

**Auslegung der Stahlbetonbauteile
von Kernkraftwerken unter Belastungen
aus inneren Störfällen****DIN**
25 449Design criteria for reinforced concrete subject to loadings as a result of internal incidents in
nuclear power plantsErsatz für
Ausgabe 02.83**Inhalt**

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	5.2 Schnittgrößen infolge Differenzdruck	4
2 Baustoffe	1	5.3 Schnittgrößen infolge Strahlkraft	4
2.1 Beton	1	5.4 Schnittgrößen infolge Auflager- und Festhaltekraften	5
2.2 Betonstäbe	2	5.5 Schnittgrößen infolge Anpralllasten	5
3 Lastannahmen	2	6 Bemessung	5
3.1 Allgemeines	2	6.1 Allgemeines	5
3.2 Differenzdruck	2	6.2 Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein	5
3.3 Strahlkraft	3	6.3 Nachweis der Knicksicherheit	5
3.4 Temperatur	3	6.4 Bemessung für Querkraft und Torsion	5
3.5 Auflager- und Festhaltekraften	3	6.5 Nachweis der Hauptdruckspannungen	6
3.6 Anpralllast	3	6.6 Zulässige Druckspannungen bei Teilflächenbelastung	6
3.7 Lastkombination	3	6.7 Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen	6
4 Anforderungskategorien	3	7 Konstruktive Durchbildung	6
4.1 Allgemeines	3	8 Verformungen	7
4.2 Anforderungskategorie A	4	Zitierte Normen	7
4.3 Anforderungskategorie B	4		
4.4 Anforderungskategorie C	4		
5 Schnittgrößenermittlung	4		
5.1 Allgemeines	4		

1 Anwendungsbereich

Diese Norm enthält grundlegende Angaben zur Bestimmung von Schnittgrößen und zur Bemessung sowie Konstruktionsregeln für sicherheitstechnisch wichtige Stahlbetonbauteile im Innern von Kernkraftwerken, die störfallbedingten mechanischen und/oder thermischen Belastungen ausgesetzt werden. Sie kann sinngemäß auch für sicherheitstechnisch wichtige Stahlbetonbauteile in anderen kerntechnischen Anlagen angewendet werden. Die Belastungen aus inneren Störfällen sowie die damit verbundenen sicherheitstechnischen Anforderungen an die Stahlbetonbauteile, die sowohl aus bautechnischer als auch aus anlagentechnischer Sicht begründet sein können, werden im Verlauf des jeweiligen Genehmigungsverfahrens überprüft und bestätigt.

Diese Norm beschreibt die Art der aus inneren Störfällen¹⁾ resultierenden zeitabhängigen Bauteilbelastungen, gibt Hinweise auf die erforderlichen dynamischen Berechnungen und die darin erlaubten Vereinfachungen und setzt die für die Bemessung zulässigen Rechenwerte für Beton und Stahl sowie die einzuhaltenden Sicherheiten fest.

Bei Anwendung dieser Norm ist die Tragfähigkeit der Konstruktion sichergestellt. Für weitergehende Anforderungen, wie reversibles Formänderungsverhalten oder Gebrauchsfähigkeit, werden entsprechende Angaben gemacht. Wenn bestimmte Verformungen nicht überschritten werden dürfen, sind gesonderte Nachweise zu erbringen, die in dieser Norm nicht behandelt werden.

Diese Norm gilt nicht für Sicherheitsumschließungen aus Stahlbeton (Containments) (siehe dazu DIN 25 459).

2 Baustoffe**2.1 Beton**

Für Normalbeton mit einer trockenen Rohdichte von 2,0 bis 2,80 kg/dm³ gelten die Rechenwerte nach DIN 1045 und DIN 4227 Teil 1. Für Beton mit höherer Rohdichte, insbesondere für Schwerbeton, sind die Rechenwerte durch Eignungsprüfungen zu belegen. Das Gleiche gilt für Rechenwerte, die von den in DIN 1045 und DIN 4227 Teil 1 genannten Werten abweichen oder dort nicht aufgeführt sind, wie z. B. Wärmeleitfähigkeit, soweit diese Rechenwerte aus der Literatur nicht hinreichend belegbar sind.

2.1.1 Temperaturabhängigkeit der Rechenwerte

Die Rechenwerte der Betoneigenschaften gelten bei Langzeitwirkung bis zu den in Tabelle 1 genannten Grenztemperaturen, da diese Eigenschaften temperaturabhängig sind. Bei höheren Temperaturen sind die Rechenwerte und ihre Gültigkeitsgrenzen im Einzelfall zu überprüfen.

Bei kurzzeitiger Temperatureinwirkung (ca. 24 h) über 80 °C sind die Festigkeit und der Elastizitätsmodul abzumindern. Bei 250 °C ist die Druckfestigkeit auf 70 %, der Elastizitätsmodul auf 50 % der Rechenwerte nach DIN 1045 zu begrenzen. Bei Zwischenwerten der Temperatureinwirkungen darf linear interpoliert werden.

¹⁾ Siehe Erläuterungen

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Tabelle 1. **Grenztemperaturen der Rechenwerte nach DIN 1045 und DIN 4227 Teil 1**

Betoneigenschaft	Grenztemperatur °C
Druckfestigkeit	80
Elastizitätsmodul	80
Querdehnzahl	80
Temperaturdehnzahl	50
Kriechzahl	40
Schwindmaß	40

2.1.2 Gehalt an gebundenem Wasser

In Sonderfällen, in denen der Beton hohen Temperaturen ausgesetzt ist und der Gehalt an gebundenem Wasser für die Sicherstellung des Strahlenschutzes sowie der Wasserdampfaustritt für die Beurteilung der Sicherheit von Stahlauskleidungen erfaßt werden muß, ist zu beachten:

Rechenwerte für den Gehalt an gebundenem Wasser in kg/m^3 sind in der Regel durch Versuche zu belegen; hierbei müssen die besonderen Umweltbedingungen (Temperatur, Wasserdampfpartialdruck) berücksichtigt werden. Für Näherungsrechnungen können die nachstehend aufgeführten Werte angenommen werden.

Für den möglichen Wasserdampfaustritt in kg/m^3 ist die Differenz zwischen dem Gehalt an gebundenem Wasser und dem im Ausgangszustand vorhandenen Wassergehalt maßgebend. Der obere Grenzwert für den im Ausgangszustand vorhandenen Wassergehalt ergibt sich aus dem Massenverlust infolge Wasserabgabe nach einer Trocknung bei einer Temperatur, die der zu erwartenden maximalen Beanspruchungstemperatur entspricht.

Der Wassergehalt bei höheren Temperaturen (Gehalt an gebundenem Wasser) von Beton ohne kristallwasserhaltigen Zuschlag darf aus dem Verhalten von Zementstein abgeleitet werden. Von trockenem Zementstein kann der Gehalt an gebundenem Wasser nach Tabelle 2 abgeschätzt werden. Der Gehalt an gebundenem Wasser bei höheren Betriebstemperaturen kann aus diesem Wert nach Bild 1 angenommen werden.

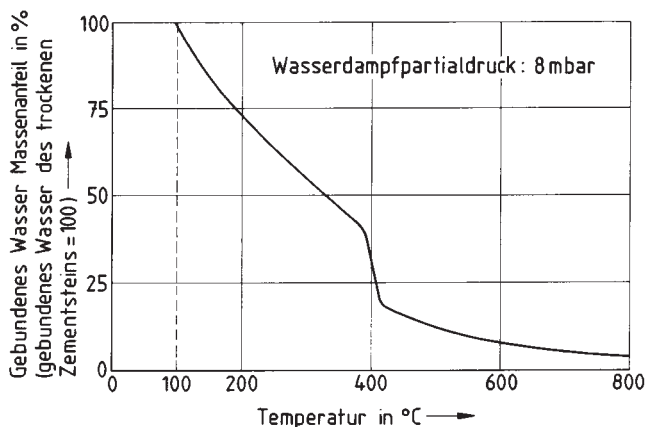


Bild 1. Gehalt an gebundenem Wasser bei niedrigem Wasserdampfpartialdruck und stufenweise konstantgehaltener Temperatur

Tabelle 2. **Anhaltswerte für den Gehalt an gebundenem Wasser in trockenem (getrocknetem) Zementstein**

Hydratationsgrad bzw. Lagerungsdauer	Gebundenes Wasser (in Massenanteilen) bezogen auf den Zement bei einem Wasserzementwert	
	$\leq 0,50$	$> 0,50$
Vollständige Hydratation	0,21 bis 0,23	0,23 bis 0,25
weitgehende Hydratation ¹⁾	0,19 bis 0,21	0,21 bis 0,23
28 Tage Normlagerung		
L-Zement	0,14 bis 0,16	0,15 bis 0,17
F-Zement	0,16 bis 0,18	0,17 bis 0,19

¹⁾ Für Bauteile, die vor dem Austrocknen geschützt sind, oder für massige Bauteile können in höherem Alter (3 Monate) die Werte für weitgehende Hydratation Verwendung finden.

2.1.3 Wärmekapazität

Die Wärmekapazität eines Betons wird aus dem Zementgehalt, dem Zuschlaggehalt und dem Wassergehalt und den entsprechenden spezifischen Wärmekapazitäten berechnet. Bei dauernd wirkenden höheren Temperaturen muß der Wassergehalt um den Gehalt an verdampfbarem Wasser korrigiert werden.

Bei der Berechnung der Wärmekapazität darf bei einer Temperaturbeanspruchung bis zu 250 °C als spezifische Wärmekapazität angenommen werden für

Zement	$c_z = 0,85 \text{ kJ/kg K}$
Normalzuschlag	$c_g = 0,85 \text{ kJ/kg K}$
Wasser	$c_w = 4,19 \text{ kJ/kg K}$

Für Näherungsrechnungen darf bei einer Temperaturbeanspruchung bis zu 250 °C die spezifische Wärmekapazität von Normalbeton zu 1,00 kJ/kg K und die Rohdichte zu 2300 kg/m^3 angenommen werden.

2.2 Betonstähle

Der Betonstahl muß DIN 488 Teil 1 bis Teil 6 entsprechen oder bauaufsichtlich zugelassen sein.

Ist der Betonstahl erhöhten Temperaturen ausgesetzt, so sind die Festlegungen in DIN 4102 Teil 4, Ausgabe März 1981, Abschnitt 3.1.2 und Anhang B2.2 bis B2.5 zu beachten.

3 Lastannahmen

3.1 Allgemeines

Bei den nachfolgenden Abschnitten wird vorausgesetzt, daß die Lastannahmen evtl. erforderliche Sicherheitszuschläge enthalten.

3.2 Differenzdruck

Die durch Leckagen in den Räumen entstehenden Drücke wirken zeitabhängig als Flächenbelastung unmittelbar auf die raumabschließenden Bauteile (z.B. Platten oder Balken, Verschußteile). Zu den Nachbarräumen ergeben sich dabei Differenzdrücke, die in der Regel gleichmäßig verteilt angenommen werden können. Der zur Zeit t_1 erreichte größte Differenzdruck Δp_1 kann praktisch konstant bleiben oder bis zum Zeitpunkt t_2 auf den Ausgleichs-Differenzdruck Δp_2 abfallen.

Den Berechnungen sind die in der Lastzeitfunktion dargestellten Differenzdrücke zugrunde zu legen. Diese dargestellten Differenzdruckzeitverläufe können durch Idealisierung entstanden sein.

Beispiele für kurzzeitige Differenzdruckzeitverläufe sind in Bild 2 dargestellt.

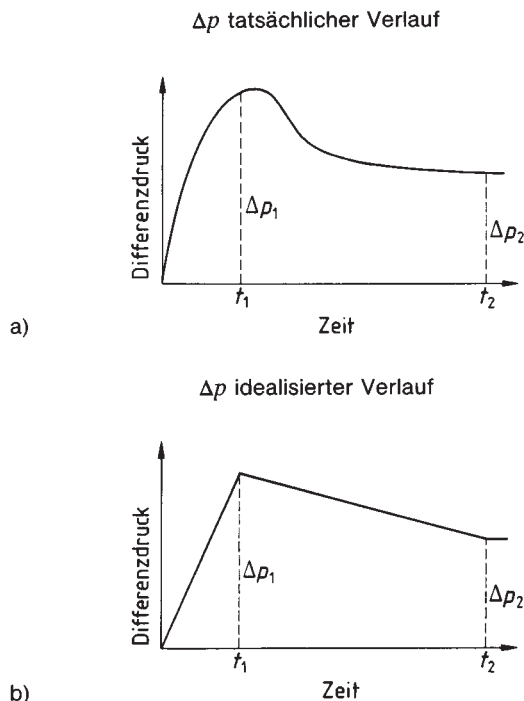


Bild 2. Beispiele für Differenzdruckzeitverläufe

3.3 Strahlkraft

Bei Leckagen an druckführenden Komponenten, z. B. Leitungen und Behältern, können Strahlkräfte als konzentrierte Lasten auf Betonteile einwirken; sie entstehen durch das Auftreffen des anströmenden Mediums.

Solche Lasten sind in Form von Lastzeitfunktionen oder als statische Ersatzlast mit Angaben über Auftreff-Fläche, Lastverteilung und gegebenenfalls Auftreffwinkel über diese Fläche vorgegeben. Außerdem werden Lastangriffsstellen angegeben. Wenn keine Angaben über die Form der Auftreff-Fläche vorliegen, kann die Auftreff-Fläche kreisförmig angenommen werden.

Der Auftreffwinkel der Strahlkraft beträgt, wenn nicht anders angegeben, 90° (d.h. senkrecht auf Auftreffen). Sofern der Auftreffwinkel nicht 90° beträgt, ist nur die senkrechte Komponente der Strahlkraft zu berücksichtigen. Erosion ist für Normalbeton und Schwerbeton vernachlässigbar.

Beispiele für idealisierte Lastzeitverläufe für Strahlkräfte sind in Bild 3 dargestellt.

3.4 Temperatur

Leckagen an druckführenden Komponenten, z. B. Behältern und Rohrleitungen, können die Raumtemperatur erhöhen. Gegenüber Druckaufbau und Strahlkräften wird die Temperaturerhöhung zeitlich verzögert wirksam. Der Temperaturzeitverlauf im Betonquerschnitt folgt zeitlich versetzt dem Temperaturzeitverlauf des Raumes.

Der Temperatureinfluss ist, soweit erforderlich, im Umfang der in Abschnitt 2.1.1 angegebenen Temperaturabhängigkeiten bei wesentlichem Einfluß auf die Konstruktion und Bemessung zu berücksichtigen.

Der Temperaturzeitverlauf in dem zu bemessenden Betonquerschnitt darf berücksichtigt werden; er muß berücksichtigt werden, wenn sich durch ihn ungünstigere Schnittgrößen ergeben.

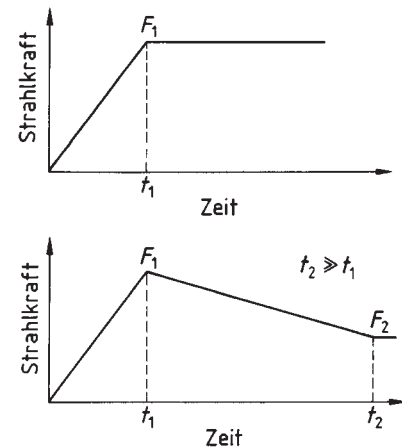


Bild 3. Beispiele idealisierter Lastzeitverläufe für Strahlkräfte

3.5 Auflager- und Festhaltekkräfte

Die Verankerungen und Auflager von druckführenden Komponenten werden beispielsweise beim Bruch dieser Komponenten durch Auflager- und Festhaltekkräfte beansprucht, die abhängig vom dynamischen Verhalten der Komponenten und deren Verankerungen von den Strahlkräften verursacht werden. Sie können zeitlich und räumlich versetzt auf die Betonkonstruktion wirken.

Solche auf das Bauteil wirkende Lasten werden in Form von Lastzeitfunktionen oder als statische Ersatzlasten angegeben.

3.6 Anpralllast

Anpralllasten werden durch Teile verursacht, die auf die Betonkonstruktion auftreffen.

Anpralllasten werden charakterisiert durch:

- Anprallgeschwindigkeit
- Masse
- Form
- Auftreffbedingungen
- gegebenenfalls Angaben zum Verformungsverhalten und zur Masseverteilung

des anprallenden Körpers.

Die Größen dieser Lasten hängen im allgemeinen auch von dem Verhalten der getroffenen Baukonstruktion ab. Die Anpralllasten können auch als statische Ersatzlasten oder als Last-Zeit-Verlauf angegeben werden.

3.7 Lastkombination

Für die Auslegung der Bauteile sind Störfalllasten und Gebrauchslasten unter Berücksichtigung der zeitlichen Abhängigkeit zu überlagern.

Zwangsschnittgrößen (z. B. aus Temperatur, Schwinden, Kriechen, Setzungen) dürfen dann vernachlässigt werden, wenn sie durch Rißbildung oder plastische Verformung aus Störfällen weitgehend abgebaut werden.

4 Anforderungskategorien¹⁾

4.1 Allgemeines

An sicherheitstechnisch wichtige Stahlbetonkonstruktionen werden bei und nach einem inneren Störfall je nach Eintrittshäufigkeit und unter Berücksichtigung der sicherheitstechnischen Belange unterschiedliche Anforderungen gestellt. Es werden drei Anforderungskategorien unterschieden, deren Lastkombinationen für die Anforderungskategorie A und B im Sinne von DIN 1045 als vorwiegend ruhend behandelt werden.

¹⁾ Siehe Erläuterungen