dynamischen Erregungen auftreten, dürfen gleichgerichtete Bewegungs- und Schnittgrößen aus den Lasten gemäß Gleichung (2-1) überlagert werden.

4 Bemessung

4.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Bauteile sind so zu bemessen, daß sie standsicher bleiben und die im folgenden festgelegten Sicherheiten eingehalten werden.

(2) Es dürfen bleibende Verformungen auftreten. Sofern an die baulichen Anlagen weitergehende Anforderungen (z.B. Dichtheit) gestellt werden, ist die Einhaltung dieser Anforderungen gesondert nachzuweisen.

Hinweis:

Im folgenden werden insbesondere detaillierte Angaben für die Baustoffe Stahl, Stahlbeton, Spannbeton und Mauerwerk gemacht. Für den Baugrund wird auf DIN 1054 "Baugrund; zulässige Belastung des Baugrunds" und die Gutachten zum Baugrund hingewiesen.

4.2 Bemessung von Stahlbetonbauteilen

4.2.1 Bemessungsgrundlage

Stahlbetonbauteile sind für das Bemessungserdbeben (Lastkombination L_B) nach den in DIN 1045 festgelegten Bestimmungen für Bauteile mit vorwiegend ruhenden Belastungen mit den nachfolgend aufgeführten Abweichungen zu bemessen.

4.2.2 Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein

(1) Als Rechenwerte β_R der Betondruckfestigkeit sind die Werte der **Tabelle 4-1** anzusetzen.

Festigkeitsklasse des Betons	B 25	B 35	B 45	B 55
Rechenwert β_R (MN/m ²)	22,5	31,5	40,5	49,5

Tabelle 4-1: Rechenwerte $\beta_R = 0,9 \beta_{WN}$ der Betondruckfestigkeit für die Lastkombination LB in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Betons

(2) Der rechnerische Sicherheitsbeiwert ist mit $\gamma = 1,0$ anzusetzen.

(3) Bei Biegung mit geringer Druckkraft ist zusätzlich ein Nachweis mit der 0,9fachen Normalkraft zu erbringen.

4.2.3 Nachweis der Knicksicherheit bei vorwiegend auf Druck beanspruchten Bauteilen

(1) Bei Schlankheiten $\lambda \leq 70$ dürfen die dynamische Berechnung und die Ermittlung statischer Ersatzlasten getrennt von der Bestimmung der Schnittgrößen für die Bemessung durchgeführt werden.

(2) Bei Schlankheiten $\lambda > 70$ ist der Einfluß der Verformungen in der dynamischen Berechnung zu erfassen.

4.2.4 Bemessung für Querkraft

(1) Als Grenzen der Schubbereiche 1 und 2 sind die in **Tabelle 4-2** angegebenen Rechenwerte der Schubspannungen anzusetzen. Sie gelten für Platten und Balken.

(2) Für die einzelnen Bereiche sind folgende Nachweise erforderlich:

Bereich 1: $\max \tau_0 \leq \tau_{01}$

Es ist kein Nachweis der Schubdeckung erforderlich; konstruktive Schubbewehrung ist in Balken stets und in Platten dann anzuordnen, wenn

$$\tau_{01} > k_1 \cdot \tau_{01} \tag{4-1}$$

ist. Für den Beiwert k_1 gilt die Beziehung

$$k_1 = \frac{0,2}{d} + 0,33 \begin{matrix} \geq 0,5 \\ \leq 1,0 \end{matrix} \tag{4-2}$$

(d = Plattendicke in m)

		Festigkeitsklasse des Betons			
Schubbereiche		B 25	B 35	B 45	B 55
1a	τ_{01}	0,6	0,7	0,9	1,0
1b	τ_{01}	0,9	1,1	1,3	1,4
1c	τ_{01}	1,4	1,8	2,0	2,2
2	τ_{02}	2,2	2,9	3,2	3,6

Tabelle 4-2: Grenzen der Rechenwerte der Schubspannungen für die Lastkombination LB für Platten und Balken in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Betons

- Zeile 1a: Platten, gestaffelte Bewehrung.
- Zeile 1b: Platten, keine Staffelung der Bewehrung.
- Zeile 1c: Balken.

Bereich 2: $\tau_{01} < \max \tau_0 \leq \tau_{02}$

Bei Schwellbeanspruchung (kein Vorzeichenwechsel der Querkraft) ist verminderte Schubdeckung nachzuweisen. Dabei darf der Rechenwert τ_0 in jedem Querschnitt auf den Bemessungswert $\text{red } \tau_0$ abgemindert werden:

$$\tau = \text{red } \tau_0 = \frac{\text{vorh } \tau_0^2}{\tau_{02}} \geq 0,6 \tau_0 \tag{4-3}$$

falls die Biegebewehrung fließt und bei Wechselbeanspruchung ist volle Schubdeckung erforderlich.

Bereich 3: $\tau_{02} < \max \tau_0$

Für $\max \tau_0 > \tau_{02}$ ist stets volle Schubdeckung erforderlich.

(3) Die nach Ausfall der schiefen Hauptzugspannungen des Betons auftretenden schiefen Hauptdruckspannungen dürfen die Werte der **Tabelle 4-3** nicht überschreiten.

Diese schiefen Hauptdruckspannungen dürfen näherungsweise ermittelt werden aus

$$\sigma_{II}^{(II)} = \left| \sigma_I^{(II)} \right| + \left| \sigma_{II}^{(I)} \right| \tag{4-4}$$

In Gleichung (4-4) sind:

- $\sigma_I^{(I)}$ die nach Zustand I ermittelte schiefe Hauptzugspannung
- $\sigma_{II}^{(I)}$ die nach Zustand I ermittelte schiefe Hauptdruckspannung
- $\sigma_{II}^{(II)}$ die nach Zustand II ermittelte schiefe Hauptdruckspannung

Festigkeitsklasse des Betons	B 25	B 35	B 45	B 55
(II) $\left(\frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \right)$	15,0	21,0	27,0	33,0

Tabelle 4-3: Schiefe Hauptdruckspannungen $\sigma_{II}^{(II)}$ unter rechnerischer Bruchlast in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Betons

Vereinfachend darf hierbei der Nachweis in der Schwerlinie des Trägers geführt werden, wenn die Stegdicke über der Trägerhöhe konstant ist oder wenn die minimale Stegdicke eingesetzt wird.

(4) Die Schubbewehrung darf mit β_S , bei glatten Bewehrungsstählen höchstens mit 280 MN/m² und bei gerippten Stählen höchstens mit 600 MN/m² bemessen werden.

4.2.5 Bemessung für Torsion sowie für Querkraft und Torsion

Abweichend von den Bestimmungen der DIN 1045, Abschnitt 17.5.6 und Abschnitt 17.5.7 dürfen für die Grenzen der Rechenwerte der Schubspannung (τ_{01} , τ_{02}) die erhöhten Werte nach **Tabelle 4-2** eingesetzt werden.

4.2.6 Begrenzung der Wasserdurchlässigkeit

Eine Begrenzung der Wasserdurchlässigkeit als Bedingung eines Überflutungsschutzes braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn wasserundurchlässiger Beton nach DIN 1045, Abschnitt 6.5.7.2 verwendet und eines der beiden folgenden Verfahren angewendet wird:

- Bemessung für die Lastkombination LB gemäß **Anhang A**,
- Nachweis, daß die Biegedruckzone des Querschnitts auf einer Querschnittsseite im Lastfall LB nach Abschnitt 4.2.2 stets größer als 10 % der Bauteilhöhe d ist, mindestens aber 10 cm, und die Stahlspannung der Schubbewehrung nicht $0,9 \beta_S$ überschreitet.

4.3 Bemessung von Spannbetonbauteilen

4.3.1 Bemessungsgrundlage

Spannbetonbauteile sind für die Lastkombination LB + Vorspannung nach den in DIN 4227 Teil 1 festgelegten Bestimmungen mit den nachfolgend aufgeführten Abweichungen zu bemessen.

Hinweis:

Der Lastfall Vorspannung beinhaltet auch Kriechen und Schwinden.

Bauteile mit teilweiser Vorspannung (DIN 4227 Teil 2), Segmentbauarten (Teil 3), Spannleichtbeton (Teil 4) und Bauteile mit Vorspannung ohne Verbund (Teil 6) werden in dieser Regel nicht behandelt.

4.3.2 Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein

(1) Der Nachweis der rechnerischen Bruchlast (für die Lastkombination LB + Vorspannung) ist mit einem Sicherheitsbeiwert von $\gamma = 1,0$ zu führen.

(2) Erhöht die äußere Längskraft das aufnehmbare Biegemoment, so ist ein zusätzlicher Nachweis unter Ansetzung der 0,9fachen Längskraft zu erbringen. Als Rechenwert der Betondruckfestigkeit ist $\beta_S = 0,6 \beta_{WN}$ anzusetzen.

4.3.3 Schiefe Hauptspannungen und Schubdeckung

Es gelten die in Abschnitt 4.2.4 angegebenen Festlegungen sinngemäß.

4.4 Bemessung von Stahlbauteilen

4.4.1 Bemessungsgrundlage

(1) Bei der Berechnung der Stahlbauteile gelten die anerkannten Regeln der Baukunst, zusätzlich ist zu beachten:

- Als Rechenmethoden sind die üblichen baustatischen Methoden anzuwenden.
- Einfache und übersichtliche Rechenverfahren sind zu bevorzugen; sofern sinnvoll, sind statische Ersatzverfahren für dynamische Beanspruchungen zu verwenden.
- Für die dynamischen Berechnung dürfen die für die statische Berechnung geltenden Werte für den Elastizitätsmodul und für die Querdehnzahl verwendet werden.

(2) Stahlbauteile sind nach den Stahlbauvorschriften für vorwiegend ruhende Belastung mit den nachfolgend aufgeführten Abweichungen zu bemessen.

(3) Die Rechenwerte für die Werkstoffeigenschaften bei Raumtemperatur sind in **Tabelle 4-4** und **Tabelle 4-5** angegeben.

(4) Bei Temperaturen $> 80^\circ\text{C}$ sind Änderungen der Werkstoffwerte zu beachten.

(5) Das Traglastverfahren nach DASt 008 darf angewendet werden. Verformungsbeschränkungen müssen beachtet werden. Als Sicherheitsbeiwert ist 1,5 anzusetzen.

Stahlsorte	Kennwerte			linearer Wärmeausdehnungskoeffizient α_T mm/mm·K
	Streckgrenze σ_S N/mm ²	Elastizitätsmodul (Zug, Druck) E N/mm ²	Schubmodul G N/mm ²	
Baustahl St37	240	210000	81000	12·10 ⁻⁶
Baustahl St52-3	360			12·10 ⁻⁶

Tabelle 4-4: Rechenwerte für Werkstoffeigenschaften

Festigkeitsklasse	Streckgrenze β_S N/mm ²	0,2 Grenze $\beta_{0,2}$ N/mm ²	Zugfestigkeit t β_Z N/mm ²
4,6	240	-	400
5,6	300	-	500
8,8	-	640	800
10,9	-	900	1000

Tabelle 4-5: Rechenwerte für Schraubenwerkstoffe (nach DIN ISO 898 Teil 1)

4.4.2 Zulässige Spannungen

4.4.2.1 Zulässige Spannungen für Bauteile

Die zulässigen Bauteil-Spannungen nach **Tabelle 4-6** sind einzuhalten.

4.4.2.2 Zulässige Spannungen für Verbindungsmittel

Die Faktoren zur Ermittlung der zulässigen Spannungen für Verbindungsmittel nach **Tabelle 4-7** und **Tabelle 4-8** sind einzuhalten.

4.4.2.3 Zulässige Spannungen für Schweißnähte

Die Faktoren zur Ermittlung der zulässigen Spannungen für Schweißnähte nach **Tabelle 4-9** sind einzuhalten.

Hinweis:

Die Nahtarten sind in Tabelle 6 der DIN 18 800 Teil 1 dargestellt (vgl. dazu auch Angaben in Spalte 1 von Tabelle 11 der DIN 18 800 Teil 1).

4.4.2.4 Lagerteile und Gelenke

Für Lagerteile und Gelenke sind die 1,5fachen Spannungen des Lastfalls H nach DIN 18 800 Teil 1 zulässig.

4.4.3 Stabilitätsnachweis

(1) Die Stabilitätsnachweise (Knicken, Kippen Beulen) sind gemäß DIN 4114 mit Ergänzungserlaß zu führen. Bauteile mit Schlankheitsgraden größer 150 sind je doch bei Verwendung des Omega-Verfahrens nicht zulässig.

(2) Für den Lastfall LB dürfen die Sicherheitsbeiwerte der Beanspruchungsstufe H um 25 % abgemindert werden, dies gilt z.B. für die Nachweise der Kipp- und der Beulsicherheit sowie für den Nachweis nach Theorie II. Ordnung.

(3) Beim Knicknachweis mit ω -Beiwerten sind die Faktoren zur Ermittlung der zulässigen Spannungen der **Tabelle 4-6**, Zeile 1, einzuhalten.

(4) Die ausreichende Tragsicherheit ist auch dann gegeben, wenn nachgewiesen wird, daß bei γ -facher Belastung unter Berücksichtigung der Elastizitätstheorie II. Ordnung die Streckgrenzwerte nach **Tabelle 4-4** an keiner Stelle überschritten werden. Wirklichkeitsnahe Annahmen für die geometrischen und strukturellen Imperfektionen müssen dabei berücksichtigt werden.

Zeile	Faktor	Spannungs-Kategorie
1	0,80	Druck und Biegedruck beim Knicknachweis nach dem ω -Verfahren
2	1,00	Zug und Biegezug, Druck und Biegedruck bei allgemeinem Spannungsnachweis
3	0,58	Schub
4	1,00	Vergleichsspannung
5	1,75	SL rohe Schrauben (DIN 7990), hochfeste Schrauben (DIN 6914) oder Senkschrauben (DIN 7969) Lochspiel $0,3 \text{ mm} < \Delta d \leq 2 \text{ mm}$ - ohne Vorspannung
6	2,37	SL hochfeste Schrauben (DIN 6914) Lochspiel $0,3 \text{ mm} < \Delta d \leq 2 \text{ mm}$, nicht planmäßige Vorspannung: $\geq 0,5 \cdot F_v$ (F_v nach Tabelle 9, Spalte 2, DIN 18 800 Teil 1)
7	2,00	SLP Paßschrauben (DIN 7968) Lochspiel $\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$ ohne Vorspannung
8	2,62	SLP hochfeste Paßschraube (Lochspiel $\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$), nicht planmäßige Vorspannung: $\geq 0,5 \cdot F_v$ (F_v nach Tabelle 9, Spalte 2, DIN 18 800 Teil 1)
9	3,00	GVP hochfeste Schraube (Lochspiel $0,3 \text{ mm} < \Delta d \leq 2 \text{ mm}$) GV hochfeste Paßschraube (Lochspiel $\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$) Vorspannung: $1,0 \cdot F_v$ (F_v nach Tabelle 9, Spalte 2, DIN 18 800 Teil 1)

Tabelle 4-6: Faktoren zur Ermittlung zulässiger Bauteil-Spannungen für den Lastfall LB als Vielfaches der Streckgrenze: $\text{zul } \sigma = \text{Faktor} \times \text{Streckgrenze}$

Festigkeitsklasse	SL-Verbindungen			SLP-Verbindungen			Ankerschrauben
	4.6	5.6	10.9; 8.8	4.6	5.6	10.9; 8.8	
	Faktor						
Abscheren (τ_a)	0,70	0,84	0,40	0,88	1,05	0,47	-
Leibungsdruck (σ_1)	1,75	2,10 ²⁾	- ¹⁾	2,00	2,40 ²⁾	- ¹⁾	-
ohne Vorspannung	0,69	0,75	0,60	0,69	0,75	0,60	0,69
		GV			GVP		
planmäßig vor- gespannt	-	-	$\frac{0,88F_v}{A_s}$ ³⁾	-	-	$\frac{0,88F_v}{A_s}$ ³⁾	

1) hier sind die zulässigen σ_1 -Werte des Bauteils maßgebend

2) bei Verwendung von Schrauben der Güte 5.6 in Bauteilen aus St 37 sind die kleineren zulässigen Werte des Bauteils maßgebend

F_v = Vorspannkraft (vgl. hierzu Tabelle 4-8)

A_s = Spannungsquerschnitt der Schraube (vgl. hierzu Tabelle 4-8)

3) Werte größer $0,88 \cdot F_v / A_s$ sind zulässig, sofern ein Rutschen der GV/GVP-Verbindung in Kauf genommen werden kann; die Verbindung ist dann als SL/SLP-Verbindung nachzuweisen

Tabelle 4-7: Verbindungsmittel: Faktoren zur Ermittlung zulässiger Spannungen bzw. (bei GV und GVP) zulässige Spannungen

Schraubengröße	Vorspannkraft Fv siehe DIN 18 800 Teil 7 Ausgabe Mai 1983 Tabelle 1 Spalte 2	zul QGV (GV-Verbindungen) Lochspiel $0,3 \text{ mm} < \Delta d \leq 2 \text{ mm}$	zul QGVP (GV-Verbindungen) Lochspiel $\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$
		Werkstoff der zu verbindenden Bauteile	
		St 37, St 52	St 37, St 52
	kN	kN	kN
M12	50	25,0	55,0
M16	100	50,0	96,0
M20	160	80,0	146,0
M22	190	95,0	174,0
M24	220	110,0	207,0
M27	290	145,0	258,0
M30	350	175,0	318,0
M36	510	255,0	451,0

Hinweise:

- (1) Für GV-Verbindungen mit Lochspiel $2 \text{ mm} < \Delta d < 3 \text{ mm}$ sind die zulässigen Werte auf 80 % zu ermäßigen.
(2) Bei gleichzeitiger Beanspruchung der planmäßig vorgespannten Verbindung axial auf Zug und senkrecht zur Schraubennachse gilt im Lastfall LB:

$$\text{für GV-Verbindungen:} \quad \text{zul } Q_{GV,Z} = \text{zul } Q_{GV} \left(0,2 + 0,8 \frac{0,88F_v - 2}{0,88F_v} \right)$$

$$\text{für GVP-Verbindungen:} \quad \text{zul } Q_{GVP,Z} = 0,5 \cdot \text{zul } Q_{SLP} + Q_{GV,Z}$$

Q_{SLP}^H nach DIN 18 800 Teil 1 Tabelle 8 Spalte 14, Z = äußere Schraubenkraft

- (3) In Konstruktionsteilen, die der Stabilität des Bauwerkes dienen, sollten nur Paßschraubenverbindungen oder GV- bzw. GVP-Verbindungen, die unter γ -facher Belastung $\gamma = 1,2$ die Gleitgrenze nicht erreichen, verwendet werden. Ansonsten müssen größere Lochspiele bei den Imperfektionsannahmen berücksichtigt werden.

Tabelle 4-8: Vorspannkraft und zulässige übertragbare Kräfte zul Q_{GV} , zul Q_{GVP} je Schraube und je Reibfläche (Scherfläche) senkrecht zur Schraubennachse in kN für Materialdicken $t \geq 3 \text{ mm}$ für HV-Schrauben (10.9) für den Lastfall LB

Bezeichnungen siehe DIN 18 800 Teil 1				St37	St52
Nahtart	Bild nach Tab. 6, Spalte 2	Nahtgüte (siehe Tabelle 6, Spalte 4)	Spannungsart	Faktor	
Stumpfnah D(oppel)-HV-Naht (K-Naht)	Zeile 1 Zeile 2	alle Nahtgüten	Druck und Biegedruck zul σ_D	1,0	1,0
HV-Naht D(oppel)-HY-Naht ¹⁾ (K-Stegnaht)	Zeilen 3 u. 4 Zeile 5	Nahtgüte ²⁾ nachge- wiesen	Zug und Biegezug zul σ_Z		
HY-Naht ¹⁾ Dreiblechnaht	Zeile 6 Zeile 13	Nahtgüte nicht nach- gewiesen			
Kehlnähte	Zeile 7 bis 12	alle Nahtgüten	Druck und Biegedruck zul σ_D	0,84	0,71
Dreiblechnaht	Zeile 14		Zug und Biegezug zul σ		
alle Nähte	Zeile 1 bis 14		Schub in Nahrichtg. zul τ		
HY-Naht Kehlnähte	Zeile 6 Zeilen 7 bis 12		Vergleichswert zul σ_v		
1) Wegen des vorhandenen Wurzelspaltes kommen für Zug und Biegezug nur die Werte 0,84/0,71 in Betracht.					
2) Siehe DIN 18 800 Teil 1					

Tabelle 4-9: Faktoren zur Ermittlung zulässiger Spannungen für Schweißnähte

4.5 Bemessung von Mauerwerk

4.5.1 Bemessungsgrundlage

- (1) Mauerwerk ist für das Bemessungserdbeben (Lastfallkombination LB) nach DIN 1053 Teil 1 zu bemessen, soweit im folgenden nichts anderes bestimmt ist.
- (2) Mauerwerk, das nicht zur Aussteifung des Gebäudes herangezogen wird, ist so auszubilden, daß es dessen Bewegungsmöglichkeit nicht behindert.
- (3) Für aussteifendes Mauerwerk (unbewehrtes Mauerwerk) ist mindestens Mörtel der Gruppe II zu verwenden.

4.5.2 Unbewehrtes Mauerwerk

- (1) Die zulässigen Spannungen nach DIN 1053 Teil 1 dürfen auf das 1,5fache erhöht werden.
- (2) Wirkt die vorhandene Längskraft günstig, so ist sie maximal mit dem 0,9fachen Wert anzusetzen.

4.5.3 Bewehrtes Mauerwerk

- (1) Bewehrtes Mauerwerk darf zur Schließung von Öffnungen im Innern von Gebäuden verwendet werden. Es ist Mörtel der Gruppe III (Zementmörtel) zu verwenden.
- (2) Die zulässigen Mauerwerksspannungen der DIN 1053 Teil 1 dürfen gemäß Abschnitt 4.6.2.2 erhöht werden.
- (3) Unabhängig von der Stahlgüte darf die Bewehrung bis zu 210 MN/m^2 ausgenutzt werden.
- (4) Für den Nachweis der Scher- und Schubspannungen dürfen die zulässigen Spannungen der DIN 1053 Teil 1 um 50 % erhöht werden.

4.6 Verformungen

- (1) Ein Nachweis der Verformungen eines Bauwerks oder einzelner Bauteile ist nur dann notwendig, wenn durch Verformungen beim Bemessungserdbeben die Funktionsfähigkeit der sicherheitstechnisch wichtigen bautechnischen, maschinen- und elektrotechnischen Anlagen beeinträchtigt werden kann.
- (2) Die Relativverformung unabhängig schwingender Bauwerke darf aus der Wurzel der Summe der Quadrate der Einzelverformungen errechnet werden.
- (3) Bei der Berechnung der Verformungen von Bauwerken ist die Nachgiebigkeit des Baugrunds zu berücksichtigen.
- (4) Wird bei der Berechnung der Verformungen das nichtlineare Materialverhalten nicht erfaßt, und werden die Dämpfungswerte von **Tabelle 2-1** verwendet, so sind die ermittelten Verformungen für die Erdbebenlast E_B um 50 % zu erhöhen. Diese Regelung gilt unabhängig vom Material und Bemessungsverfahren.

4.7 Bemessung von Stahlverbundbauten

Die Bemessung von Stahlverbundbauteilen erfolgt nach den RL-Stahlverbundträger und DIN 18 806 Teil 1 mit den Abweichungen für den Stahlträger des Verbundbauteils nach Abschnitt 4.4, für den Betonteil nach Abschnitt 4.2 und 4.3.

5 Konstruktionsregeln und -empfehlungen

5.1 Gebäudeformen und Anordnung der Bauteile

- (1) Die Baukörper sollten einfache gedrungene Formen aufweisen. Gebäude mit stark aufgelöstem oder abgewinkeltem Grundriß oder mit ausgeprägter Staffelung über die Höhe sollten vermieden werden. Aussteifende Bauteile sollten gleichmäßig über den Grundriß verteilt und symmetrisch angeordnet werden. Sprunghafte Änderungen in der Anordnung der aussteifenden Bauteile sollten vermieden werden, ebenso Querschnittssprünge in den Aussteifungselementen. Skelettkonstruktionen aus Stahlbeton sollten so ausgebildet werden, daß Fließgelenke zuerst in den Riegeln auftreten.
- (2) Fugenbreiten sind gemäß den nach Abschnitt 4.6 ermittelten Verformungen festzulegen.
- (3) Unterschiedliche Gründungstiefen und Gründungsarten sowie Einzelfundamente sollten vermieden werden.

5.2 Konstruktive Durchbildung

5.2.1 Stahlbetonbauteile

5.2.1.1 Konstruktionsgrundlage

Die konstruktive Durchbildung von Stahlbetonbauteilen erfolgt nach DIN 1045. Zusätzlich müssen bei allen Bauteilen, die zur Abtragung der Horizontallasten infolge Erdbeben für die Standsicherheit des Bauwerks erforderlich sind, die nachfolgenden Bewehrungsgrenzen und Vorschriften über die Bewehrungsanordnung eingehalten werden.

5.2.1.2 Bewehrungsgrenzen

5.2.1.2.1 Allgemeines

(1) Die in **Tabelle 2-1** angegebenen Dämpfungswerte setzen ein zähes Tragverhalten voraus, das durch die Einhaltung der nachfolgend angegebenen Bewehrungsgrenzen für die Bauteile, die das Schwingungsverhalten maßgebend beeinflussen, zu sichern ist. Dabei dürfen zur Bestimmung der Bewehrungsgrenzen vereinfachend die Schnittgrößen und zulässigen Rechenwerte der Spannungen aus der Lastfallkombination LB benutzt werden.

(2) Die Beschränkung der Höchstbewehrung nach Abschnitt 5.2.1.2.3 darf im Einzelfall entfallen, wenn für diese Stahlbetonbauteile die Dämpfung für Spannbeton gemäß **Tabelle 2-1** angesetzt wird.

5.2.1.2.2 Mindestbewehrung

(1) In überwiegend auf Biegung oder auf Zug beanspruchten Bauteilen ist die vom reinen Betonquerschnitt aufnehmbare und beim Übergang von Zustand I in den Zustand II zum Gleichgewicht des inneren Moments erforderliche Zugkraft durch Bewehrung abzudecken. Die Bewehrung darf höchstens bis zur Streckgrenze ausgenutzt werden. Als Betonzugfestigkeit β_{bz} sind bei dünnen Bauteilen ($d < 50 \text{ cm}$) die Werte der **Tabelle 5-1** anzusetzen.

Betonzugfestigkeit	Festigkeitsklasse des Betons			
	B 25	B 35	B 45	B 55
β_{bz}	3,5	3,7	4,0	4,2

Tabelle 5-1: Betonzugfestigkeit β_{bz} für die Ermittlung der Mindestbewehrung

(2) Für Rechteckquerschnitte ergibt sich damit unter Erfassung der Bauteildicke durch den Beiwert k_d und der Normalkraft durch den Beiwert k_n der auf den Gesamtquerschnitt bezogene Mindestbewehrungsgrad

$$\min \mu_0 = \frac{\min A_s}{b \cdot d} = 0,2 \frac{\beta_{bz}}{\beta_s} \cdot k_d \cdot k_n \quad (5-1)$$

mit $k_d = 1,0$ für $d \leq 0,50$ m

$k_d = 0,8$ für $d \geq 4,50$ m

Zwischenwerte von k_d sind für $0,5 \text{ m} < d < 4,5 \text{ m}$ linear zu interpolieren.

$$k_n = 1 + \frac{n}{\frac{\beta_{bz} k_d}{\beta_R} - n} \leq 4$$

$$n = \frac{N}{b \cdot d \cdot \beta_R}$$

wobei die Normalkraft N als Druckkraft negativ einzusetzen und β_R der **Tabelle 4-1** zu entnehmen ist. Bei Druckkraft darf, bei Zugkraft muß der Beiwert k_n angesetzt werden. β_s ist DIN 1045 Tabelle 6 zu entnehmen.

(3) Bei Bauteilen, die ihre Lasten zweiachsig abtragen, ist die Mindestbewehrung in der Haupttragrichtung voll einzulegen; in der Nebentragrichtung darf sie im Verhältnis der Bemessungsmomente der beiden Tragrichtungen abgemindert werden, muß jedoch mindestens 20 % der in der Hauptrichtung eingelegten Bewehrung betragen.

(4) Für Stützen als Druckglieder mit einem Seitenverhältnis von $b/d \leq 5$ gilt DIN 1045, Abschnitt 25.2.2, wobei jedoch abweichend bei statisch nicht voll ausgenutzten Betonquerschnitten die Mindestbewehrung nicht abgemindert werden soll.

5.2.1.2.3 Höchstbewehrung

(1) Bei biegebeanspruchten Bauteilen mit oder ohne Längszugkraft ist die angesetzte plastische Verformbarkeit (Rotationsfähigkeit des Querschnitts) durch eine Begrenzung der Längszugbewehrung zu erreichen. Durch Einlegen von Längsdruckbewehrung ist bei gleichzeitig wirkender Längsdruckkraft der Beeinträchtigung der plastischen Verformbarkeit entgegenzuwirken.

Zu diesem Zweck ist die Betondruckkraft auf 50 % des Wertes zu begrenzen, der sich bei ausgenutzter Betondruckzone und bei gleichzeitigem Erreichen der Fließgrenze der Längszugbewehrung ergibt. Die maximale Betonrandstauchung ϵ_b ist nach **Bild 5-1** anzunehmen. Eine Beschränkung der Stahldehnung ϵ_s entfällt bei der Bestimmung der Höchstbewehrung.

(2) Für den Rechteckquerschnitt errechnet sich der maximale Bewehrungsgrad aus der Beziehung

$$\max \mu_0 = \mu'_0 + \frac{\beta_R}{\beta_s} (0,23 + n) \leq 0,5 \frac{\beta_R}{\beta_s} \quad (5-2)$$

$$\text{mit } n = \frac{N}{\beta_R \cdot b \cdot d}$$

Rechteckquerschnitte mit $n \leq -0,23$ sind symmetrisch zu bewehren und grundsätzlich gemäß Abschnitt 5.2.1.3 Punkt c) zu verbügeln. Ausnahmen hinsichtlich der Verbügelung sind zulässig bei bezüglich der Biegetragfähigkeit nicht voll ausgenutzten Querschnitten.

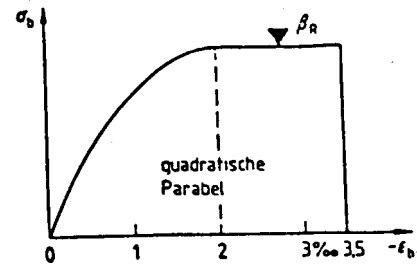


Bild 5-1: Rechenwerte für die Spannungsdehnungslinie des Betons

5.2.1.3 Bewehrungsanordnung

Die Berechnungsregeln setzen ein genügendes Energieaufnahmevermögen der Konstruktion gegen Erdbebenbeanspruchung voraus, das zum Beispiel durch folgende konstruktive Maßnahmen erreicht werden kann:

- a) Rahmenriegel (siehe **Bild 5-2**)
 - a) Durchführung von mindestens einem Viertel der größten Stützbewehrung im Freifeld (siehe **Bild 5-2: 1**);
 - ab) Einlegen von mindestens der Hälfte der oberen Zugbewehrung an der Stützung auch auf der Druckseite (siehe **Bild 5-2: 2**);
 - ac) Durchführung und volle Verankerung von mindestens einem Drittel der Feldbewehrung bis zur Stützung (siehe **Bild 5-2: 3**);
 - ad) Vermeidung von Stößen in einer Entfernung $< 2h$ vom Knotenanschnitt und im Knotenbereich (siehe **Bild 5-2: 4**);
 - ae) Ermittlung des aus den Stabendmomenten resultierenden Schubkraftanteils nicht für die rechnerisch ermittelten Momente, sondern für die bei Ansatz der gewählten Bewehrung aufnehmbaren Momente (siehe **Bild 5-2: 5**);
 - af) Einhalten der Bügelabstände von $0,5 d_0 \leq 25$ cm (siehe **Bild 5-2: 6**);
 - ag) Ausführung von kraftschlüssig geschlossenen Bügeln auf eine Entfernung von $2h$ vom Knotenanschnitt mit einem Abstand von höchstens $0,25 d_0 \leq 20$ cm (siehe **Bild 5-2: 7**).
- b) Rahmenstiele und Knotenpunkte (monolithische Bauweise) (siehe **Bild 5-3**)
 - ba) Führung der äußeren Stielbewehrung bei Rahmenekken mindestens um das Maß $2 d_0$ in den Riegel (siehe **Bild 5-3: 1**);
 - bb) Anordnung und Staffelung der Bewehrungsstöße außerhalb des Knotens (siehe **Bild 5-3: 2**);
 - bc) Verringerung der Bügelabstände im Randbereich der Länge l_R um $1/3$. Kraftschlüssige Schließung der Bügel. Die Länge l_R ist der Größtwert aus l_{R1} und l_{R2} , jedoch mindestens 60 cm.

$$l_{R1} \geq 1,5 d \quad (d = \text{größte Querschnittsabmessung})$$

$$l_{R2} \geq 0,2 l \quad (l = \text{lichte Stützenlänge, siehe **Bild 5-3: 3**);}$$
 - bd) Anordnung der Bügel in Knotenpunkten, die nicht allseitig von anschließenden Bauteilen begrenzt werden, im Abstand $d_0/4$ des niedrigsten Riegels, mindestens jedoch 2 Bügel (siehe **Bild 5-3: 4**).
- c) Druckglieder (knickgefährdete Stützen, keine Pfähle)

Anordnung der Bügel entsprechend den Forderungen für Rahmenstiele.

5.2.2 Spannbetonbauteile

5.2.2.1 Bewehrungsgrenzen

(1) Mindestbewehrung

In Druckzonen, die im Falle des Bemessungserdbebens keine Zugspannungen erhalten, gilt DIN 4227 Teil 1, Abschnitt 6.7, wenn sichergestellt ist, daß in diesen Druckzonen auch durch in der Berechnung unberücksichtigte Einflüsse, wie ungewollte Einspannung, Veränderung der Steifigkeiten und ähnliches, keine Zugbeanspruchungen auftreten. In allen anderen Bereichen sind für die Mindestbewehrung die Forderungen nach Abschnitt 5.2.1.2.2 dieser Regel einzuhalten. Dabei darf die Vorspannung als Normalkraft angesetzt werden. Im Verbund liegende Spannglieder dürfen auf die Mindestbewehrung mit der Festigkeit des BST 420/500 angerechnet werden, soweit sie die Zugzonen anteilig durchsetzen. Mindestens muß jedoch die schlaife Bewehrung nach DIN 4227 Teil 1, Abschnitt 6.7 vorgesehen werden.

(2) Höchstbewehrung

Es sind keine Beschränkungen notwendig.

(3) Rissebeschränkung

Ein Nachweis der Beschränkung der Rißbreite ist für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich.

5.2.2.2 Bewehrungsanordnung

Der Abschnitt 5.2.1.3, Absatz a), Punkt ac) bis ag) für Rahmenriegel und ähnliche statisch unbestimmte Konstruktionen ist anzuwenden, wobei in Punkt ac) und ae) bei Rahmenriegeln als Bewehrung die Summe der Querschnitte aus Spannbewehrung und schlaffer Bewehrung anzusetzen ist. Für die schlaife Bewehrung von Rahmenstielen und Knotenpunkten ist Abschnitt 5.2.1.3, Absatz b) anzuwenden.

5.2.3 Bauteile aus Mauerwerk

(1) Zusätzlich zu den konstruktiven Hinweisen von DIN 1053 Teil 1 sollte bei ausgefachten Skelettkonstruktionen durch Fugenanordnung entlang den Stützen und Riegeln eine Beeinflussung der Steifigkeiten des Bauwerks vermieden werden. Andernfalls ist die aussteifende Wirkung der Ausfachung zu untersuchen, wobei das Versagen sowohl eines als auch mehrerer Felder der Ausfachung zu unterstellen ist.

(2) Bei Verwendung speziell gefertigter Steine sollte die Möglichkeit genutzt werden, vertiefte Fugenbereiche zur Aufnahme der Bewehrung anzuordnen.

5.2.4 Stahlbauteile

Für die konstruktive Durchbildung der Stahlbauteile genügen die allgemeinen Stahlbauvorschriften.

5.3 Befestigungskonstruktionen

Für die Befestigung sicherheitstechnisch wichtiger Systeme dürfen nur solche Befestigungskonstruktionen verwendet werden, deren Standsicherheit durch kurzzeitige Lasterhöhungen und Risse in den Bauteilen infolge Erdbeben nicht gefährdet ist.

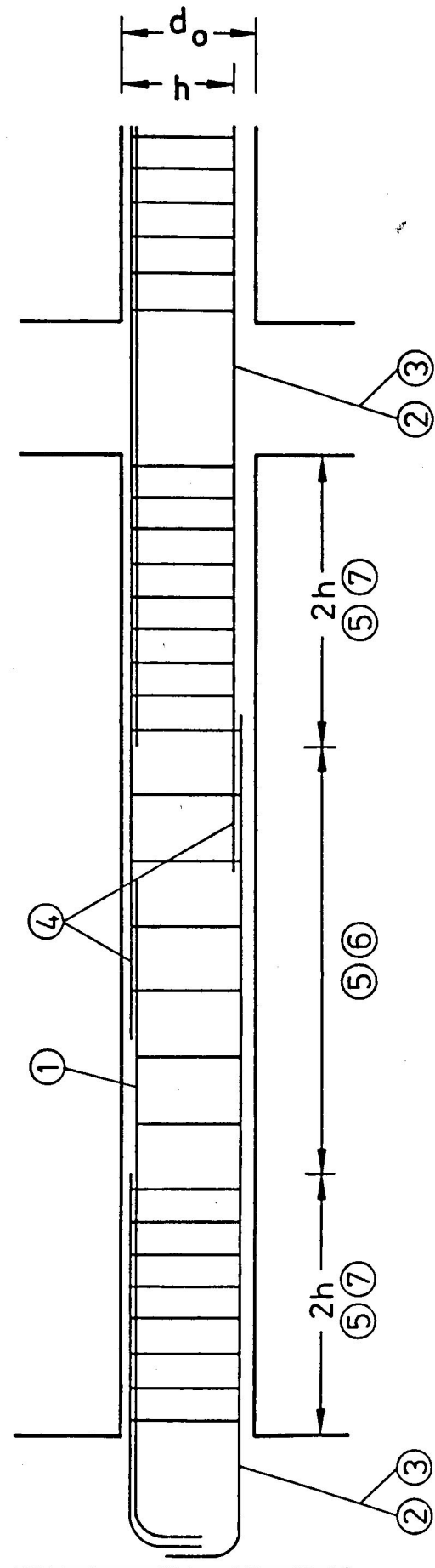


Bild 5-2: Rahmenriegel, charakteristische Darstellung

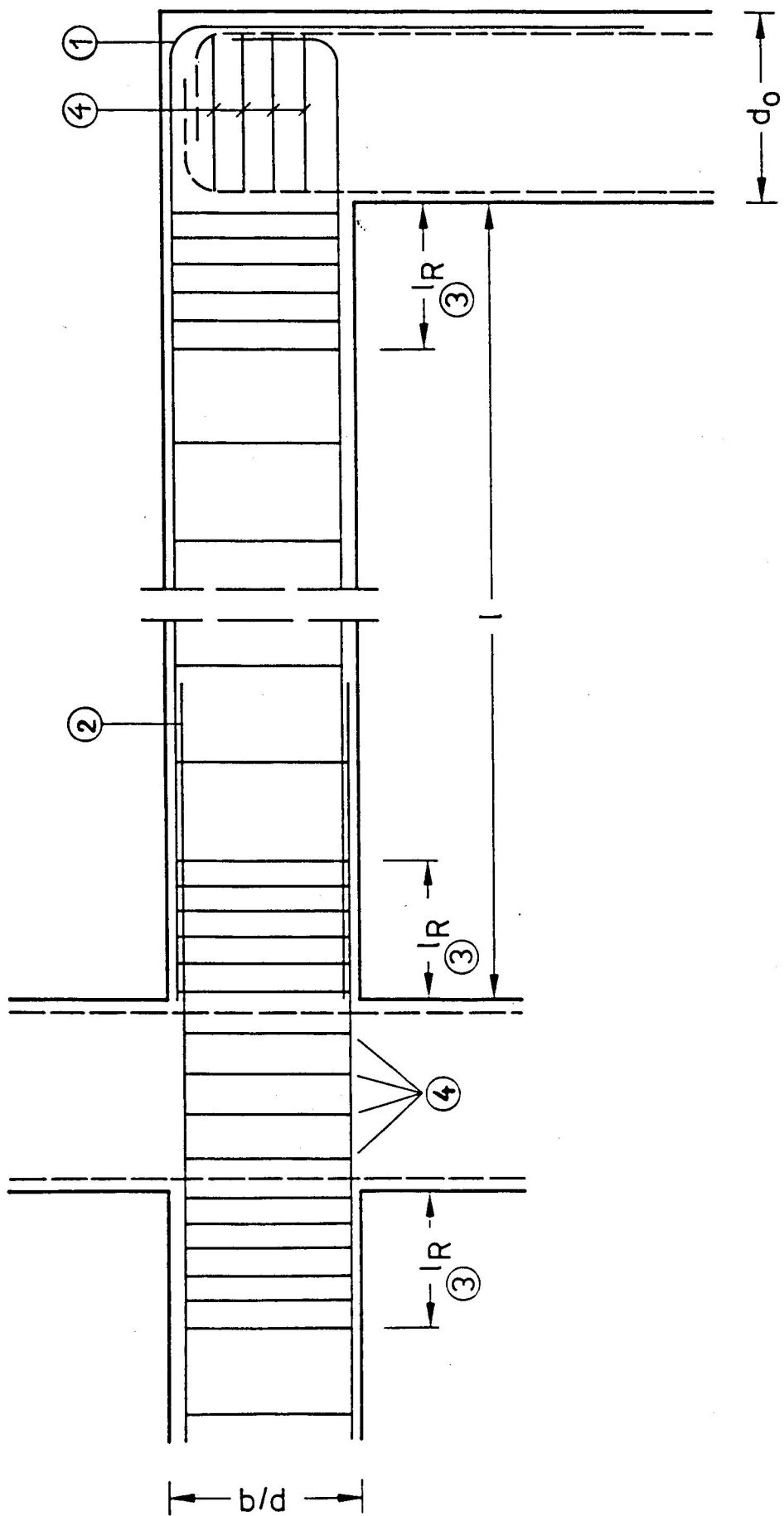


Bild 5-3: Rahmenstiel und Knotenpunkte (monolithische Bauweise), charakteristische Darstellung

Anhang A

Verfahren zur Begrenzung der Wasserdurchlässigkeit

A 1 Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein

Der Sicherheitsbeiwert bei der Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein ist anzusetzen mit:

$\gamma = 1,4$ bei Versagen des Querschnittes mit Vorankündigung

$\gamma = 1,7$ bei Versagen des Querschnittes ohne Vorankündigung

Zwischen diesen beiden Grenzen ist der Sicherheitsbeiwert gradlinig gemäß **Bild A-1** einzuschalten.

Dieser Abschnitt gilt auch für Flächentragwerke mit Trajektorienbewehrung.

A 2 Bemessung für Querkraft

Als Grenzen der Schubbereiche 1, 2 und 3 sind die in **Tabelle A-1** angegebenen Rechenwerte der Schubspannungen anzusetzen. Diese Werte gelten für Platten und Balken.

Schubbereiche		Festigkeitsklasse des Betons			
		B 25	B 35	B 45	B 55
1a	τ_{01}	0,4	0,5	0,6	0,7
1b	τ_{01}	0,6	0,7	0,8	0,9
1c	τ_{01}	0,9	1,2	1,3	1,5
2	τ_{02}	2,2	2,9	3,2	3,6
3	τ_{03}	3,6	4,8	5,4	6,0

Tabelle A-1: Grenzen der Rechenwerte der Schubspannungen in MN/m² für die Begrenzung der Wasserdurchlässigkeit für Platten und Balken in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Betons.
 Zeile 1a: Platten, gestaffelte Bewehrung
 Zeile 1b: Platten, keine Staffelung der Bewehrung
 Zeile 1c: Balken.

Für die einzelnen Bereiche sind folgende Nachweise erforderlich:

Bereich 1: $\max \tau_0 \leq \tau_{01}$

Es ist kein Nachweis der Schubdeckung erforderlich; konstruktive Schubbewehrung ist in Balken stets und in Platten dann anzuordnen, wenn

$$\tau_0 > k_1 \cdot \tau_{01} \quad (\text{A-1})$$

ist. Für den Beiwert k_1 gilt die Beziehung

$$k_1 = \frac{0,2}{d} + 0,33 \begin{matrix} \geq 0,5 \\ \leq 1,0 \end{matrix} \quad (\text{4-2})$$

(d = Plattendicke in m)

Bereich 2: $\tau_{01} < \max \tau_0 \leq \tau_{02}$

Bei Schwellbeanspruchung (kein Vorzeichenwechsel der Querkraft) ist verminderte Schubdeckung nachzuweisen. Dabei darf der Rechenwert τ_0 in jedem Querschnitt auf den Bemessungswert $\text{red } \tau_0$ abgemindert werden:

$$\tau = \text{red } \tau_0 = \frac{\text{vorh } \tau_0^2}{\tau_{02}} \geq 0,6 \tau_0 \quad (\text{A-2})$$

Bei Wechselbeanspruchung ist volle Schubdeckung erforderlich.

Bereich 3: $\tau_{02} < \max \tau_0 \leq \tau_{03}$

Es ist volle Schubdeckung nachzuweisen.

Bereich 1: $\max \sigma_0 \mu \sigma_{01}$

Die zulässige Spannung der Schubbewehrung beträgt $\text{zul } \beta = \beta_S/1,4$ jedoch bei glatten Stählen nicht mehr als 200 MN/m² und bei gerippten Stählen nicht mehr als 420 MN/m².

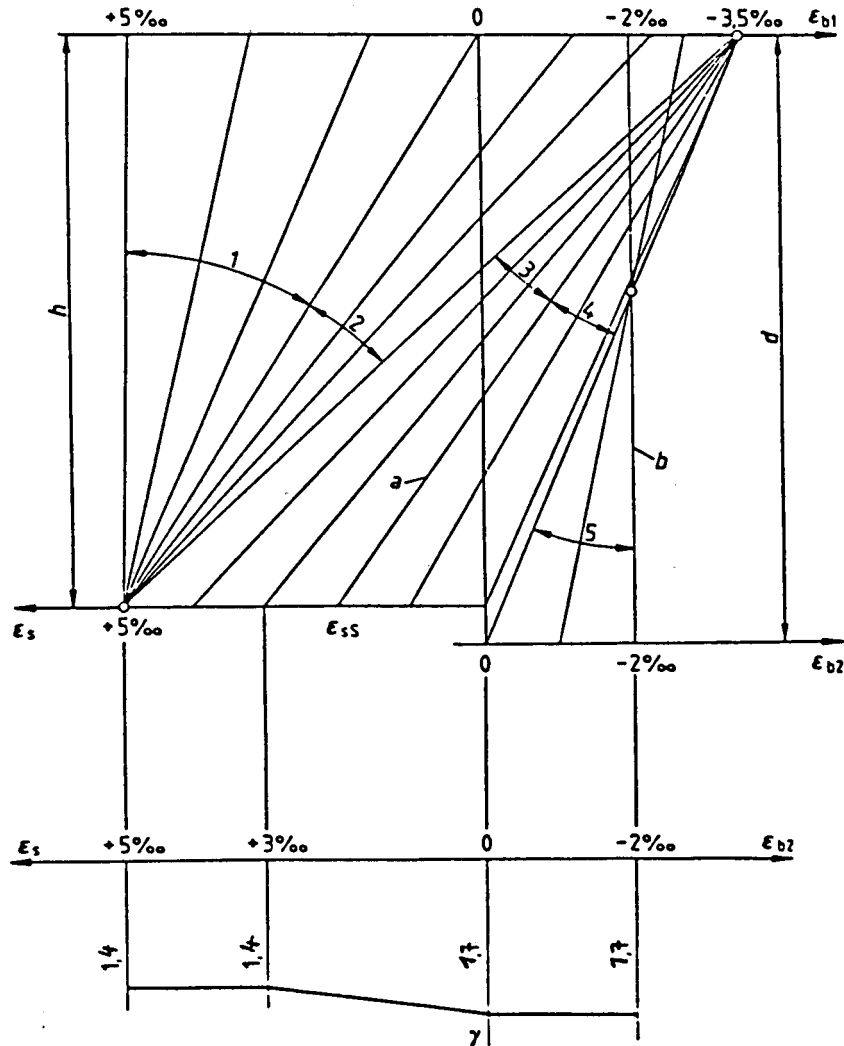


Bild A-1: Dehnungsdiagramme und Sicherheitsbeiwerte

Erläuterungen zu Bild A-1

Bereich 1: Mittige Zugkraft und Zugkraft mit geringer Ausmitte.

Bereich 2: Biegung oder Biegung mit Längskraft bis zur Ausnutzung der Betonfestigkeit ($|\epsilon_{b1}| = 3,5\text{‰}$) und unter Ausnutzung der Stahlstreckgrenze ($\epsilon_s > \epsilon_{sS}$).

Bereich 3: Biegung oder Biegung mit Längskraft bei Ausnutzung der Betonfestigkeit und der Stahlstreckgrenze. Linie a: Grenze der Ausnutzung der Stahlstreckgrenze ($\epsilon_s = \epsilon_{sS}$).

Bereich 4: Biegung mit Längskraft ohne Ausnutzung der Stahlstreckgrenze ($\epsilon_s < \epsilon_{sS}$) bei Ausnutzung der Betonfestigkeit.

Bereich 5: Druckkraft mit geringer Ausmitte und mittige Druckkraft. Innerhalb dieses Bereiches ist $\epsilon_{b1} = -3,5\text{‰} - 0,75 \epsilon_{b2}$ in Rechnung zu stellen, für mittigen Druck (Linie b) ist somit $\epsilon_{b1} = \epsilon_{b2} = -2,0\text{‰}$.

Anhang B

Formelzeichen und Indizes

β_{bz}	Betonzugfestigkeit	τ	Bemessungswert der Schubspannung
β_S	Werkstofffestigkeit bei Streckgrenze	τ_0	Rechenwert der Schubspannung
β_{WN}	Nennfestigkeit des Betons (Würfeldruckfestigkeit)	τ_{01}	Grenzwert der Schubspannung für Bereich 1
$\beta_{0,01}$	Werkstofffestigkeit bei 0,01 % Dehnung	τ_{02}	Grenzwert der Schubspannung für Bereich 2
$\beta_{0,2}$	Werkstofffestigkeit bei 0,2 % Dehnung	τ_{03}	Grenzwert der Schubspannung für Bereich 3
β_R	Rechenwert der Betonfestigkeit	$\max \tau_0$	maximaler Rechenwert der Schubspannung
$zul \beta$	zulässiger Werkstofffestigkeitsbeiwert	$red \tau_0$	reduzierter Rechenwert der Schubspannung
γ	Sicherheitsbeiwert	$vorh \tau_0$	vorhandener Rechenwert der Schubspannung
ε_b	Betonranddehnung	$zul \tau_a$	zulässige Schubspannung in der Schweißnaht
ε_{b1}	Betonranddehnung an der Balkenoberkante	$zul \tau_0$	zulässiger Bemessungswert der Schubspannung
ε_{b2}	Betonranddehnung an der Balkenunterkante	A_b	Betonfläche
ε_s	rechnerische Dehnung der Bewehrung	$\min A_S$	Mindestfläche auf Zugbewehrung
ε_{sS}	zur Streckgrenze zugehörige Dehnung	b	Bauteilbreite
λ	Schlankheit des Bauteils	d	Bauteilhöhe (Stützhöhe)
μ'	geometrischer Bewehrungsgrad der Druckbewehrung	d_0	Riegelhöhe
$\max \mu_0$	maximaler geometrischer Bewehrungsgrad der Zugbewehrung	h	statische Höhe
$\min \mu_0$	geometrischer Mindestbewehrungsgrad der Zugbewehrung	k_d	Beiwert zur Erfassung der Bauteildicke
σ	Bemessungswert der Spannung aus Normalkraft	k_n	Beiwert zur Erfassung der Normalkraft
σ_b	Spannung des Betons	k_x	Beiwert zur Ermittlung des Null-Linienabstands
σ_F	Streckgrenze bei Normalspannung	k_l	Beiwert zur Erfassung der Bauteildicke bei der Bestimmung der Schubbewehrung
$zul \sigma_L$	zulässige Lochleibspannung (Normalspannung)	l	lichte Bauteillänge
$zul \sigma_V$	zulässige Vergleichsspannung (Normalspannung)	l_R	Länge des Randbereiches
$zul \sigma_w$	zulässige Spannung in der Schweißnaht	D	Dämpfungsmaß (in % der kritischen Dämpfung)
σ_I, σ_{II}	Hauptspannungen	LB	Lastkombination für das Bemessungserdbeben
		N	Normalkraft
		n	bezogene Normalkraft

Anhang C

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebene Fassung.
Darin enthaltene Zitate von Bestimmungen beziehen sich jeweils auf die Fassung, die vorlag,
als die verweisende Bestimmung aufgestellt oder ausgegeben wurde.)

KTA 2201.1	(06/90)	Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1: Grundsätze
DAST 008	(03/73)	Richtlinien zur Anwendung des Traglastverfahrens im Stahlbau
DIN 1045	(07/88)	Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung
DIN 1053 Teil 1 (Entwurf)	(02/90)	Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung
DIN 4114 Teil 1	(07/52)	Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlage, Vorschriften
DIN 4149 Teil 1	(04/81)	Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
DIN 4227 Teil 1	(07/88)	Spannbeton; Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung
DIN 6914	(10/89)	Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten, für HV-Schrauben in Stahlkonstruktionen
DIN 7968	(10/89)	Sechskant-Paßschrauben ohne Mutter oder mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
DIN 7969	(10/89)	Senkschrauben mit Schlitz ohne Mutter oder mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
DIN 7990	(10/89)	Sechskantschrauben mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
DIN 18 800 Teil 1 (Entwurf)	(03/88)	Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
DIN 18 800 Teil 7	(05/83)	Stahlbauten; Herstellung, Eignungsnachweise zum Schweißen
DIN 18 806 Teil 1	(03/84)	Verbundkonstruktionen; Verbundstützen
DIN ISO 898 Teil 1	(01/89)	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben
RL-Stahlverbundträger	(03/81)	Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern, mit Ergänzenden Bestimmungen (NABau im DIN)