

Systemannahmen und Schnittgrößenermittlung

1. Betondeckung

Die Betondeckung ist die Dicke der Betonschicht zwischen der Bewehrung und der Bauteiloberfläche. Sie ist für das Funktionieren eines Stahlbetonbauteils von großer Bedeutung, insbes. erfüllt sie die folgenden Funktionen:

- **Sicherung des Verbundes zw. Beton und Bewehrung.**
- **Schutz der Bewehrung vor Korrosion.**
- **Schutz der Bewehrung vor frühzeitigem Festigkeitsverlust im Brandfall (EC2-1-2).**

Da beim Verlegen der Bewehrungsstäbe fast immer Abweichungen vom Sollmaß auftreten (vgl. Bild unten), wird ein sog. **Vorhaltemaß** Δc_{dev} definiert, welches zum **Mindestmaß der Betondeckung** c_{min} hinzuzuaddieren ist. Daraus ergibt sich das **Nennmaß der Betondeckung** c_{nom} .

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

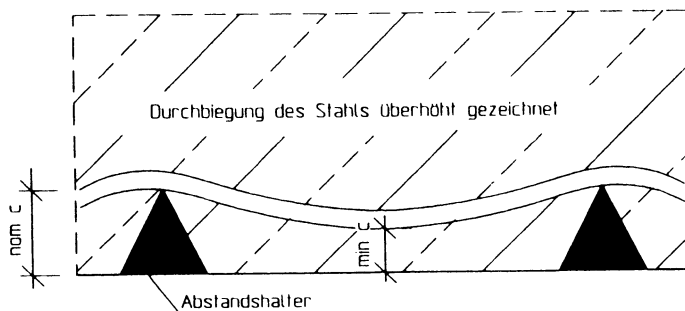


Bild: Mindestmaß und Nennmaß der Betondeckung

Das **Mindestmaß** ist an jeder Stelle der Bewehrung einzuhalten, das **Nennmaß** ist für jeden Stab im Bauteil festzulegen. Das **Verlegemaß** c_v ist für die Bemessung der Bewehrung maßgebend und im Bewehrungsplan anzugeben (**Abstandhalter**). Es ergibt sich aus der ungünstigsten Anforderung aller Nennmaße.

Mindest- und Vorhaltemaß werden im EC2-1-1 in Abhängigkeit der Umweltbedingungen festgelegt. Außerdem spielen logischerweise der Stabdurchmesser (Verbund) und die Betongüte eine Rolle.

Jedes **Bauteil** ist entsprechend den festgelegten Umweltbedingungen zu klassifizieren. Die Umweltbedingungen werden nach 2 Einflüssen unterteilt: **Bewehrungskorrosion** und **Betonangriff**. Aus dem ungünstigeren Kriterium ergibt sich dann eine Mindestbetonfestigkeitsklasse und eine Mindestbetondeckung. Weitere u.U. aggressive Einflüsse sind durch eine entsprechende Betonrezeptur zu berücksichtigen (siehe DIN EN 206-1).

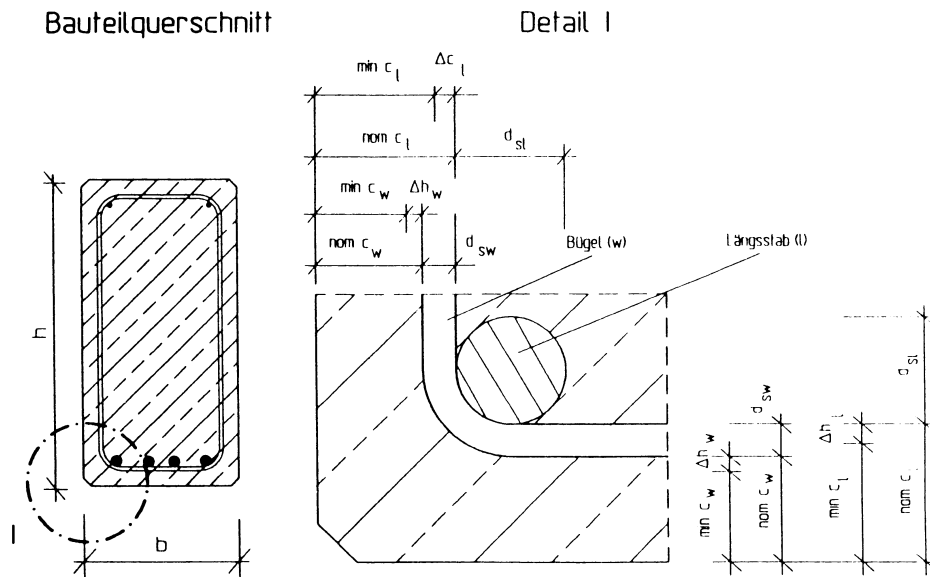


Bild: Veranschaulichung der verschiedenen Betondeckungsmaße

Die folgende Tabelle definiert die Mindestbetondeckung und das Vorhaltemaß zum Schutz der Bewehrung in Abhängigkeit der Umgebungsklassen für **Bewehrungskorrosion** wie folgt:

	Umgebungs- klasse	1	2	3
		Mindestbetondeckung $c_{min}(mm)$ ^{ab}		Vorhaltemaß
		Betonstahl	Spannglieder ^c	Δc_{dev} (mm)
1	XC 1	10	20	10
2	XC 2	20	30	15
	XC 3	20	30	
	XC 4	25	35	
3	XD 1	40	50	
	XD 2			
	XD 3 ^d			
4	XS 1	40	50	
	XS 2			
	XS 3			

a Die Werte dürfen für Bauteile aus Normalbeton, deren Betonfestigkeit um 2 Festigkeitsklassen höher liegt, als nach Tabelle 3 für die Expositionsklassen XC, XD bzw. XS erforderlich ist, um 5 mm vermindert werden. Für Bauteile der Expositionsklasse XC 1 ist diese Abminderung nicht zulässig.
 b Wird Ortbeton kraftschlüssig mit einem Fertigteil verbunden, dürfen die Werte an den der Fuge zugewandten Rändern auf 5 mm im Fertigteil und auf 10 mm (bzw. auf 5 mm bei rauer Fuge) im Ortbeton verringert werden. Die Bedingungen zur Sicherstellung des Verbundes müssen eingehalten werden, sofern die Bewehrung im Bauzustand ausgenutzt wird. Auf das Vorhaltemass der Betondeckung darf auf beiden Seiten der Verbundfuge verzichtet werden.
 c Die Mindestbetondeckung bezieht sich bei Spanngliedern im nachträglichen Verbund auf die Oberfläche des Hüllrohres.
 d Im Einzelfall können besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung nötig sein.

Tabelle: Mindestbetondeckung und Vorhaltemaß

Zur **Sicherstellung des Verbundes** muss die Mindestbetondeckung größer oder gleich dem kleinsten Stabdurchmesser bzw. dem Vergleichsdurchmesser eines Stabbündels sein:

$$c_{min} \geq d_{s,min} \text{ bzw. } d_{sv,min}$$

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Umgebungsklassen (informativ)	Mindestbetongüte ^c
1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko (zero risk)			
X0	Für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall: alle Umgebungsbedingungen, ausgenommen Frostangriff, Verschleiß oder chemischer Angriff	Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost; Innenbauteile ohne Bewehrung; Beton in Gebäuden mit sehr geringer Luftfeuchte (RH ≤ 30%)	C12/15
2 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung^ag (C = carbonation)			
XC1	Trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschl. Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Beton, der ständig in Wasser getaucht ist.	C16/20
XC2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile	C16/20
XC3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, z.B. offene Hallen, Innenräume mit hoher Luftfeuchte, z.B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien, in Feuchträumen von Hallenbädern und in Viehställen. Dachflächen mit flächiger Abdichtung; Verkehrsflächen mit flächiger unterlaufsicherer Abdichtung ^b	C20/25
XC4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung; Bauteile in Wasserwechselzonen.	C25/30
3 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Tausalz (D = deicing)			
XD1	Mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen; befahrene Verkehrsflächen mit vollflächigem Oberflächenschutz. ^b	C30/37 ^d
XD2	Nass, selten trocken	Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industrierwässern ausgesetzt sind.	C35/45 ^d
XD3	Wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung; Fahrbahndecken; befahrene Verkehrsflächen mit rissvermeidenden Bauweisen ohne Oberflächenschutz oder ohne Abdichtung ^b befahrene Verkehrsflächen mit dauerhaftem lokalen Schutz von Rissen ^{b d}	C35/45 ^d
4 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser (S = seawater)			
XS1	Salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	C30/37 ^d
XS2	Unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen.	C35/45 ^d
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- u. Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen	C35/45 ^d
<p>a Die Feuchteangaben beziehen sich auf den Zustand innerhalb der Betondeckung der Bewehrung. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Bedingungen in der Betondeckung den Umgebungsbedingungen des Bauteils entsprechen. Dies braucht nicht der Fall zu sein, wenn sich zwischen dem Beton und seiner Umgebung eine Sperrschicht befindet.</p> <p>b Für die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit ist ein Instandhaltungsplan im Sinne der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ aufzustellen.</p> <p>c Indikative Mindestfestigkeitsklassen nach Anhang E, Tabelle E.1DE. Siehe auch Fußnoten dort.</p> <p>d Für die Planung und Ausführung des dauerhaften lokalen Schutzes von Rissen gilt DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“.</p>			

Tabelle: Tabelle für Bewehrungskorrosion

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Umgebungsklassen (informativ)	Mindestbetongüte
5 Betonangriff durch Frost mit und ohne Taumittel (F = frost)			
XF1	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Außenbauteile	C25/30
XF2	Mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4; Bauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser.	C25/30(LP) C35/45 ^f
XF3	Hohe Wassersättigung ohne Taumittel	Offene Wasserbehälter; Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser.	C25/30(LP) C35/45 ^f
XF4	Hohe Wassersättigung mit Taumittel	Verkehrsflächen, die mit Taumitteln behandelt werden; überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen; Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone; Räumlerlaufbahnen von Kläranlagen	C30/37(LP)
6 Betonangriff durch chemischen Angriff der Umgebung ^d (A = acid)			
XA1	Chemisch schwach angreifende Umgebung	Behälter von Kläranlagen; Güllebehälter	C25/30
XA2	Chemisch mäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke	Bauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen; Bauteile in betonangreifenden Böden.	C35/45 ^d
XA3	Chemisch stark angreifende Umgebung	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern; Futtertische der Landwirtschaft; Kühltürme mit Rauchgasableitung	C35/45 ^d
7 Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung (M = mechanical abrasion)			
XM1	Mäßige Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	C30/37 ^c
XM2	Schwere Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstabler	C30/37 ^{c,h} C35/45 ^c
XM3	Sehr starke Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstabler; Oberflächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden; Wasserbauwerke in geschiebelasteten Gewässern, z.B. Tosbecken.	C35/45 ^c
<p>c Bei Verwendung von Luftporenbeton, z.B. auf Grund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger; siehe auch Fußnote e.</p> <p>d Grenzwerte für die Expositionsklassen bei chemischem Angriff siehe DIN EN 206-1 und DIN 1045-2</p> <p>e Diese Mindestdruckfestigkeitsklassen gelten für Luftporenbeton mit Mindestanforderungen an den mittleren Luftgehalt im Frischbeton nach DIN 1045-2 unmittelbar vor dem Einbau.</p> <p>f Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$ nach DIN EN 206-1) eine Festigkeitsklasse im Alter von 28 Tagen niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.</p> <p>g Erdfeuchter Beton mit $w/z \leq 0,40$ auch ohne Luftporen.</p> <p>h Diese Mindestdruckfestigkeitsklasse erfordert eine Oberflächenbehandlung des Betons nach DIN 1045-2, z.B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.</p> <p>i Bei Verwendung eines CEM III/B nach DIN 1045-2:2001-07, Tabelle F.3.1, Fußnote c) für Räumlerlaufbahnen in Beton ohne Luftporen mindestens C40/50 (hierbei gilt: $w/z \leq 0,35$, $z \geq 360 \text{ kg/m}^3$)</p>			

Tabelle: Tabelle für Betonangriff

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Umgebungsklassen (informativ)	Mindestbetongüte
8 Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion			
Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der vier folgenden Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen.			
WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	<ul style="list-style-type: none"> - Innenbauteile des Hochbaus; - Bauteile, auf die Außenluft, nicht jedoch z.B. Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80% ausgesetzt werden. 	-
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Ungeschützte Außenbauteile, die z.B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; - Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z.B. Hallenbäder, Wäschereien und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend höher als 80% ist; - Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z.B. Schornsteine, Wärmeüberträgerstationen, Filterkammern und Viehställe; - Massige Bauteile gemäß DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchtezutritt). 	-
WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Bauteile mit Meerwassereinwirkung; - Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z.B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern); - Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z.B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung. 	-
WS	Beton, der hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.	Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen).	-

Tabelle: Tabelle der Feuchtigkeitsklassen W für Betonangriff

Die Feuchtigkeitsklassen W für Betonangriff durch Alkali-Kieselsäure-Reaktion sind bei der Planung anzugeben. In Abhängigkeit von der gewählten Feuchtigkeitsklasse ist dann bei der Betonherstellung eine geeignete Gesteinskörnung und/oder eine geeigneter Zement zu wählen.

Zusätzliche Forderungen:

Beim **Betonieren von unebenen Flächen** (z.B. strukturierte Oberflächen) ist das Vorhaltemaß um das Differenzmaß der Unebenheit zu erhöhen, mindestens aber um 20 mm, beim Betonieren unmittelbar auf den Baugrund mind. um 50 mm.

Bei **Verschleißbeanspruchung** des Betons sind zusätzliche Anforderungen an die Betonzuschläge nach DIN EN 206-1 zu berücksichtigen. Alternativ kann auch eine Vergrößerung der Betondeckung vorgenommen werden. In diesem Fall sollte c_{min} als Richtwert für die Expositionsklasse XM1 um 5 mm, für XM2 um 10 mm und für XM3 um 15 mm erhöht werden.

Werden bei rau oder verzahnt ausgeführten Verbundfugen Bewehrungsstäbe direkt auf die Fugenoberfläche aufgelegt, dann darf nur mit mäßigem Verbund (Verbundbereich II) gerechnet werden. Die Dauerhaftigkeit der Bewehrung ist jedoch durch das erforderliche Nennmaß der Betondeckung sicherzustellen.

Aus anderen Gründen (wie z.B. **Brandschutz**) können noch höhere Betondeckungsmaße resultieren! Die entsprechenden Normen (EC2-1-2) sind zu beachten.

2 Systemannahmen

2.1 Stützweiten für die statischen Systeme

Die Schnittgrößen werden normalerweise an idealisierten Systemen ermittelt, deren effektive Stützweiten aus den realen Bauteilabmessungen unter bestimmten Annahmen abgeleitet werden. Die **effektive Stützweite** l_{eff} ergibt sich aus dem **Abstand der Auflagerresultierenden** der benachbarten Auflager, d.h. der lichten Weite l_n und weiteren Teilen der Auflagerbreiten:

$$l_{\text{eff}} = l_n + a_1 + a_2$$

Die Größen der Auflageranteile hängen von der Lagerungsart und dem statischen System ab, sie können den folgenden Bildern entnommen werden:

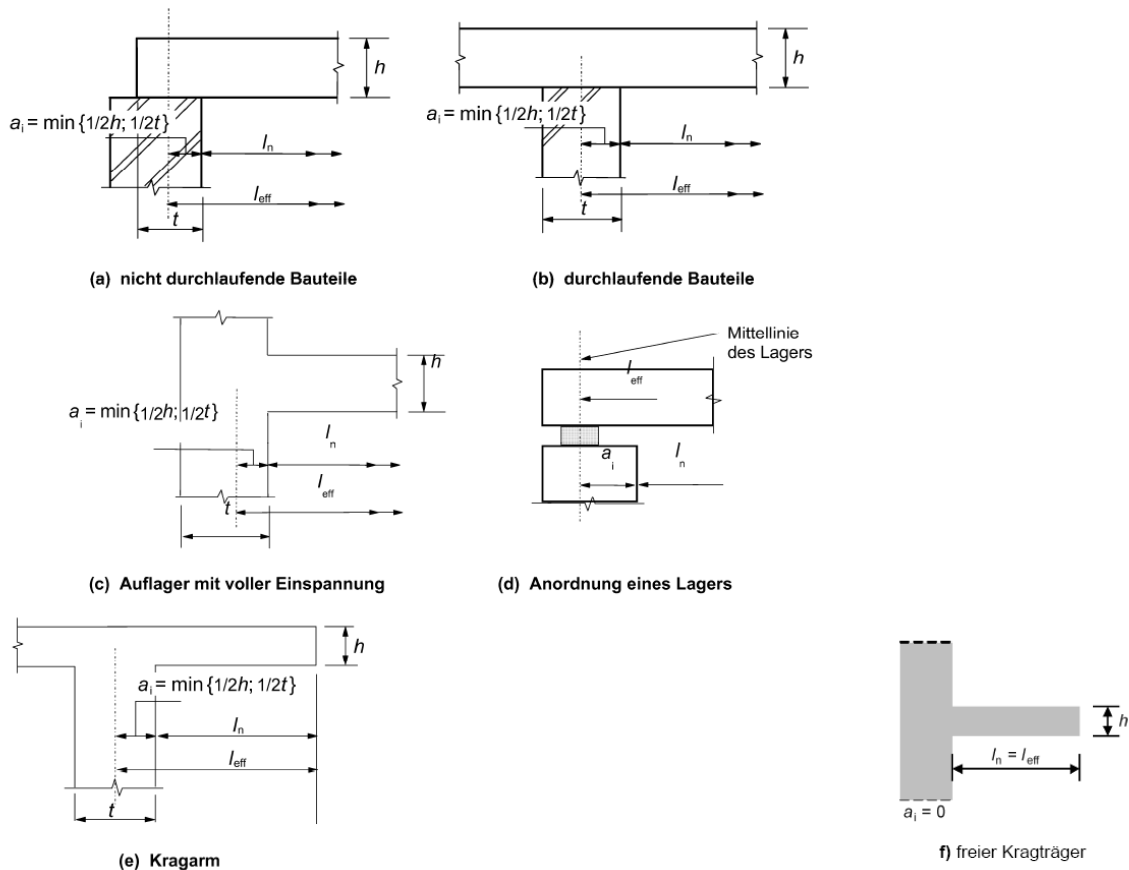


Bild: Lagerungsarten

2.2 Mitwirkende Plattenbreite b_{eff}

Im Stahlbetonbau werden üblicherweise die Deckenplatten und die Unterzüge zusammen betoniert, d.h. es entstehen dann für die Unterzüge T-Querschnitte, die sog. Plattenbalken. Bei positiven Biegemomenten und oberliegender Platte (und umgekehrt) kann sich die **Betondruckzone in die Platte ausbreiten**, was für die Biegebemessung von Vorteil ist, da man dadurch einen relativ großen inneren Hebelarm erhält. Die für die Biegebemessung **rechnerisch ansetzbare Breite heißt mitwirkende Plattenbreite b_{eff}** .

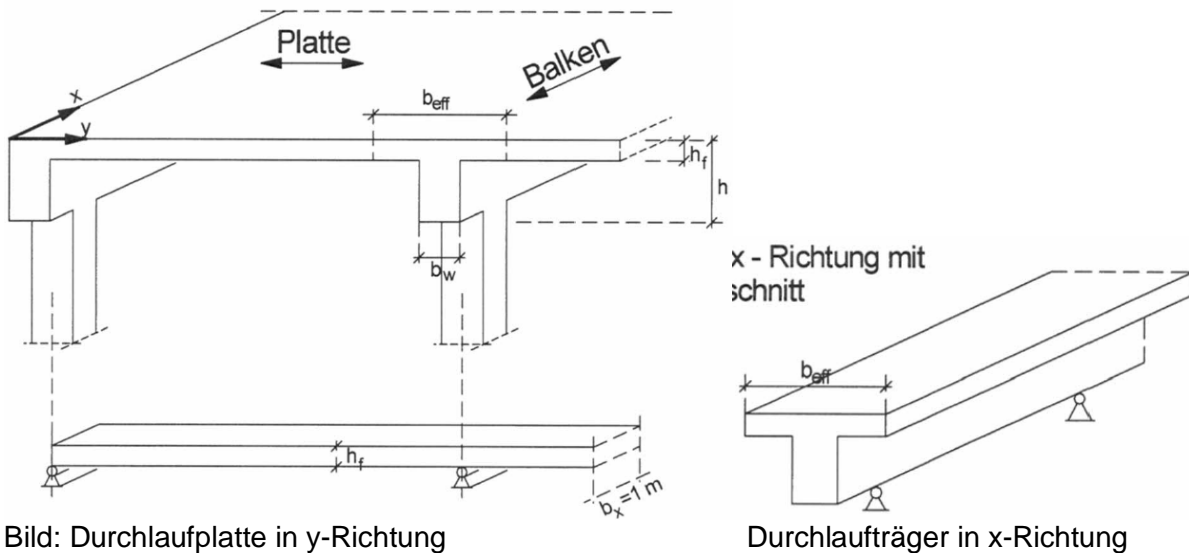


Bild: Durchlaufplatte in y-Richtung

Durchlaufträger in x-Richtung

Das Tragverhalten der Platte entspricht hierbei dem einer Scheibe. Eine genauere Berechnung ist heute möglich mit Hilfe der FEM-Methode und Faltwerkselementen (Kombination aus Platte und Scheibe), wobei der Aufwand aber in keinem Verhältnis zum Ergebnis steht: Die Berechnung als Balken mit der mitwirkenden Breite bringt in den meisten Fällen kaum andere Bewehrungen. Allerdings muss u.U. eine **Schubbewehrung zwischen Platte und Balkensteg** angeordnet werden (vgl. Kapitel Schubbemessung).

Vergleichsrechnungen zur näherungsweisen Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite wurden unter folgenden Annahmen gemacht (vgl. Bilder unten):

- Die Betondruckkraft soll gleich bleiben.
- Die Dehnungsverteilung soll gleich bleiben.
- Die max. Betonspannung am Rand soll über die ges. Breite konstant bleiben.

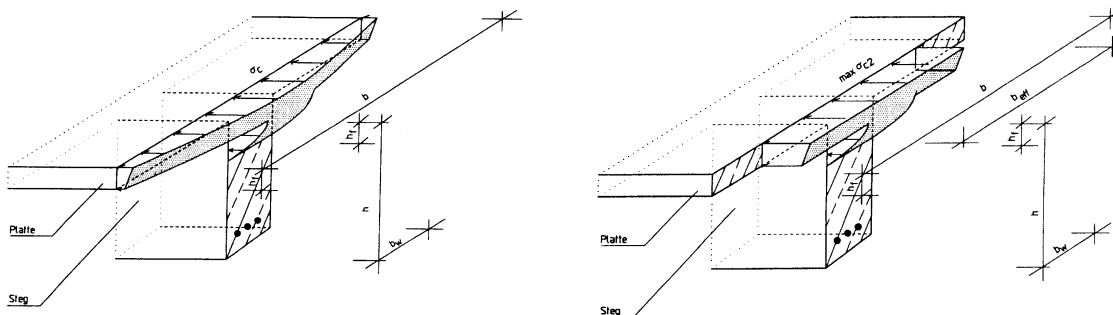


Bild: tatsächliche + rechnerische Betondruckspannung im Plattenbalken

Die Druckzone kann bei oberliegender Platte nur bei positiven Biegemomenten in der Platte liegen, d.h. die Berechnung der mitwirkenden Plattenbreite muss sich auf den Bereich positiver Biegemomente beziehen. Dieser Bereich liegt logischerweise **zwischen den Momentennullpunkten** und heißt **ideelle Stützweite l_0** . Bei Durchlaufträgern kann l_0 näherungsweise gemäß dem folgenden Bild angenommen werden. Eine genauere Berechnung ist i.A. nicht erforderlich, da die Auswirkung auf die Bewehrung minimal ist.

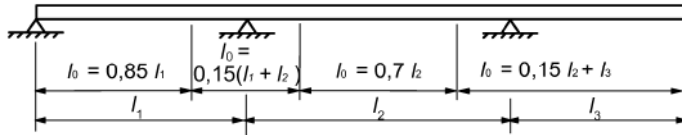


Bild: ideelle Stützweiten l_0

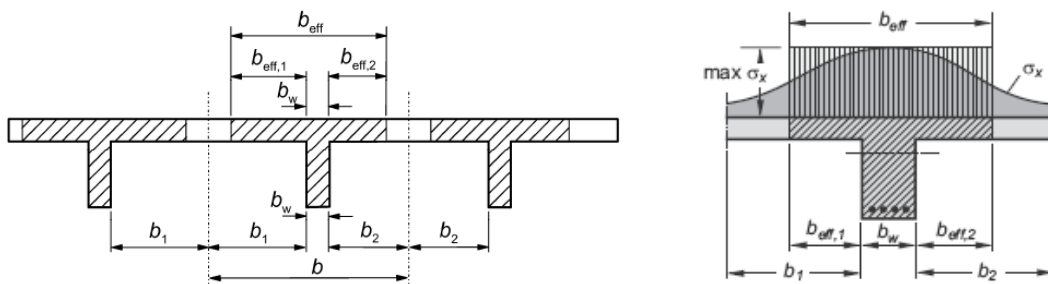


Bild: Mitwirkende Plattenbreiten

Die mitwirkende Plattenbreite ergibt sich damit näherungsweise durch Aufaddieren der Stegbreite(b_w) und der effektiven Breiten links(b_{eff1}) und rechts(b_{eff2}) des Stegs zu:

$$b_{eff} = b_w + b_{eff,1} + b_{eff,2} \leq b \quad \text{mit} \quad b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0 \leq b_i \quad i=1,2$$

$b_1, b_2 = \text{max. mögliche Breiten links und rechts des Stegs}$

Da selbst größere Schwankungen der mitwirkenden Plattenbreite nur kleine Auswirkungen auf die erforderliche Bewehrung haben, kann auch die einfachere alte Regel benutzt werden:

Einseitiger Plattenbalken: $b_{eff} = l_0/6$

Zweiseitiger Plattenbalken: $b_{eff} = l_0/3$

Zuletzt muss noch bemerkt werden, dass vor allem Einzellasten eine beträchtliche Einschnürung der Druckzone hervorrufen, d.h. die mitwirkende Plattenbreite muss in diesem Fall um ca. 40 % reduziert werden! Die folgenden Bilder verdeutlichen dies:

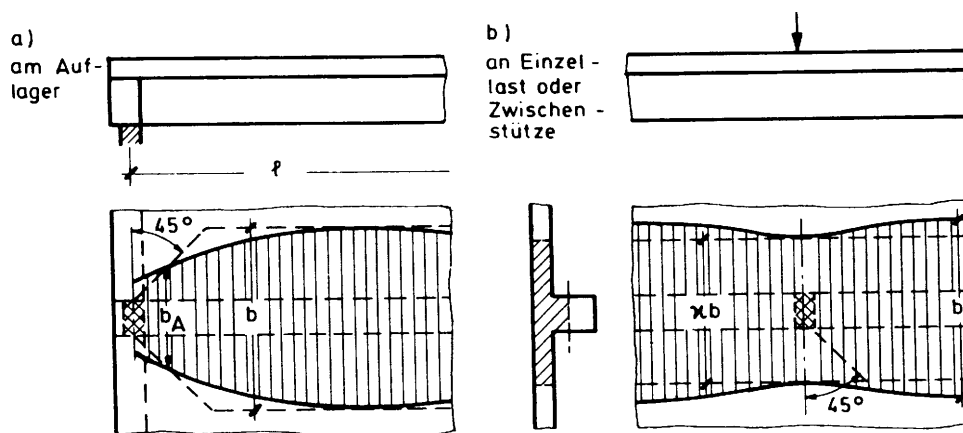


Bild: Einschnürungswirkung durch Einzellasten

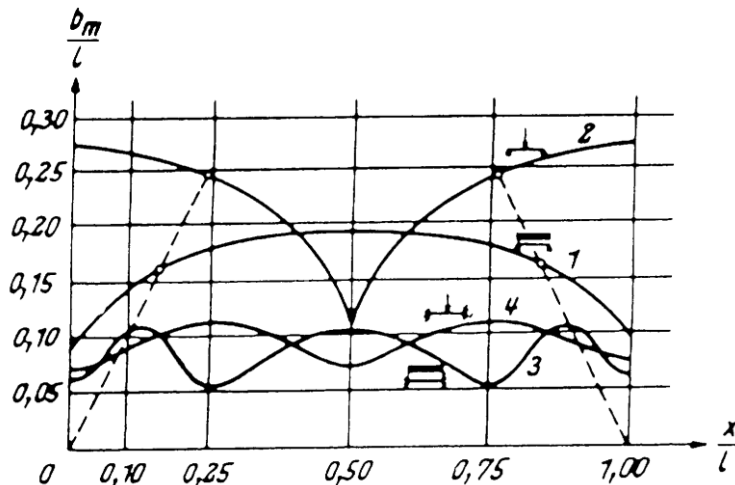


Bild: Vergleich von mitwirkenden Plattenbreiten bei unterschiedlicher Belastung und unterschiedlichem System

Hinweis: Da Auflagerreaktionen auch Einzellasten sind, tritt die Einschnürung auch am Auflager bei Überzügen auf. Da dies aber ein Regelfall ist, wurde die Einschnürungswirkung bereits in die Berechnung nach EC2 eingearbeitet, d.h. eine Reduktion der mitwirkenden Breite am Auflager ist nicht erforderlich!

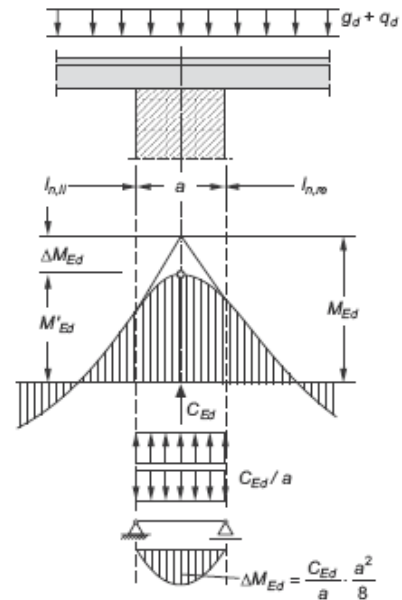
2.3 Bemessungsmomente

Da durch die Tragwerksidealisierung beim Durchlaufträger mit frei drehbaren Punktlagern gerechnet wird, ergeben sich über dem Auflager zu hohe Stützmomente. Deshalb dürfen diese über dem Auflager für die Bemessung abgemindert werden. Hierbei werden 2 Fälle unterschieden:

Keine monolithische Verbindung mit der Stützung

Dieser Fall liegt z.B. vor, wenn eine durchlaufende Deckenplatte auf Mauerwerk aufgelagert ist. Das Bemessungsmoment ergibt sich dann durch **parabelförmige Ausrundung** über dem Auflager:

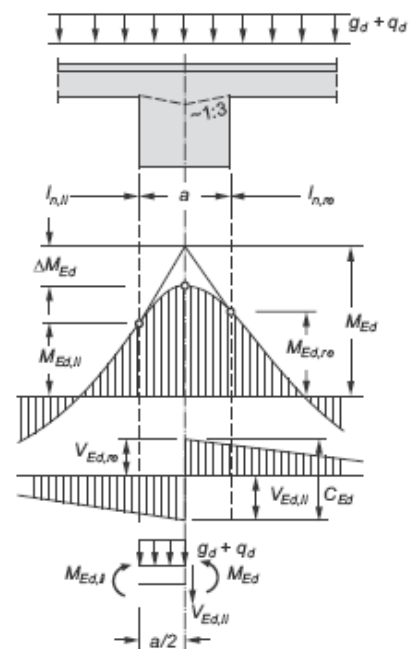
$$|M'_{Ed}| = |M_{Ed}| - |C_{Ed}| * a / 8$$



Monolithische Verbindung mit der Stützung

Dieser Fall liegt meist dann vor, wenn eine Deckenplatte mit einer Stahlbetonwand oder ein Stahlbetonbalken mit einer Stahlbetonstütze eine Einheit bildet. Als Bemessungsmoment darf dann das betragsmäßig größere **Moment am Anschnitt der Stützung** verwendet werden, da das Maximalmoment der Parabel wegen der größeren statischen Höhe in Balkenmitte fast nie für die Bemessung maßgebend ist:

$$|M_{Ed,li/re}| = |M_{Ed}| - |V_{Ed,li/re}| * a / 2$$



In ungünstigen Fällen (breite Balken) kann das Parabelmoment für die Bemessung maßgebend werden, da die **Erhöhung der statischen Höhe mit max. 1:3** angesetzt werden darf. Allerdings ist es dann fraglich, ob es bei einem sehr breiten Lager überhaupt noch sinnvoll ist, mit einem Punktlager zu rechnen!

Wegen der vorgenommenen Tragwerksidealisierung sind bei Durchlaufträgern **Mindestmomente für die Bemessung** festgelegt, die mind. 65 % des Volleinspannmomentes **am Auflageranschnitt** betragen müssen, z.B. bei einem Durchlaufträger mit Gleichlast:

- 1. Innenstütze: $\min M_{Ed} = -0,65 * (g_d + q_d) * l_n^2 / 8$
- restl. Innenstützen: $\min M_{Ed} = -0,65 * (g_d + q_d) * l_n^2 / 12$

3 Schnittgrößenermittlung

Bei statisch bestimmten Tragwerken hat die Steifigkeit keinen Einfluss auf die Schnittgrößen (sehr wohl aber auf die Verformungen!), bei statisch unbestimmten Systemen werden die Schnittgrößen jedoch u.U. nicht unerheblich beeinflusst. Das folgende Bild zeigt dies am Beispiel eines 2-Feld-Trägers:

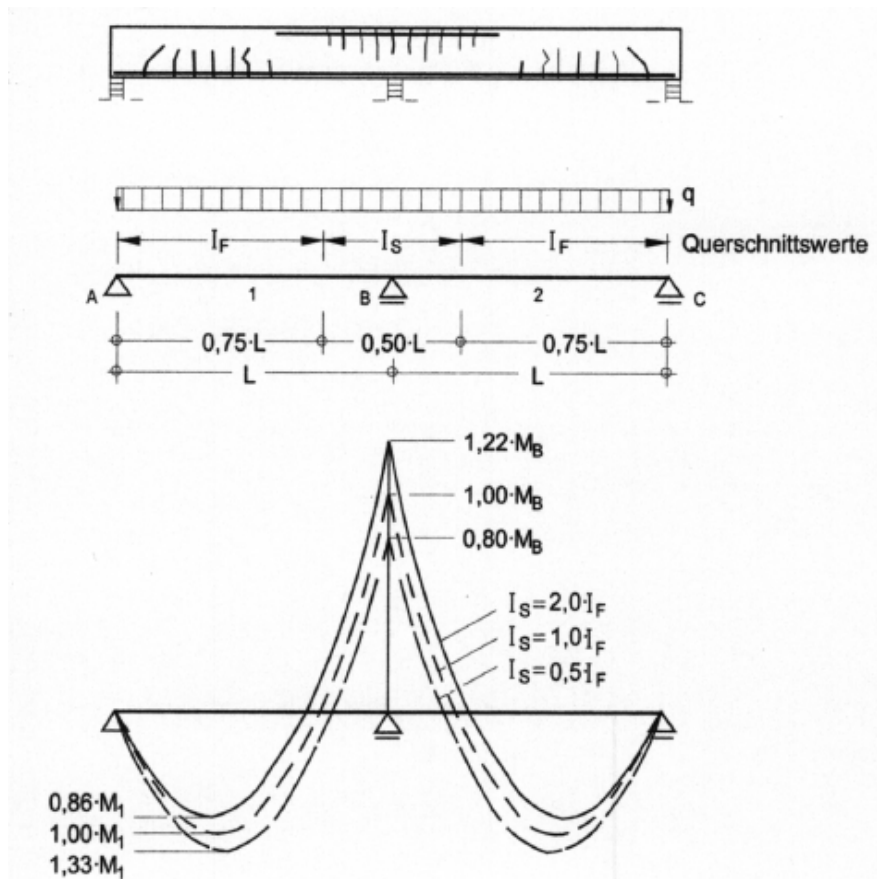


Bild: Einfluss der Steifigkeit auf die Schnittgrößen

Um den Rechenaufwand gering zu halten, sind die folgenden **Vereinfachungen** zulässig:

Bei nicht vorgespannten Durchlaufträgern und Durchlaufplatten des üblichen Hochbaus brauchen günstig wirkende ständige Einwirkungen nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Konstruktionsregeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden, d.h. $\gamma_g = 1,35$. Ausnahme: Lagesicherheit!

Die Querdehnrzahl darf wegen Rissbildung generell zu $\mu=0$ angenommen werden, im ungerissenen Zustand beträgt sie $\mu=0,2$.

Der Einfluss der Querkraft- und Normalkraftverformung darf für übliche Balken- und Plattentragwerke vernachlässigt werden, wenn der Einfluss $< 10\%$ ist ($EA = GA_s = \infty$).

Der Einfluss der Verformung auf die Schnittgrößen (Gleichgewicht am verformten System = Theorie II. Ordnung) kann vernachlässigt werden, wenn die Tragfähigkeit in jedem Querschnitt um nicht mehr als 10% reduziert wird.

3.1 Linear-elastische Berechnung

Linear-elastische Berechnungen dürfen sowohl für den GZT wie auch für den GZG gemacht werden. Grundlage für die linear-elastische Berechnung ist das Hooke'sche Gesetz. Es darf mit Steifigkeiten des ungerissenen und auch des gerissenen Querschnitts gerechnet werden. Maßgebend ist der mittlere E-Modul E_{cm} .

Voraussetzung: Auswirkungen nach Theorie II: Ordnung sind vernachlässigbar.
(Tragfähigkeit wird weniger als 10 % verringert.)

Zwang hat keinen entscheidenden Einfluss auf die Schnittgrößen.

Die Druckzonenhöhe muss begrenzt werden für

- Durchlaufträger mit Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleichen Steifigkeiten von $0,5 < l_1/l_2 < 2,0$
- Riegel von Rahmen.
- Bauteile, die vorwiegend auf Biegung beansprucht sind, incl. durchlaufender und in Querrichtung kontinuierlich gestützter Platten.

$$C \leq C50 \dots x/d \leq 0,45 \quad C > C50 \dots x/d \leq 0,35$$

Bei Nachweis der Duktilität oder geeigneten konstruktiven Maßnahmen zur Sicherstellung der Duktilität braucht die Druckzonenhöhe nicht begrenzt zu werden. Hierzu zählen z.B. die Regelungen für die Querbewehrung.

Bei nicht vorgespannten Durchlaufträgern und Durchlaufplatten des üblichen Hochbaus brauchen günstig wirkende ständige Einwirkungen nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Konstruktionsregeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden. Ausnahme: Lagesicherheit!

3.2 Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung

Die linear-elastisch ermittelten Momente dürfen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit unter Beachtung des Gleichgewichtes umgelagert werden.

Die Momentenumlagerung muss begrenzt werden für

- Durchlaufträger mit Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleicher Steifigkeit von $0,5 < l_1/l_2 < 2,0$
- Riegel von **unverschieblichen** Rahmen.
- Bauteile, die vorwiegend auf Biegung beansprucht sind, incl. durchlaufender und in Querrichtung kontinuierlich gestützter Platten.

Die Begrenzung der Momentenumlagerung erfolgt in Abhängigkeit der Druckzonenhöhe bei der Bemessung:

Allgemein: $C \leq C50$ $\delta \geq k_1 + k_2 \cdot x_u/d$ $k_1 = 0,64$ $k_2 = 0,8$

$C > C50$ $\delta \geq k_3 + k_4 \cdot x_u/d$ $k_3 = 0,72$ $k_4 = 0,8$

Hochduktiler Stahl: $\delta \geq k_5$ $C \leq C50$ $k_5 = 0,70$ $C > C50$ $k_5 = 0,80$

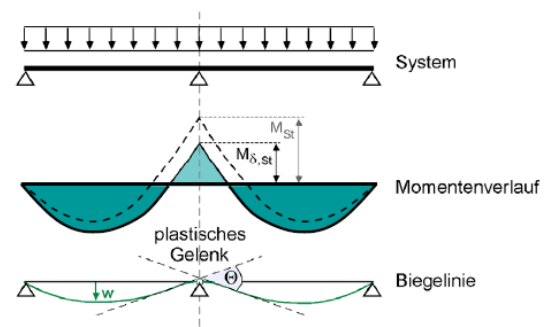
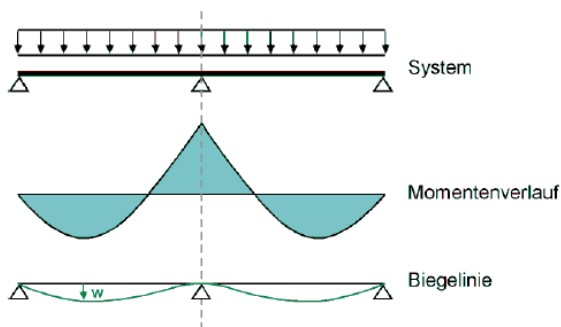
Normalduktiler Stahl: $\delta \geq k_6$ $C \leq C50$ $k_6 = 0,85$ $C > C50$ $k_6 = 1,00$

Verschiebliche Rahmen, vorgefertigte Segmente mit unbewehrten Kontaktfugen:
 $\delta = 1,0$ (keine Umlagerung)

δ Verhältnis des umgelagerten Moments zum Ausgangsmoment vor der Umlagerung
 x_u/d bezogene Druckzonenhöhe im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Umlagerung

Da der Umlagerungsgrad von der Druckzonenhöhe abhängt, kann nur iterativ vorgegangen werden:

- Schnittgrößen berechnen.
- Wahl der Umlagerung mit z.B. 15 %, d.h. $\delta = 0,85$.
- Schnittgrößen unter Beachtung des Gleichgewichts neu berechnen.
- Bemessen, daraus folgt die Druckzonenhöhe x_u und damit x_u/d .
- Beginn von vorne, wenn $zul\delta < vorh\delta$.



3.3 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

Wird hier nicht behandelt (siehe Stahlbau).

3.4 Nichtlineare Berechnung

Siehe Kapitel über Theorie II. Ordnung und Verformungen.