2 Allgemeines

2.1 Formelzeichen und Abkürzungen

A	ist die Fläche eines Betonquerschnittes. Bei einer Wand oder Decke ist A die Querschnittsfläche auf 1,00 m Länge	C_{Ed}	Bemessungswert der Auflagerreaktion
A	außergewöhnliche Einwirkung	D	Biegerollendurchmesser Duktilitätsklasse
A	Querschnittsfläche	D_{Ed}	Bemessungswert der Auflagerreaktion
A_c	Querschnittsfläche des Betons	D_{max}	Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung (= d_g)
$A_{c,eff}$	Betonfläche um die Zugbewehrung mit der Höhe $h_{c,ef}$ als Wirkungsbereich der Bewehrung	E	Einwirkung/Beanspruchung Expositions-klasse
A_{ct}	Fläche der Bezugszone bei der Erstriss-Bildung	E_d	Bemessungswert einer Einwirkung
A_d	Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung	$E_{d,dst}$	Bemessungswert einer destabilisierenden Einwirkung
A_s	Querschnittsfläche des Betons	$E_{d,stb}$	Bemessungswert einer stabilisierenden Einwirkung
$A_{e,erf}$	ist die Abkürzung für die erforderliche Bewehrung aus der Statik	E_c	Elastizitätsmodul für Normalbeton als Tangentenwert im Ursprung der Spannungs-Dehnungs-Linie
$A_{s,vorh}$	ist die Abkürzung für die vorhandene wirklich eingelegte Bewehrung	$E_{c(28)}$	Elastizitätsmodul für Normalbeton wie vor, nach 28 Tagen
$A_{s,min}$	Querschnittsfläche der Mindestbewehrung	E_{cd}	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls des Betons
$A_{s,max}$	Querschnittsfläche der größten Bewehrung	$E_{c,eff}$	effektiver Elastizitätsmodul des Betons
A_{sw}	Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung	E_{cm}	mittlerer Elastizitätsmodul als Sekantenwert
A	Abmessung	$E_{c(t)}$	Elastizitätsmodul als Tangente im Ursprung der Spannungs-Dehnungs-Linie nach t (Tagen)
A_p	Querschnittsfläche des Spannstahls	E_{lc}	Elastizitätsmodul für Leichtbeton
C	Symbol für Festigkeitsklassen bei Beton (concrete)	E_p	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls für Spannstahl
C../..	Druckfestigkeitsklassen für Beton	E_s	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls für Betonstahl
C0	bis C3: Konsistenzklassen als Verdichtungsmaß	EI	Biegesteifigkeit
CEM	Zement	EQU	Lagesicherheit
C_d	Nennwert oder Funktion bestimmter Bemessungs-Material-Eigenschaften	F	Kraft/Einwirkung
		F_A	außergewöhnliche Einwirkung

F_d	Bemessungswert einer Einwirkung; Bemessungswert der Streckenlast	M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments (Stützmoment)
F_G	ständige Einwirkung (G)	M_{Rd}	Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemoments
$F_{G,d}$	Bemessungswerte für ständige Ein- wirkung (G_d)	N	Längskraft (Normalkraft)
$F_{G,k}$	charakteristische Wert für ständige Einwirkung (G_k)	N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Zug oder Druck)
F_k	charakteristischer Wert einer Einwir- kung	N_{Rd}	Bemessungswert des Normalkraft- widerstandes
F_s	Stahlzugkraft	P	Vorspannkraft
F_{rep}	repräsentativer Wert einer Einwirkung	P_0	aufgebrachte Höchstkraft am Spann- anker nach dem Spannen
F_Q	veränderliche Einwirkung (Q)	Q	veränderliche Einwirkung
$F_{Q,d}$	Bemessungswerte für veränderliche Einwirkung (Q_d)	Q_d	Bemessungswert der veränderlichen Einwirkung
$F_{Q,k}$	charakteristische Wert für veränderli- che Einwirkung (Q_k)	Q_k	charakteristischer Wert für die Ein- wirkung
G	ständige Einwirkung (Eigengewicht)	Q_k	veränderliche Einzellast
G_d	Bemessungswert einer ständigen Ein- wirkung	Q_s	Schnee- und Eislast
$G_{d,inf}$	unterer Bemessungswert einer ständi- gen Einwirkung	Q_T	Temperatureinwirkung
$G_{d,sup}$	oberer Bemessungswert einer ständi- gen Einwirkung	Q_w	Windlast
G_k	charakteristischer Wert einer ständi- gen Einwirkung	Q_{fat}	charakteristischer wert einer veränder- lichen Einwirkung beim Nachweis gegen Ermüdung
G	Schubmodul	R	Widerstand, Tragfähigkeit
G_N	Nutzlast	R_d	Bemessungswert eines Tragwider- standes
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglich- keit	R_k	charakteristischer Wert eines Trag- widerstandes (Widerstandsgröße)
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit	S	Schnittgrößen
I	Flächenträgheitsmoment des Beton- querschnitts	S	Flächenmoment 1.Grades statisches Moment
L	Länge/Längskraft	S1 bis S5:	Konsistenzklassen als Setzmaß
LC../..	Druckfestigkeitsklassen für Leicht- Beton	T	Torsionsmoment
L_{eff}	wirksame Stützweite	T_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments
L_n	lichte Stützweite	UW	Beton für Unterwassereinbau
M	Biegemoment	V	Querkraft

V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft	a_d	Bemessungswert einer geometrischen Größe
V_{Rd}	Bemessungswert des Querkraftwiderstandes	a_k	charakteristischer Wert einer geometrischen Größe
V0 bis V4:	Konsistenzklassen als Setzmaß	a_{nom}	Nennwert einer geometrischen Größe
W	Widerstandsmoment	a_s	Querschnittsfläche des Betonstahls
WA	Feuchtigkeitsklasse bei Alkali-Kieselsäure-Reaktion	Δa	Änderung einer geometrischen Nenngröße
WF	Feuchtigkeitsklasse bei Alkali-Kieselsäure-Reaktion	b	Breite eines Querschnitts
WO	Feuchtigkeitsklasse bei Alkali-Kieselsäure-Reaktion	b	Verbund
WS	Feuchtigkeitsklasse bei Alkali-Kieselsäure-Reaktion	b_w	Stegbreite eines T-, I- oder L-Querschnitts
WU	wasserundurchlässiger Beton	c	Betondeckung der Bewehrung
X	Baustoff- oder Produkteigenschaft	c	Beton, Druck, Kriechen
X_d	Bemessungswert der Baustoff- oder Produkteigenschaft	c	steht für Beton, aus dem Englischen für „concrete“
X_k	charakteristischer Wert der Bau-Stoff- oder Produkteigenschaft	c_{min}	Mindestmaß der Betondeckung
X0	Expositionsklasse: ohne Korrosions- oder Angriffsrisiko	$c_{min,b}$	Mindestbetondeckung aus Verbundanforderung
XA	Expositionsklasse: Betonkorrosion durch aggressive chemische Umgebung	c_{nom}	Nennmaß der Betondeckung
XC	Expositionsklasse: Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung	c_v	Verlegemaß der Betondeckung für die Bewehrung
XD	Expositionsklasse: Bewehrungskorrosion durch Chloride außer Meerwasser	Δc	Vorhaltemaß der Bewehrung
XF	Expositionsklasse: Frostangriff mit oder ohne Taumittel	$\Delta c_{dur,\gamma}$	zusätzliches Sicherheitsmaß für die Betondeckung
XM	Expositionsklasse: Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung	$\Delta c_{dur,st}$	Verringerung der Mindestbetondeckung bei Verwendung von nicht-rostendem Stahl
XS	Expositionsklasse: Bewehrungskorrosion durch Chloride im Meerwasser	$\Delta_{dur,add}$	Verringerung der Mindestbetondeckung auf Grund zusätzlicher Schutzmaßnahmen
		d	Nutzhöhe, statische Höhe bei der Berechnung
		d, $\emptyset$	Durchmesser
		d_g	Durchmesser des Größtkorns einer Gesteinskörnung
		$d_s, \emptyset$	Stabdurchmesser der Bewehrung
		e	Lastausmitte, Exzentrizität Abstand der Bewehrungsstäbe
		f	Festigkeit eines Materials, Flugaschegehalt im Beton

Formelzeichen mit kleinen lateinische Buchstaben

a	Abstand, Auflagerbreite
a	geometrische Angabe
a_c	Querschnittsfläche des Betons

f_c	Betondruckfestigkeit, einaxiale	g	ständige Einwirkung je Einheitsfläche oder Einheitslänge. Verteilte ständige Last
f_{cd}	Bemessungswert der einaxialen Betondruckfestigkeit	g_d	Bemessungswert einer ständigen Einwirkung
f_{ck}	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen	g_k	charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung
$f_{ck,cyl}$	charakteristische Betondruckfestigkeit, geprüft am Zylinder	h	Höhe, Dicke eines Bauteils
$f_{ck,cube}$	charakteristische Betondruckfestigkeit, geprüft am Würfel	i	Trägheitsradius
f_{cm}	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons	k	Beiwert, Faktor, charakteristisch
f_{ctk}	charakteristischer Wert der zentrischen Betonzugfestigkeit	l	Länge, Stützweite, Spannweite
$f_{ctk;0,5}$	charakteristischer Wert des 5 %-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit	l_0	wirksame Stützweite, Ersatzlänge bei Druckgliedern
$f_{ctk;0,95}$	charakteristischer Wert des 95 %-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit	l_n	lichte Stützweite
f_{ctm}	Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons	m	Masse oder Moment je Längeneinheit
f_p	Zugfestigkeit des Spannstahls	n	Anzahl
f_{pk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Spannstahls	n	Normalkraft je Längeneinheit
$f_{p0,1k}$	charakteristischer Wert der 0,1 %-Dehngrenze des Spannstahls	p	Querdruck
$f_{0,2k}$	charakteristischer Wert der 0,2 %-Dehngrenze des Betonstahls	q	gleichförmig verteilte, veränderliche Einwirkung oder Linienlast
f_t	Zugfestigkeit des Betonstahls	q_d	Bemessungswert einer veränderlichen Einwirkung
f_{tk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls	q_k	charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung
$f_{tk,cal}$	rechnerische Zugfestigkeit = 525 N/mm ² bei $\epsilon_{du} = 0,225$	r	Radius
f_y	Streckgrenze des Betonstahls	1/r	Krümmung
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls	s	Silikastaubgehalt im Beton
f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	s	Abstand, Stababstand
f_{ywd}	Bemessungswert der Streckgrenze von Querkraftbewehrung (Schub)	s	ist der Betonstahl nach DIN 488 mit der Bezeichnung, B500S (A) oder (B) für Stabstahl. Oder B500M (A), B500M (B) für Betonstahlmatten. A steht für hier für normale Duktilität und B für hohe Duktilität
		s_n	Standardabweichung von aufeinander folgenden Prüfergebnissen
		t	Dicke, Wanddicke
		t	Zeitpunkt
		t	Zug; quer

t_0	Zeitpunkt des Belastungsbeginns des Betons	γ_c	Teilsicherheitsbeiwerte für Beton
u	Umfang eines Betonquerschnitts mit der Fläche A_c	γ_F	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen F
u	Grenzwert	$\gamma_{F,fat}$	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen beim Nachweis gegen Ermüdung
u_0	Umfang der Lasteinleitungsfläche A_{load} beim Durchstanzen	$\gamma_{C,fat}$	Teilsicherheitswerte für Beton beim Nachweis gegen Ermüdung
u_1	Umfang des kritischen Rundschnitts, bei dem die Durchstanzbewehrung nicht mehr erforderlich ist	γ_E	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen F
u, v, w	Komponenten der Verschiebung eines Punktes	γ_G	Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen, G
u	Horizontalverschiebung eines Tragwerks oder Bauteils	γ_Q	Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen, Q
v	Querkraft je Längeneinheit	γ_M	Teilsicherheitsbeiwerte für eine Baustoffeigenschaft
w	Durchbiegung eines Bauteils	γ_m	Teilsicherheitsbeiwerte für eine Baustoffeigenschaft allein
w	Rissbreite	γ_P	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkung aus Vorspannen
w_k	Rechenwert der Rissbreite	γ_S	Teilsicherheitsbeiwerte für Betonstahl und Spannstahl
w/z	Wasserzementwert	δ	(delta) Betrag für Zuwachs/ Umlagerungsverhältnis, Umlagerung
x	Druckzonenhöhe	ε	(epsilon) Dehnung
x_d	Druckzonenhöhe nach Umlagerung der Schnittgrößen	ε_c	Dehnung des Betons
x, y, z	Koordinaten	ε_{cl}	Dehnung des Betons unter der Maximalspannung f_c
z	Hebelarm der inneren Kräfte	ε_{cu}	rechnerische Bruchdehnung des Betons
z	Zementgehalt im Beton	ε_u	rechnerische Bruchdehnung des Betonstahls oder Spannstahls
Formelzeichen mit kleinen und großen griechischen Buchstaben		ε_{uk}	charakteristische Dehnung des Betonstahls unter Höchstlast
α	(alpha) Winkel; Verhältnis	ζ	(zeta) Abminderungsbeiwert/Verteilungsbeiwert
α_{cc}	Abminderungswert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen auf die Druckfestigkeit	η	(eta) Umrechnungsfaktor
$\alpha_{c,T}$	Wärmedehnzahl des Betons	θ	(theta) Winkel
$\alpha_{s,T}$	Wärmedehnzahl des Stahls	λ	(lambda) Schlankheit
α_T	Wärmedehnzahl des Stahlbetons	μ	(mü) Reibungsbeiwert, Verlust
β	(beta) Winkel; Verhältnis; Beiwert	ν	(nü) Querdehnzahl
γ	(gamma) Wichte eines Baustoffs		
γ	Teilsicherheitsbeiwert		
γ_A	Teilsicherheitsbeiwerte für außergewöhnliche Einwirkungen A		

ξ	(ksi) Verhältnis der Verbundfestigkeit von Spannstahl zu der von Betonstahl	p	Vorspannung, Spannstahl
ξ	(ksi) Beiwert für die Bemessung der Bewehrung	q	veränderliche Einwirkung
ζ	(zeta) Beiwert für die Berechnung des inneren Hebelarms	r	Riss, Relaxation
ρ	(rho) Dichte des Betons (ofentrocken)	s	Betonstahl, Schwinden
ρ_l	geometrisches Bewehrungsverhältnis der Längsbewehrung	v	Verlegemaß, vertikal
ρ_w	geometrisches Bewehrungsverhältnis der Querkraftbewehrung	w	Steg, Wand
Σ	(Sigma) Summe	y	Fließ-, Streckgrenze
σ	(sigma) Spannung	cal	Rechenwert
σ_c	Spannung im Beton	col	Stütze
σ_{cg}	Spannung im Beton infolge ständiger Einwirkung	dir	direkt
σ_{cp}	Spannung im Beton aus Normalkraft oder Vorspannung	eff	effektiv, wirksam
σ_{cu}	Spannung im Beton bei rechnerischer Bruchdehnung des Betons	erf	erforderlich
τ	(tau) Schubspannung aus Torsion	fat	Ermüdungswert
φ	(phi) Kriechzahl, Kriechen	ges	Gesamtwert
ψ	(psi) Kombinationsbeiwert	ind	indirekt
ψ_0	Kombinationsbeiwert einer veränderlichen Einwirkung	inf	unterer Wert
Ψ_1	Kombinationsbeiwert für häufige Werte der veränderlichen Einwirkung	max	maximaler Wert
Ψ_2	Kombinationsbeiwert für quasi-ständige Werte der veränderlichen Einwirkung	min	minimaler Wert
Δ	(Delta) Änderung, Differenzmaß	nom	Nennwert
Δ_α	Änderung einer geometrischen Größe	pl	plastisch
Δ_c	Vorhaltemaß der Betondeckung	red	reduzierter Wert
Δ_P	Spannkraftverlust aus Krieschen und Schwinden des Betons	sup	oberer Wert
		surf	Oberfläche
		vorh	vorhanden
		I	ungerissener Zustand des Querschnitts (Zustand I)
		II	gerissener Zustand des Querschnitts (Zustand II)
		X	Expositionsklasse; Klasse der Umgebungsbedingungen
		X0	Zero risk; Null, kein Angriffsrisiko
		XC	Carbonation; Karbonatisierung, Karbonatbildung
		XD	De-icing Salt; Enteisungssalz, Taumittel, Chloride
		XS	Seawater; Meerwasser
		XF	Frost; Frost und Frost-Taumittel
		XA	Chemical Attack; chemischer Angriff
		XM	mechanische Abrasion; mechanischer Verschleiß
Sonstige Abkürzungen			
i	ideell; Laufvariable		
j	Laufvariable		
lc	Leichtbeton		
m	Durchschnittswert, mittlerer Wert		

2.2 Expositionsclassen und Betondeckung

Die DIN EN 206-1 mit der Nationalen Norm NAD DIN 1045-2 ist für die Expositionsclassen maßgebend.

Diese Expositionsclassen regeln anhand der Umgebungsbedingungen die Wahl der Betondeckung und des Betons. Sofern keine höheren Anforderungen an den Beton gestellt werden, sind diese Regeln bindend.

Die Expositionsklasse ist damit die Klassifizierung der chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen ein Bauteil ausgesetzt werden kann und die auf Beton, Bewehrung oder Stahleinbauteile wirken können. Diese Umgebungsbedingungen haben keinen Einfluss auf die Belastung und werden nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung angesetzt. Diese chemischen und physikalischen Einflüsse, denen der Beton, die Bewehrung oder das eingebaute Metall ausgesetzt ist, führen zwar nicht als Lasten bei der Bemessung, sind aber bei der Planung der Dauerhaftigkeit zu berücksichtigen.

Korrosion ist eine von der Oberfläche ausgehende Zerstörung des Betonstahls, die durch chemische oder elektrolytische Reaktion mit dem Umfeld hervorgerufen wird. Der Stahl beginnt durch Korrosion zu rosten. Querschnitt und die Festigkeit der Stahleinlagen verringern sich. Die gleichzeitige Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser lösen den Rostprozess aus.

In der Vergangenheit hat sich immer wieder gezeigt, dass Bauwerksschäden durch mangelhafte Betondeckung, zu schlanke Bauteile und damit verbunden zu große Bewehrungsdurchmesser entstanden sind. Bauwerksanierungen und Instandhaltungsarbeiten sind aufwendig und teuer. Nur der Konstrukteur kann durch die richtige Konstruktion die Fehler aus Architektur und Statik vermeiden. Er muss die richtigen Bauteilabmessungen, die Expositionsklasse, die Betondeckung und

die richtige Bewehrung bestimmen. Es dürfen nicht zu große Bewehrungsdurchmesser eingebaut werden.

Besonders beim Einbau von Einbauteilen (Stahlplatten) ist auf die Betondeckung zwischen Betonstahl und Einbauteil zu achten. Hier treten sehr schnell Roststellen und Rostpocken auf, die ein Abplatzen des Betons beschleunigen. Der Betonstahl kommt nun ohne Betondeckung mit der Luft in Berührung und fängt an zu rosten.

Die Betondeckung errechnet sich aus dem Vorhaltemaß, der Mindestbetondeckung und dem Stabdurchmesser. Bei der Expositionsklasse XC1, ist beispielsweise der Stabdurchmesser 12 mm maßgebend. Bis zur Expositionsklasse XC4 ist eines zu beachten: Ist der Stabdurchmesser größer als die Mindestbewehrung, so ist für die Mindestbetondeckung der Stabdurchmesser maßgebend!

Tabelle 2.1 und 2.2

In der DIN EN 206-1 und NA DIN 1045-2 sind die Anforderungen mit den Expositionsclassen an Bauteilen baurechtlich geregelt, die mit einer mindestens 50-jährigen Nutzungsdauer ausgeführt werden.

Bauteile, die diesen Anforderungen nicht genügen, können abweichend von der Norm ausgeführt werden.

Hierzu gehören nicht tragende Bauteile, wie Kellerfußböden, Betonzäune und deren Fundamente, Bodenplatten in Garagen und Betonplatten, die nicht besonders stark genutzt werden. Hier muss der Konstrukteur je nach Einzelfall das Bauteil und damit verbunden die Bewehrung vor Korrosion schützen.

Betonbauteile wie Fundamente, die vollständig und dauerhaft vom Erdreich umgeben sind, müssen nicht einer Expositionsklasse zugeordnet werden. Bauteile im nicht frostfreien Bereich werden in die Expositionsklasse XF1 und in die Expositionsklasse für Karbonatisierung bzw. als Gründungsbauteil in XC2 eingestuft. Die Oberseite des Bauteils ist den Anforderungen entsprechend auszubilden.

Wandflächen, die vollflächig mit einem WDVS versehen sind, können in die Expositionsklasse XC1 eingestuft werden.

Die Innenseiten der Sandwichplatten, die Oberseite von Dachflächen unter einer Abdichtung und Außenwandflächen hinter Putzen bzw. hinterlüfteten Fassaden sollten in die Expositionsklasse XC3 eingestuft werden. Bei einer dauerhaften Schutzschicht auf Parkdecks, darf auf die Expositionsklasse XD3 verzichtet werden.

Besonders korrosionsgefährdet ist der Betonstahl an den Betonrandzohren, die wechselnd nass und trocken sind. Auch bildet sich in diesen Randbereichen eine Betonschlämpe die nicht immer die erforderliche Betongüte aufweist.

Frostangriff: Der Beton muss einer entsprechenden Expositionsklasse zugeordnet werden, wenn aufgrund der Umgebungsbedingungen der durchfeuchtete Beton einem großen Angriff der Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt ist. Dies erfolgt nach der Expositionsklasse XF1 bis XF4.

Korrosionswiderstand: Hier müssen die Stahlbetonbauteile oder Betonbauteile mit einbetonierten Stahlteilen, die der Luft oder der Feuchtigkeit ausgesetzt sind, der Expositionsklasse XC1 bis XC4 zugeordnet werden.

Sauerstoff-Angriff: In wechselnd trockene und feuchte Betonbauteile dringt im trockenen Zustand in die Poren Sauerstoff ein. Im feuchten Zustand ist dann Wasser vorhanden, eine Korrosion kann stattfinden. Bei einem Betonbauteil, das stets unter Wasser ist, können weder Sauerstoff noch Kohlendioxid in den Beton eindringen. Das ist auch bei einem Fundament oder Betonbauteil gegeben, das vollkommen vom Erdreich umgeben ist. Die Expositionsklasse ist dann X0.

Chloride: Chloride entstehen bei der Reaktion von Metallen mit den elementaren Chlor. Das bekannteste Chlorid ist das salzig schmeckende und wasserlösliche Natriumchlorid (Kochsalz). Bei ausreichender Menge an Chloriden, die durch Ausgangsstoffe in den Beton gelangen, kann die Verarbeitbar-

keit des Frischbetons beeinträchtigt werden. Der Beton kann durch Chloride zu schnell erstarren. Es bilden sich dann Risse im Beton. Chloridhaltige Zusatzmittel und Kalziumchlorid dürfen keinem Beton mit Stahleinlagen zugegeben werden. Im Allgemeinen ist eine direkte Schädigung des Betons durch Chloride nicht möglich. Wohl kann durch eindringende Chloride, z. B. Meerwasser, die Korrosion des Stahls anders verlaufen als bei normaler Korrosion. Besonders gefürchtet ist die Lochfraßkorrosion. Hier ist dann die Korrosionsgeschwindigkeit um ein Vielfaches höher.

Die **Verschleißbeanspruchung** des Betons ist den Expositionsclassen XM zuzuordnen. Der Verschleißwiderstand ist der Widerstand von Beton gegen Abrieb durch starke mechanische Beanspruchung: starker Verkehr, rutschendes Schüttgut, Bremskräfte oder strömendes Wasser. Der Beton muss dann mindestens der Druckfestigkeitsklasse C30/37 entsprechen. Ein hoher Widerstand gegen Verschleiß kann mit einem steifen, wasserarmen Beton erzielt werden. Der Einsatz von Hartgesteinen (Granit) bei der Herstellung des Betons ist besonders wichtig. Der Nachbehandlung kommt eine entscheidende Bedeutung zu. Ziel dieser Nachbehandlung ist es, das schnelle austrocknen des Betons an der Oberfläche in den ersten Tagen des Erhärtens zu verhindern. Je dichter der Zementstein ist, je höher ist auch der Widerstand gegen äußere Einflüsse. Schutzmaßnahmen sind dann: Abdecken mit Folie, Auflegen wasserspeichernder Abdeckung, Aufbringen flüssiger Nachbehandlung, kontinuierliches Besprühen mit Wasser, Unterwasserlagerung und Belassen in der Schalung. Ein mäßiger Verschleiß wird in der Expositionsklasse XM1 und einem Beton C30/37 eingeordnet. Straßenbeläge in Wohngebieten gehören hierzu. Dem starken Verschleiß sind Straßenbeläge von Hauptverkehrsstraßen, Verkehrsflächen mit schwerem Gabelstaplerverkehr zuzuordnen. XM3 ist eine extreme Beanspruchung mit dem Befahren von Kettensfahrzeugen und Wasserbauwerke und der Betongüte C34/45.

2.3 Brandschutz

Die Brandschutzanforderungen und Tragwerksbemessung für den Brandfall sind in den Eurocodes 1 bis 6 geregelt. Für die Brandschutzbemessung von Betonbauteilen ist die DIN EN 1991-1-2 mit den Grundlagen der DIN EN 1990 maßgebend. Zur Betondeckung, die sich nach den Expositionsklassen richtet und zur Wahl der Bauteilabmessungen ist der Brandschutz zu beachten. Bauteile die den Brandschutzanforderungen unterliegen sind in der Norm beschrieben. Im Grundlagendokument 2 (GD2) werden die Symbole für die Brandschutzanforderungen beschrieben.

R= für die Tragfähigkeit

E= für Raumabschluss

I = für Wärmedämmung

Brandwände z. B. werden bei einer mechanischen Einwirkung, Anprall, Stoßbeanspruchung, zusätzlich mit einem M versehen.

Auch die Dauer des Feuerwiderstandes sind wesentlich kürzer gestaffelt. 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360 Minuten. In der DIN EN 13501 sind weitere Kennzeichnungen beschrieben.

Die Tragfähigkeit R gibt bei einer bestimmten Zeitdauer der Brandbeanspruchung, ohne Verlust der Standsicherheit, die Tragfähigkeit eines Bauteils an.

Der Raumabschluss E ist die Fähigkeit eines Bauteils, bei einer einseitigen Brandbeanspruchung eine Übertragung der Flammen oder heiße Gase zu widerstehen.

Die Wärmedämmung I ist die Fähigkeit eines Bauteils, einer einseitigen Brandbeanspruchung zu widerstehen, ohne dass eine Wärmeübertragung der Auslöser eines Brandes auf der dem Feuer abgewandten Seite ist.

Nach GD2 ist dann die Klassifizierung für tragende Bauteile: REI, RE oder R. Jeweils ergänzt mit der Brandbeanspruchung. Zum

Beispiel: R90 Tragende Bauteile, wie Stützen oder Unterzüge, außer Wände, werden ausschließlich mit R klassifiziert.

Stützen

Die Mindestabmessung einer Stütze ist in der DIN EN 1992-1-1 mit einer Seitenlänge von 20,0 cm gefordert. Nach den Brandschutzanforderungen ist für Stützen eine Tragwerksbemessung für den Brandfall erforderlich. Hier ist dann die erforderliche Betondeckung mit der Betondeckung aus der Expositionsklasse zu vergleichen. Das Kürzel für die Betondeckung unter Brandeinwirkung ist dann „a“.

Betone ab C55/67 neigen bei Brandeinwirkung schnell in den Randbereichen zu Betonabplatzungen. Um das zu verhindern, sind besondere betontechnologische Maßnahmen erforderlich oder es ist mindestens eine Schutzbewehrung aus Betonstahlmatten mit einer reduzierten Betondeckung einzubauen. Diese Schutzbewehrung sollte die Form eines Bügels erhalten.

Wände (Brandwände)

Wände aus Beton eignen sich besonders für den Brandschutz als Brandwände. Brandwände bzw. Brandabschnitte sollten einen Abstand von 40 m haben und durch alle Geschosse bis über das Dach geführt werden. Dieser Überstand muss mindestens 50 cm bis zur Dachhaut betragen. Ist das nicht möglich und die Wand endet unter oder in der Dachhaut, muss beidseitig ein 5 m breiter Streifen aus harter Bedachung (Beton) eingebaut werden. Öffnungen im Dach sollen 5 m von der Brandwand entfernt liegen. Ist die äußere Wand nur 2,50 m oder weniger vom Nachbargebäude entfernt, muss sie als Brandwand ausgeführt werden.

Für tragende Stahlbetonwände sind bis zur Feuerwiderstandsklasse REI90 die Expositionsklassen zur Bestimmung der Betondeckung maßgebend.

Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen

Anforderung	Tragend	Nicht-tragend
Feuerhemmend	R30, REI30	EI30
Noch feuerhemmend	R60, REI60	EI60
Feuerbeständig	R90, REI90	EI90
Feuerwiderstandsfähigkeit 120 Min.	R150, REI120	–
Brandwand	REI90-M	EI90-M

Tragende Wände mit der Feuerwiderstandsklasse REI120 und dem Ausnutzungsfaktor 1,0 müssen 22 cm stark ausgeführt werden. Hierbei ist das Betondeckungsmaß a bis zum 1. vertikalen Stab = 35 mm. Liegt die Querbewehrung außen oder wird eine Betonstahlmatte eingebaut, ist das Maß a auch hier bis zum vertikalen Stab = 35 mm.

In der Feuerwiderstandsklasse REI180 muss die Wand mindestens 30 cm stark und das Maß a = 55 mm sein. Das Maß a ist von der Betonkante bis zur Mitte des 1. vertikalen Stabes.

Im Wangenbereich von Durchbrüchen, Türen und Fenstern muss ebenfalls auf die erhöhte Betondeckung geachtet werden. Das Maß a ist auch hier bei 1-seitiger Brandbeanspruchung gleich den obigen Maßen.

Unterzüge (Betonbalken)

Unterzüge mit Decken werden 3-seitig beansprucht. Auch Betonbalken (Betonrähme) die auf dem Mauerwerk vollflächig liegen haben eine 3-seitige Brandbeanspruchung. Betonbalken sind von vier Seiten beflammbar.

Die Mindestbreite b , das Betondeckungsmaß a und die Mindestanzahl der Bewehrungsstäbe in der unteren Lage bei 3-seitiger Beanspruchung und statisch bestimmt gelagerten Unterzügen betragen:

Für die Feuerwiderstandsklasse **R30** ist die Mindestbreite b 8 cm. Bemerkung: Unter 15 cm sollte kein Unterzug geplant werden.

Die Expositionsklasse ist zur Bestimmung der Betondeckung maßgebend. Bei einer Breite von größer oder gleich 20 cm müssen 3 Stäbe eingebaut werden. Darunter reichen zwei Stäbe.

Für die Feuerwiderstandsklasse **R60** ist die Mindestbreite b = 12 cm. Nicht unter 15 cm planen. Die Betondeckung ist nach der Expositionsklasse zu bestimmen. Bis zu einer Unterzugbreite von 19 cm reichen in der unteren Lage zwei Stäbe. Ab 20 cm müssen 3 Stäbe eingebaut werden. Ist der Unterzug größer oder gleich 30 cm müssen vier Bewehrungsstäbe eingelegt werden.

Für die Feuerwiderstandsklasse **R90** muss die Bauteilbreite mindestens 15 cm sein. Hier sollten zwei Stäbe in der unteren Lage eingebaut werden. Mit der hohen Betondeckung ist es unmöglich, zwei Stähle mit dem Durchmesser 20 mm einzubauen. Das Mindestmaß b sollte bei einer Betondeckung von 3,5 cm bis zum Bügel nicht unter 20 cm liegen. In der unteren Lage müssen 3 Stäbe vorgesehen werden.

Ab einer Breite b von 25 cm müssen 4 Stähle eingebaut werden und über einer Breite von 40 cm müssen 5 Stähle vorgesehen werden.

Zu beachten ist hier und bei allen brandbeanspruchten Unterzügen und Balken, dass die angegebene Anzahl der Bewehrungsstäbe durchlaufend über die Auflager geführt wird. Die Betondeckung für Unterzüge finden wir in der DIN EN 1992-1-2 Tab. 5.5 mit dem Achsabstand a .

Decken

Liegt in der oberen Lage eine vollflächige Bewehrung, braucht auf den Brandschutz nicht geachtet werden. Eine Betondeckung von 35 mm wird erforderlich, wenn keine obere, vollflächige Bewehrung vorgesehen wird. Ebenso ist in diesem Fall die Stützbebewehrung beidseitig um 25 % zu verlängern.

Analog zu den Decken ist die Betondeckung auch bei den Treppen vorzusehen.

Verbundträger-Decken

Dabei handelt es sich um Decken aus Stahlträgern, im Verbund mit einer Betonplatte. Diese Decken kommen in verschiedenen Ausführungen zur Anwendung. Die Brandschutzanforderungen an die Betonplatte mit der Betondeckung ist den Decken zu entnehmen. Die Stahlträger müssen vor der Brandeinwirkung geschützt werden. Hier kommen Materialien wie Mineralfaser, Spritzputz, Brandschutzplatten aus Mineralfaser oder auch ein feuerfester Anstrich zur Anwendung.

Bei Kappendecken braucht nur die Unterseite der Stahlträger vor Brandbeanspruchung geschützt zu werden. Je nach Anforderung reicht schon ein Brandschutzanstrich.

In Bauteilen aus hochfestem Beton ist eine Schutzbewehrung mit einer Betondeckung von mindestens 1,5 cm vorzusehen. Diese sollte aus einer Betonstahlmatte bestehen. Auch bei dicken Bewehrungsstäben im Betonbauteil ist für den Brandschutz eine dünnere äußere Schutzbewehrung vorzusehen. Hierbei darf das Größtkorn als Zuschlagstoff 16 mm nicht überschreiten.

Denn je höher die Betonfestigkeit gewählt wird, besteht bei hohen Temperaturen sehr schnell die Gefahr von Betonabplatzungen an den Kanten. Der Stahl liegt dann frei, das Bauteil verliert seine statische Widerstandskraft, sein Tragverhalten.

In der DIN EN 1992-1-2 finden wir Bemessungstabellen für Stützen (Kreis- und Rechteckquerschnitt). Tragende und nichttragende Wände. Balken mit Rechteck- und I-Quer-

schnitten. Durchlaufplatten, Flachdecken, Rippendecken. Ein- oder zweiachsig.

Beton unter Brandbeanspruchung entspricht der Baustoffklasse A mit der bauaufsichtlichen Zulassung nicht brennbarer Baustoffe.

Das Tragverhalten und die Feuerwiderstandsdauer der Stahlbetonbauteile sind von der Art und Lage der Bauteile und Lage der Bewehrung anhängig. So können aus Gründen des Brandschutzes größere Bauteilabmessungen und eine größere Betondeckung erforderlich werden, als das nach der statischen Berechnung und Tragverhalten erforderlich wäre.

Temperaturänderungen durch Brandbeanspruchung auf die Stahlbetonbauteile bewirken Verformungen des Betons. Diese Betontragwerke dehnen sich bei Erwärmung aus und verkürzen sich bei Abkühlung. Die Größe der Verformung ist von der Länge des Bauteils und von den Baustoffen bedingt.

Stahlbetonbauteile können auch ungleichmäßigen Temperaturbeanspruchungen ausgesetzt sein. Brandbeanspruchung von unterschiedlichen Seiten, z. B. eine Decke über einen Unterzug. Bei einer Decke werden die Unter- und Oberseite durch Brandbeanspruchung unterschiedlich erwärmt. Die innerhalb des Bauteils hierbei entstehenden Temperaturdifferenz bewirkt eine Verwölbung des Bauteils. Eine sogenannte wärmebedingte Verwölbung. Bei einer Decke von unten erwärmt und weiter nach oben abkühlend.

Der Zementmörtel für Fugen bei Brandwänden muss vollflächig die Fugenfläche ausfüllen und muss der Betongüte des Bauteils entsprechen.

Details zum Brandschutz

Überstand einer Brandwand bei einer weichen Bedachung. Trapezblech o. glw.

Brandwandabschluss mit harter Bedachung.

Betonbalken 4-seitig beflammbar.
Bei diesem Balken ist die Brandbeanspruchung von allen 4 Seiten möglich.

Betonbalken 3-seitig beflammbar.
Bei diesem Betonbalken ist die Brandbeanspruchung von 3 Seiten möglich. Die Decke schützt die Oberseite.

Brandschutz mit oberer durchlaufender Bewehrung.
Bei dieser Bewehrungsführung ist in der unteren Lage der Decke keine erhöhte Bewehrung vorzusehen. Die Expositions-klasse ist hier zu beachten.

Der Unterzug ist 3-seitig beflammbar.

Brandschutz nur mit Stützbewehrung,
Hier muss die Stützbewehrung beidseitig um 1/4 länger ins Feld geführt werden. Der Brandschutz für Decken ist zu beachten,

Der Unterzug ist 3-seitig beflammbar.

Brandschutzanforderungen an Hochhäuser:

Hochhäuser mit einer Höhe	Tragende aussteifende Wände, Stützen und Decken	Flurwände tragend		Treppen
		tragend	nicht tragend	
Bis 60 m	REI90	REI90	REI90	REI90
> 60 bis 200 m	REI120	REI120	REI90	REI90
> 200 m	REI180	REI120	REI90	REI90

* = in besonderen Fällen können höhere Anforderungen gestellt werden.

Brandschutzbewehrung bei Stützen.
Nach den neuen Brandschutzrichtlinien sind erhöhte Anforderungen an die statische Berechnung und Konstruktion gestellt.

Die Stütze ist 4-seitig beflammbar.