

Stahlbetonbau

Allgemein

Stahlbeton ist ein zusammengesetzter Baustoff aus Beton und Stahl. Es kann sowohl Zug- als auch Druckkräften, Biegung, Knicken, Beulen oder Torsion widerstehen. Aus diesem Grunde kann Stahlbeton auch als Stabwerk eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Betrachtung beschränken wir uns jedoch zunächst auf den Aspekt des Massivbaus, zu dem die Disziplin Stahlbeton im Bauwesen gerechnet wird.

Das Material Beton wird aus Zement, Zuschlägen, Zusatzstoffen und Wasser nach exakten Vorgaben im Konsistenzbereich steif bis sehr fließfähig zur Herstellung eines Bauteils angesetzt. Daraus ergibt sich, dass es zur Formgebung des Bauteils einer Form, im Bauwesen Schalung genannt, bedarf. Die Schalung muss das Gewicht des eingebrachten Betons so lange aushalten können, bis der Beton abgebunden hat und das Bauteil genügend Festigkeit besitzt sich verformungsfrei selbst tragen zu können. Dies ist in der Regel nach etwa einer Woche der Fall. Die Gebrauchsfestigkeit erhält der Beton nach 28 Tagen.

Ebenfalls bis zum Abbinden muss angestrebt werden, dass alle Bestandteile des Betons, insbesondere Zement, Zuschläge und Wasser gleichmäßig in der Mischung verteilt bleiben. Dem steht schon entgegen, dass die schweren Bestandteile der Zuschläge, der Kies mit der größten Korngröße, allein schon durch die Schwerkraft absinken. Zudem steht in der Schalung die erforderliche Bewehrung, die wie ein Sieb wirkt. Zum Schluss muss der Beton nach dem Betoniervorgang verdichtet werden, damit er wirklich alle Bereiche der Schalung ausfüllt und die Bewehrung vollständig umschließt.

Nach dem Betonieren muss das Betonbauteil gegen Austrocknen und gegebenenfalls gegen Frost geschützt werden. Austrocknen und Frost reduzieren die Härte und Druckfestigkeit des Bauteils, eine gute Nachbehandlung kann sie sogar steigern.

Bauteile aus Stahlbeton können in jeder Form und fast jeder Größe hergestellt werden. Ab einer gewissen Größe nach oben muss die beim Abbinden entstehende Wärmeentwicklung berücksichtigt werden. Nach unten begrenzt sich der Querschnitt durch die erforderliche konstruktive Höhe, den Durchmesser der verwendeten Bewehrung und der zur Vermeidung von Korrosion notwendige Betondeckung.

Beispiel: Die Belastung einer Platte erfordert eine konstruktive Höhe von 12 cm, gewählt wurde eine Bewehrung von 1 cm Durchmesser, die Betondeckung beträgt 2,5 cm, dann ist die Platte 18 cm stark.

Wände

Zum Verständnis des Bauteils Wand und der auf ihm lastenden Kräfte, des inneren Kräfteverlaufs und deren Auswirkungen auf das Bauteil, eignet sich Stahlbeton in hohem Masse, weil er praktisch allen Lastarten standhalten kann. Die folgende Betrachtung gilt sinngemäß auch für Mauerwerksbau.

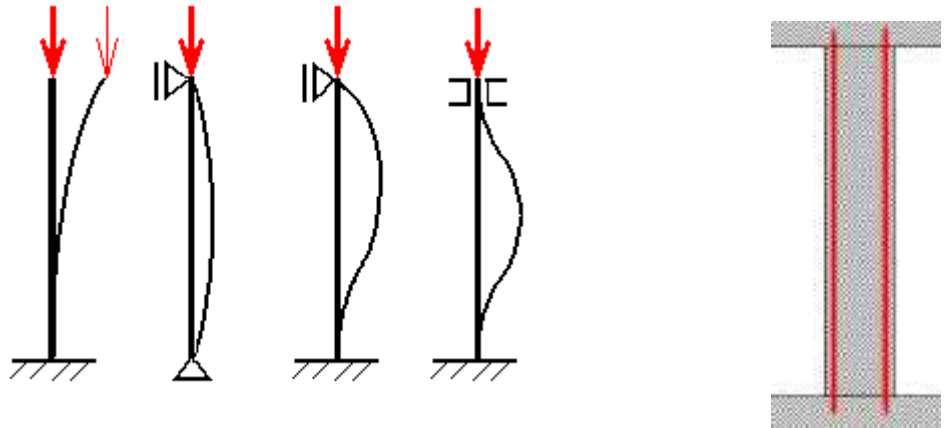
Kräfteverlauf in der Wand

Eine auf eine Wandscheibe aufgebrachte Einzellast, etwa ein gelenkig gelagerter Deckenbalken, verteilt sich:

- In der größten Vorstellung unter 60 Grad nach beiden Seiten
- In der genaueren Vorstellung entlang einer Parabel
- Exakt nach der Kettenlinie

Für die Ansicht der Wand, den Blick auf die Wandfläche, ändert sich durch die Last in der Regel nichts.

Für den Querschnitt der Wand, für die Schmalseite, können folgende Verformungen entstehen:



Knickfälle nach Euler:	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Knicklängen $s_k =$	$2 h$	h	$0,7 h$	$0,5 h$

Diese Bilder sind in der Literatur als Eulerfälle bzw. Euler Knickfälle bekannt. Der Eulerfall 1 zeigt eine unten eingespannte Wand. Sollte die Einspannung versagen, fällt die Wand einfach um. Die Einzellast erzeugt ein Moment. Das ist ein Kräftepaar, das durch einen Abstand getrennt ist. Auf der konvexen Seite ist es Zug, auf der konkaven Seite ist es Druck. Je weiter das Kräftepaar von einander getrennt wird, d.h. je dicker die Wand ist, desto stabiler ist das Bauteil. Umgekehrt, je enger das Kräftepaar zusammen liegt, umso mehr Kraft muss abgeleitet werden. Der Abstand des Kräftepaars heißt in der Fachsprache: Konstruktive Höhe. Im Rahmen der Materialkunde hatten wir zum Stahlbeton geschrieben:

Der **Beton** übernimmt im Bauteil alle Beanspruchungen auf **Druck**, der **Stahl** alle **Zug-** und **Biegebeanspruchungen**. Bei der Wand Eulerfall 1 wird also auf der gewölbten Seite der Stahl und eben nur der Stahl auf Zug belastet. Auf der konkaven Seite wird der Beton auf Druck belastet.

Eulerfall 2 ist für den erforderlichen Querschnitt günstiger: Die Wand wird oben und unten gelenkig gehalten, beispielsweise eine Wandscheibe an einem Tragskelett.

Eulerfall 3, wiederum für den Querschnitt günstiger, die Wand ist unten eingespannt und oben gelenkig gehalten, beispielsweise eine Mauerwerkswand im Geschossbau durch eine Deckenplatte.

Eulerfall 4, der für den Querschnitt günstigste; die Wand ist oben und unten eingespannt. Sie kann nur noch in der Mitte etwas beulen, z.B. ein Massivbau aus Stahlbeton, die mit einer Stahlbetondecke biegesteif verbunden ist.

Frischbeton: Bestandteile und Zusammensetzung

Die Zusammensetzung des Betons ist von vielen Parametern, wie z. B. Festigkeitsklasse und Umweltbedingungen, abhängig. Bei einem normalen Beton der Festigkeitsklasse C25/30 hat ein Kubikmeter als Mengenteile 285 kg Zement, 200 l Wasser sowie 1900 kg Zuschläge, was einem Mischungsverhältnis von 1:0,6:7 entspricht.

Konsistenz

Die Konsistenz des Frischbetons ist so zu wählen, dass er ohne wesentliches Entmischen gefördert, eingebaut und praktisch vollständig verdichtet werden kann. Die dafür maßgebende Frischbetoneigenschaft ist die Verarbeitbarkeit. Die Frischbetonkonsistenz ist vor Baubeginn festzulegen und während der Bauausführung einzuhalten. Mit zunehmender Fließfähigkeit wird der Beton teurer. Bei einem Pumpen des Betons sollte die Betonkonsistenz mindestens im plastischen Bereich, d. h. Ausbreitmaßklasse F2, besser F3, liegen. Zur Kontrolle der Konsistenz gibt es genormte baustellengerechte Verfahren, den Verdichtungsversuch und den Ausbreitversuch. Das nachträgliche Zumischen von Wasser zum fertigen Frischbeton, z. B. bei Ankunft auf der Baustelle, ist nach den deutschen Vorschriften unzulässig.

Konsistenzbereiche des Frischbetons nach DIN 1045-2				
Konsistenzbereich	Ausbreitmaßklassen		Verdichtungsmaßklassen	
	Klasse	Ausbreitmaß [mm]	Klasse	Verdichtungsmaß
sehr steif	-	-	C0	≥1,46
steif	F1	≤340	C1	1,45 - 1,26
plastisch	F2	350 - 410	C2	1,25 - 1,11
weich	F3	420 - 480	C3	1,11 - 1,04
sehr weich	F4	490 - 550		
fließfähig	F5	560 - 620		
sehr fließfähig	F6	≥630		
SVB	-	>700		

Einbau und Verdichtung

Beton ist schnellstmöglich nach dem Mischen bzw. der Anlieferung einzubauen und mit geeigneten Geräten zu verdichten. Durch das Verdichten sollen die Luftporen ausgetrieben werden, damit ein dichtes Betongefüge mit wenigen Poren entsteht. Rütteln, Schleudern, Stampfen, Stochern, Spritzen und Walzen sind je nach Betonkonsistenz geeignete Verdichtungsverfahren. Als Verdichtungsgerät kommt auf Baustellen heutzutage der Innenrüttler zur Anwendung. Weitere Verdichtungsmittel sind Schalungsrüttler und Rütteltische, die insbesondere im Fertigteilverk benutzt werden. Beim Einbau und Verdichten darf sich der Beton nicht entmischen, d. h. Absetzen größerer Zuschlagskörner unten und Bildung einer Wasser- oder Wasserzementschicht an der Oberfläche. Diese wässrige Schlämpeschicht entsteht meist, wenn die Rütteldauer zu lang war. Das Absondern von Wasser an der Betonoberfläche wird auch als Bluten bezeichnet. Die Entmischung wirkt sich insbesondere nachteilig auf die Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons aus. Bei richtiger Verdichtung und passender Konsistenz bildet sich an der Oberfläche eine dünne Feinmörtelschicht. Beim Einbau sollte die Betontemperatur zwischen +5 °C und +30 °C liegen, anderenfalls sind besondere Maßnahmen erforderlich.

Nachbehandlung

Eine Nachbehandlung des frischen Betons ist zum Schutz der Betonoberfläche gegen Austrocknung und somit zur Sicherstellung einer geschlossenen, dichten und dauerhaften Betonoberfläche erforderlich. Dazu muss auch in den oberflächennahen Bereichen des Betons genügend Wasser für die Hydratation des Zements vorhanden sein. Dieses darf insbesondere nicht durch Sonneneinstrahlung, Frost und/oder Wind verdunsten. Es gibt verschiedene Nachbehandlungsmethoden um den Erhärtungsprozess sicher zu stellen.

Nachbehandlungsmethoden im Sommer:

Bei der einen wird Wasser zugeführt, z. B. durch das Auflegen einer wasserspeichernden Abdeckung, den Einsatz spezieller Nachbehandlungsfolien, durch das kontinuierliche Besprühen oder Fluten mit Wasser. Bei der anderen Methode wird das schnelle Austrocknen des Betons, z. B. durch das Belassen in der Schalung, durch das Abdichten mit Kunststofffolien oder durch das Auftragen filmbildender Nachbehandlungsmittel, verhindert.

Nachbehandlungsmethoden im Winter:

Frischbeton muss z.B. bei einer Lufttemperatur von unter -3 °C zum Erhärten während der ersten drei Tage eine Mindesttemperatur von $+10\text{ °C}$ haben. Dieses kann durch eine Abdeckung mit einer Folie mit Wärmedämmung oder mit einem beheizten Bauzelt sichergestellt werden.

Nachbehandlungsdauer:

Die erforderliche Zeitdauer der Nachbehandlung kann je nach den Betoneigenschaften, den Umweltbedingungen, die den Expositionsklassen entsprechen, und den klimatischen Randbedingungen zwischen einem Tag und einer Woche oder auch mehr betragen.

Herstellung von Wänden

Die Schalung von Wänden wird heute überwiegend durch vorgefertigte Systemschalungen übernommen. In die Schalung wird die Bewehrung als Korb eingestellt. Dieser Korb besteht wegen der Flächigkeit des Bauteils aus Bewehrungsmatten. Um die konstruktive Höhe zu gewährleisten, sind in bestimmten Abständen Abstandskörbe einzuflechten. Um den Abstand von Bewehrung zur Schalung, der erforderlichen Betondeckung, einzuhalten, werden Abstandshalter gesetzt. Vor dem Betoniervorgang ist die Bewehrung von ausgewiesenen Fachleuten protokolliert abzunehmen, da man nach dem Betonieren Anzahl, Lage und Qualität der verwendeten Bewehrung nicht mehr feststellen kann.



Vor Ort gefertigte
Schalung aus Brettern

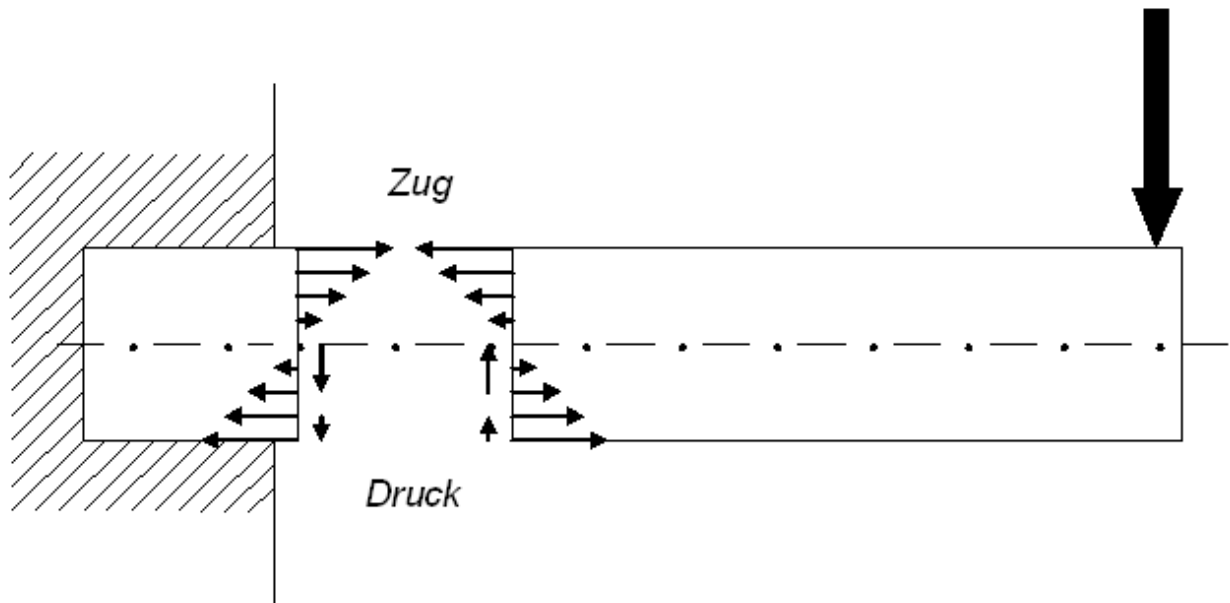


Schalung aus vorgefertigten und
wieder verwendbaren Elementen

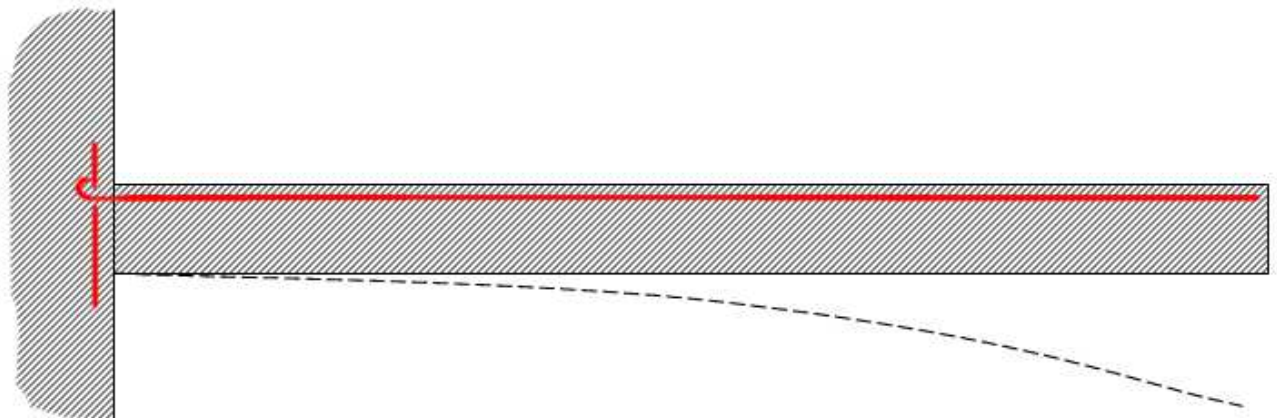


Besondere Wandkonstruktionen: Wanne, Weiße Wanne

Die Weiße Wanne nutzt die Eigenschaft des Betons ab bestimmten Qualitäten und bei zusätzlicher Bewehrung zur Rissminimierung wasserundurchlässig zu sein. Nach der DIN 1045-1:2001-07 wird Festbeton mit dieser besonderen Eigenschaft als „Beton mit hohem



Dementsprechend liegt der Hauptteil der Bewehrung oben, gegen die Zuglast. Die Druckbelastung wird durch den Beton, hier grau schraffiert abgetragen. Die biegesteife Einspannung am Widerlager ist hier durch einen Haken symbolisiert. Die tatsächliche Bewehrung ist noch etwas komplizierter und auch die Unterseite ist zur Vermeidung von Rissen zu bewehren.



Die Bemessung der Kräfte erfolgt nach der Formel

$$M = q \cdot l^2 / 2 \text{ bzw. } M = p \cdot l$$

„l“ ist die konstruktive Länge, die bis zur Fixierung im Auflager gemessen wird. Je länger sie ist, desto höher wird der Kragarm bei gleicher Last beansprucht bzw. je größer ist die Durchbiegung. Allein schon zu große Durchbiegung kann den Gebrauchswert des Bauteils nachhaltig herabsetzen. Im Hochbau soll daher die Durchbiegung bei allen Bauteilen in der Regel auf

$l/300$

begrenzt sein.

Balken auf zwei Widerlagern

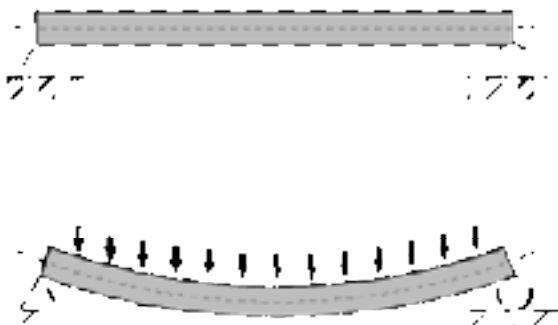
Der Balken auf zwei Auflagern kommt ohne Einspannungen aus. Das ist im Bauwesen immer günstig.



Das feste Auflager ist hier lediglich in Bezug auf horizontale und vertikale Verschiebungen "fest". Um die symbolische Spitze des Auflagers kann sich der Balken bewegen.

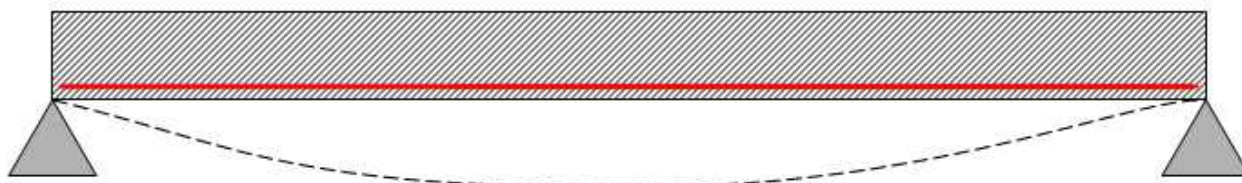
Das bewegliche Auflager ist nur in Bezug auf horizontale Verschiebungen beweglich. Diese dient beispielsweise zur zwangungsfreien Aufnahme von Längenänderungen bei Temperaturwechseln. In Bezug auf vertikale Verschiebungen ist auch das bewegliche Auflager fest, allerdings kann sich auch hier der Balken um die symbolische Spitze bewegen.

Die typische Belastung eines Balkens ist Biegung. Dabei entsteht auf der Oberseite des Balkens eine Druckkraft, auf der Unterseite eine Zugkraft. Beide Kräfte bilden wiederum ein Kräftepaar. Es nimmt zur Mitte des Balkens hin ab, man spricht von der Neutralen Zone, hier als Strichlinien dargestellt.



Balken unter Last: Biegebeanspruchung

Aus dieser Belastung, oben Druck unten Zug, ergibt sich, dass der Hauptteil der Bewehrung gegen Zug unten eingebaut ist, während in der Druckzone oben der Beton alle Druckbelastungen aufnimmt.

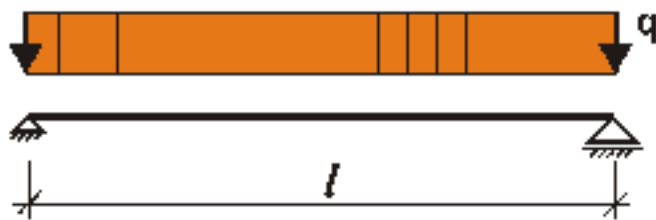


Die Bemessung der Kräfte erfolgt nach der Formel

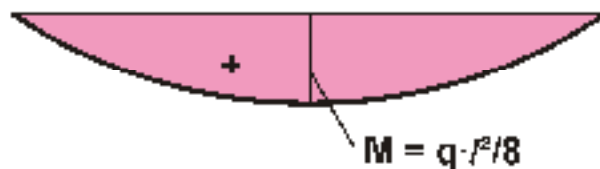
$$M = q \cdot l^2 / 8 \text{ bzw. } M = p \cdot l / 4$$

Daraus folgt, je länger der Balken, desto höher die inneren Kräfte bei gleicher Belastung bzw. je größer die Durchbiegung bei gleicher Last. Im Hochbau wird die Durchbiegung üblicher Weise auf $l/300$ begrenzt.

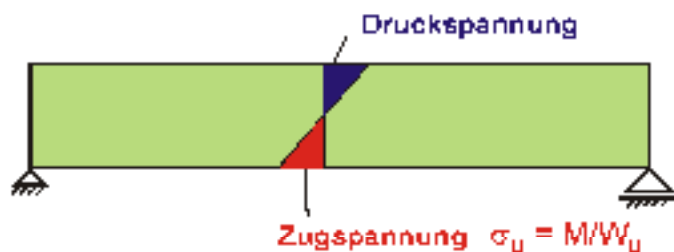
Statisches System und Belastung



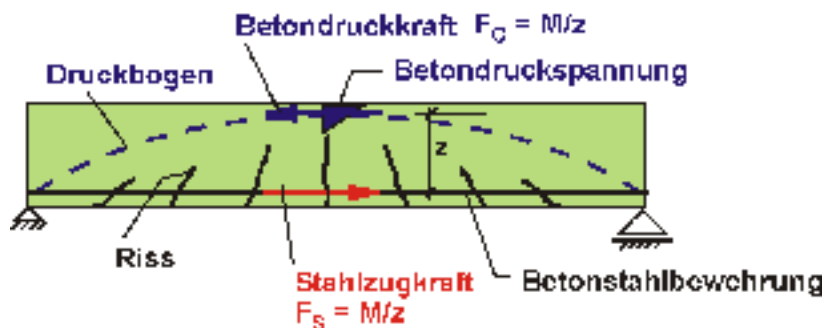
Momentenlinie



Ungerissener Betonbalken



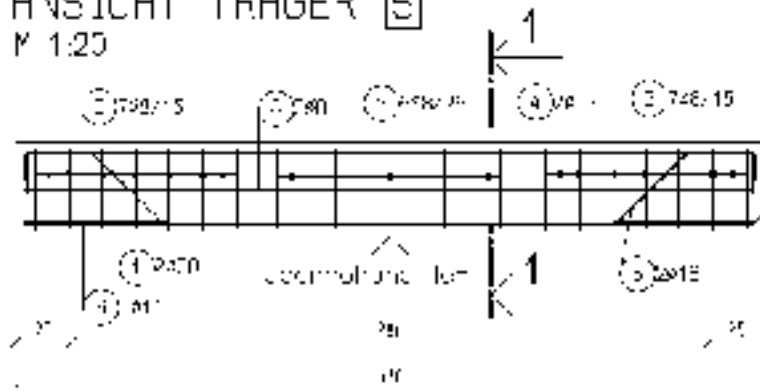
Gerissener Stahlbetonbalken



Die Momentenlinie erreicht in Feldmitte ihren Maximalwert. An dieser Stelle muss der Querschnitt sowohl der Druckzone, als auch der Querschnitt der Bewehrung am größten sein. Es hat tatsächlich Balkensysteme gegeben, die exakt dieser Anforderung entsprochen haben. Allerdings sind gewölbte Balken im Bauwesen schwer einsetzbar. Bei der Bewehrung aber kann man tatsächlich staffeln, das bedeutet, in der Mitte des Balkens mehr Bewehrung einlegen, als an den Rändern.

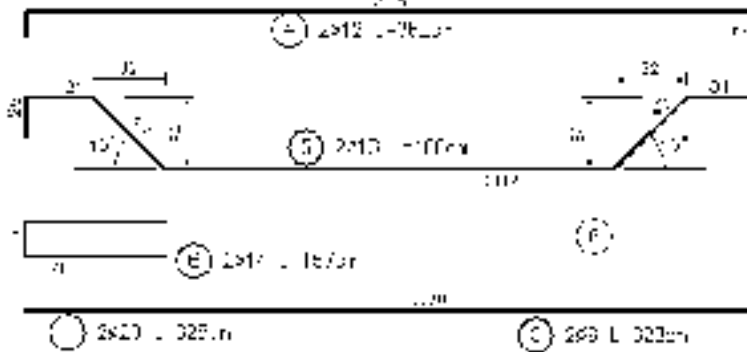
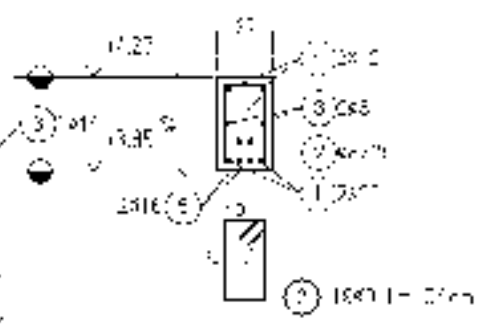
ANSICHT TRÄGER E

M 1:20



SCHNITT 1-1

M 1:20



nr	Stk	z	Einzell. L _a	Querschl. L _a	Masse kg/m ³	Masse kg
1	2	20	3,25	3,56	2,470	16,20
2	19	8	1,34	2,116	0,395	10,06
3	2	8	3,25	3,56	0,395	2,59
4	9	10	3,37	7,14	0,888	6,49
5	2	16	4,38	6,16	1,580	12,89
6	2	14	1,57	3,14	1,210	9,80

Betongüte: C25/30 Betonabstufung: 3,0cm Stahl: BST 550
 Biegegraden nach DIN EN 12607

Gesamtgewicht: 51,97 kg

Bewehrungsplan eines Balkens mit zwei Widerlagern, z.B. Fenster- oder Türsturz.

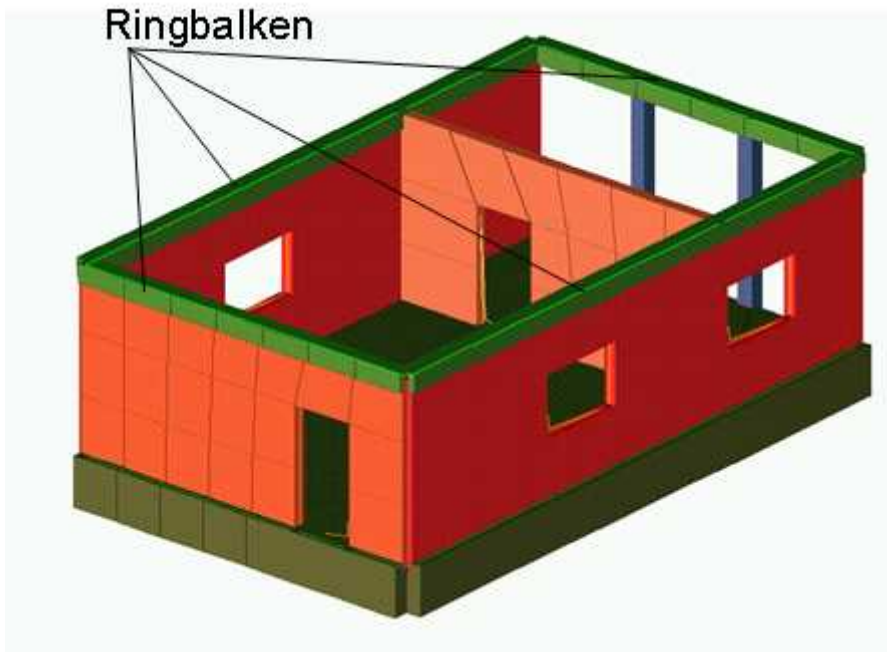
Eine weitere Belastung des Balkens ist die Querkraft, auch Scherkraft genannt. Man erkennt sie aus der Zeichnung, wenn man nur die vertikalen Kraftpfeile betrachtet. Diese erreicht am Auflager ihr Maximum. Gegen die Scherkraft setzt man die Biegelbewehrung ein, entsprechend der Belastung vom äußeren Rand zum Auflager hin in immer dichteren Abständen.

Besondere Balken: Ringbalken

Im Kapitel Mauerwerksbau wurde unter „Räumliche Steifigkeit“ eines Gebäudes erklärt: Die Steifigkeit im Massivbau, hier speziell im Mauerwerksbau, beruht auf Wanddicken, aussteifenden Wänden und auf dem Eigengewicht der Konstruktion.

In der Regel sollten folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Decken sind als steife Scheiben ausgebildet oder es sind stattdessen statisch nachgewiesene Ringbalken vorhanden.



Der Ringbalken dient dazu, Horizontallasten (zum Beispiel aus Wandplatten oder Sparrendachkonstruktionen) in umliegende Wandscheiben zu leiten, wenn keine schubsteifen Deckenscheiben vorhanden sind. Dazu muss der Ringbalken sowohl Biegung als auch Zugkräfte aufnehmen können und rundum ein geschlossenes Polygon darstellen.

Ringbalken werden im Mauerwerksbau häufig mit der Hilfe von U-Schalen hergestellt, die auf den Wandkopf aufgemörtelt werden. In die U-Schalen werden Bewehrungen eingefügt und die Schalen mit Beton vergossen.

Decken

Decken bilden im Gebäude den Raumabschluss nach oben bzw. schaffen für das Gebäude eine weitere Ebene. Im Massivbau kann man eine Deckenplatte als eine Reihe miteinander fest verbundener Balken betrachten. Dabei wird die Richtung der Balken als Spannrichtung bezeichnet. Da, wie bei Balken gezeigt, die inneren Kräfte des Tragwerks mit der Spannweite steigen, spannt man Decken grundsätzlich über die kürzestmögliche Entfernung. Das bedeutet, dass sich die Spannrichtung je nach Grundrissgestaltung von Raum zu Raum ändern kann.

Da Decken ein Flächentragwerk sind, benutzt man bei ihrer Bewehrung wiederum Matten (siehe Wände).



Deckenbewehrung Abstandhalter



Deckenbewehrung, Randeinfassung



Deckenbewehrung, Anschluss Stütze

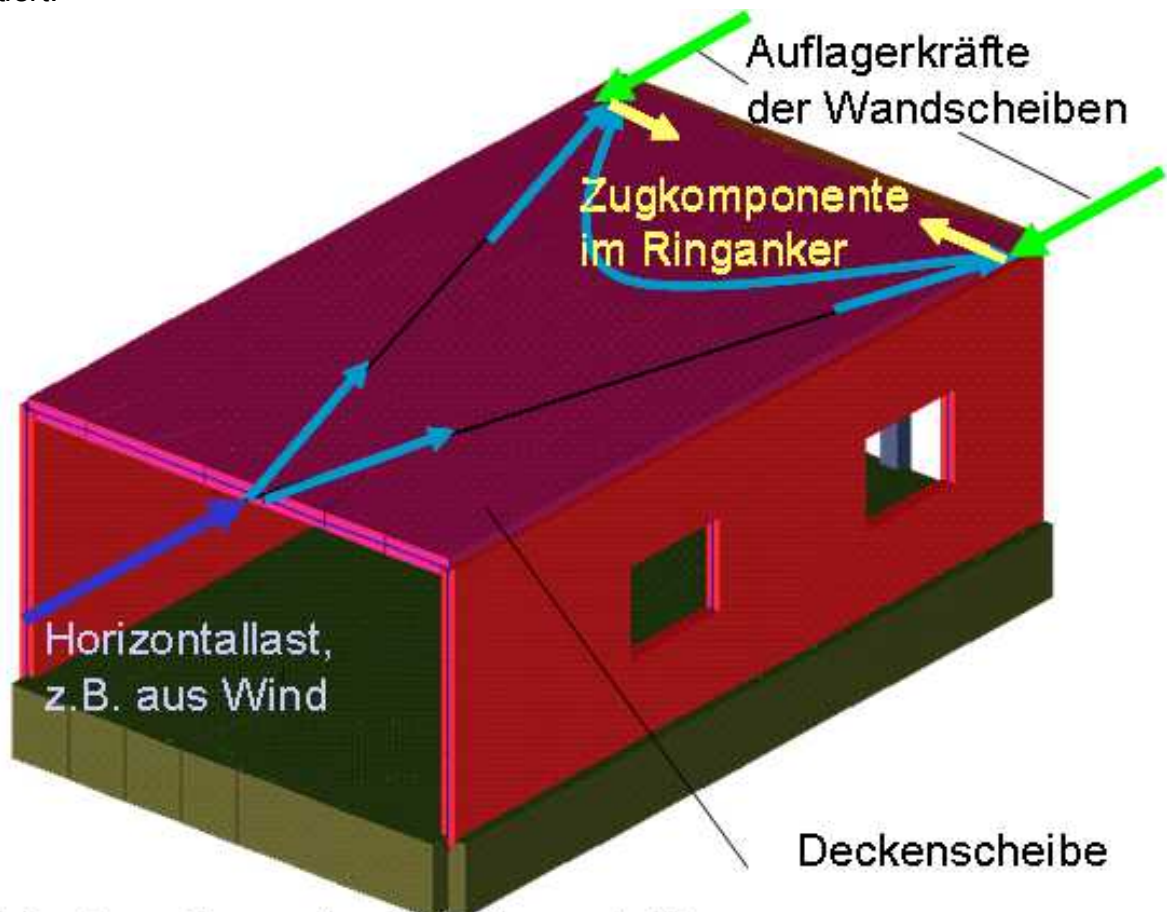
Eine weitere wichtige Bedeutung hat die Decke durch die Funktion der Aussteifung des Gebäudes in horizontaler Richtung. Diese wurde im Kapitel Mauerwerksbau unter

„Räumliche Steifigkeit

Die Steifigkeit im Massivbau, hier speziell im Mauerwerksbau, beruht auf Wanddicken, aussteifenden Wänden und auf dem Eigengewicht der Konstruktion.

In der Regel sollten folgende Bedingungen erfüllt sein:

2. Die Decken sind als steife Scheiben ausgebildet oder es sind stattdessen statisch nachgewiesene Ringbalken vorhanden.“
diskutiert.



Vordere Fassade nicht dargestellt

Der gleiche Bezug ergibt sich für die Aussteifung einzelner Wände nach:

„Eulerfall 3, wiederum für den Querschnitt günstiger, die Wand ist unten eingespannt und oben gelenkig gehalten, beispielsweise eine Mauerwerkswand im Geschossbau durch eine Deckenplatte.

und

Eulerfall 4, der für den Querschnitt günstigste; die Wand ist oben und unten eingespannt. Sie kann nur noch in der Mitte etwas beulen, z.B. ein Massivbau aus Stahlbeton, die mit einer Stahlbetondecke biegesteif verbunden ist.“

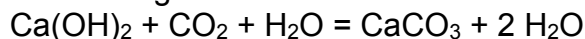
Betonschäden

Risse im Stahlbeton

In dem inhomogenen Komponentenbaustoff Beton existieren feine Risse schon von der Herstellung an, die u.a. aus der Kontraktion des Zementsteins bei Abgabe von Überschusswasser herrühren. Diese feinen, in den ersten Stunden der Erhärtung entstehenden Risse, sind kaum erkennbar, und kein Mangel oder gar Schaden, sofern ihre Breite unter 0,3 mm bleibt. Thermische oder mechanische Spannungen im Bauteil können aber an diesen Mikrorissen ansetzen und sie zu Makrorissen vergrößern. Da es im Verbundbaustoff Stahlbeton eine gewisse Dehnung braucht, bis die zur Aufnahme von Zugspannungen eingebaute Bewehrung in der Lage ist diese Spannungen alleine aufzunehmen, sind Risse aus lastbedingter Verformung nicht völlig zu vermeiden. Bei der statischen Berechnung von Stahlbetonbauteilen wird vorausgesetzt, dass im so genannten Zustand II der Beton in der Zugzone gerissen ist.

Betonkorrosion oder Karbonatisierung

Unter Einfluss des Kohlendioxids bauen sich die basischen Anteile im Stahlbeton ab. Dadurch verliert der Beton seine korrosionsschützende Funktion gegenüber dem Bewehrungsstahl.



Dasselbe geschieht beim Angriff von Säuren und Chloride (Tausalz).

Betontreiben

Durch Alkali oder Sulfate ändert sich das Volumen der reagierenden Bestandteile des Betons. Es kommt zu Sprengung des Gefüges

Korrosion der Bewehrung

Bei der Reaktion von Stahl mit Luft und Wasser vergrößert sich das Volumen um das Siebenfache. Diese führt zu Abplatzung, die weiterer Korrosion Vorschub leisten. Der Querschnitt der Bewehrung verringert sich, bis das notwendige Minimum unterschritten ist und das Tragwerk versagt.



Schadensbild



Sanierung