

profilsager ag: Abschalungselement

Technische Dokumentation



Prof. Dr. Simon Zweidler

Professor für Strukturmechanik

Beat Häfeli, Versuchs- und Entwicklungsingenieur,
Maschinenbauingenieur BSc.

Emanuel Amer, wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Bauingenieur MSc.

Muttenz, 02. April 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Bezeichnungen	4
3	Aufbau	5
4	Anwendung	6
5	Tragwirkung	6
6	Theorie	10
7	Bemessung	11
8	Normen	13
9	Literatur	17

1 Einleitung

Größere Stahlbetonelemente wie Decken können nur selten in einem einzigen Arbeitsgang betoniert werden. Die Etappierung erfordert aus baupraktischen wie auch wirtschaftlichen Gründen sogenannte Arbeitsfugen. Häufig ist die Tagesleistung des Betonierens die limitierende Grösse, was eine Etappierung mittels Arbeitsfugen notwendig macht. Weiter kann durch das temporäre Offenlassen von sogenannten Schwindgassen zwischen einzelnen Bauetappen in bestimmten Situationen eine Rissminderung erreicht werden. Aus wirtschaftlichen Gründen können sich zudem Betonieretappen lohnen, um kleinere Mengen an Schalungselementen vorhalten zu müssen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung von Arbeitsfugen, wobei zwischen verlorenen und normalen Abschalungen unterschieden wird. Verlorene Schalungen verbleiben nach dem Betonieren im Bauteil und werden nicht mehr entfernt. Dabei können unterschiedliche Materialien bzw. Elemente zum Einsatz kommen. Sie werden in der Regel als Etappenschalungen eingesetzt, wobei die Durchdringung der Längsarmierung durch das Schalungselement ermöglicht sein soll. Das Element hat analog zu normalen Schalungselementen während des Betonierens dem Betonierdruck standzuhalten.

Entwicklungsziele: Das Hauptziel der Entwicklung des neuen Abschalungselements besteht in der Konzeption eines Bauteils, dass kein Defizit im Querkraftwiderstand von Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung hervorruft. Die Referenzgrösse ist demnach der Querkraftwiderstand des reinen Betons einer durchbetonierten Stahlbetonplatte. Dies soll mittels minimaler Querkraftbewehrung in Form einer Wellenbewehrung im Abschalungselement erreicht werden. Durch eine optimale Auslegung der Bewehrung und der kombinierten Tragwirkung von Querkraftbewehrung und Rissverzahnung wird durch den Einbau des Abschalungselements der Querkraftwiderstand lokal erhöht.

Bei der Entwicklung des Abschalungselements sind zudem weitere Faktoren für das Erreichen eines erfolgreichen Produktes massgebend:

- **Benutzerfreundlichkeit beim Einbau:** Das Abschalungselement sollte einfach auf der Deckenschalung zu montieren sein, die Eisendurchdringung sollte problemlos funktionieren und es sollte keine komplizierten Anweisungen erfordern.
- **Transparente Tragweise:** Darüber hinaus muss die Tragweise des Elementes klar kommunizierbar sein. Bauingenieurinnen und Bauingenieure sollen alleinig anhand der Geometrie der verschiedenen Elemente die Tragweise eindeutig identifizieren und zuordnen können. Die aus Grossversuchen gewonnenen Ergebnisse sollen die beabsichtigten Auslegungsziele untermauern. Die im Abschalungselement verbaute Querkraftbewehrung soll die durch das Element verursachte Minderung des Querkraftwiderstands beheben.
- **Dauerhaftigkeit:** Das entwickelte Abschalungselement verbleibt nach dem Betonieren als verlorene Schalung in der Stahlbetonplatte. Daher muss eine entsprechende Dauerhaftigkeit des Elementes gewährleistet werden können.
- **Wettbewerbsfähigkeit:** es ist eine wettbewerbsfähige Entwicklung des Abschalungselementes anzustreben. Die monetäre Entgeltung darf aufgrund der Vorteile leicht höher sein als bei Konkurrenzprodukten sein.

Hinweis und Abgrenzung: diese technische Dokumentation ist an planende Bauingenieurinnen und Bauingenieure des konstruktiven Ingenieurbaus gerichtet. Die hier dargestellten Unterlagen beziehen sich ausschliesslich auf die aufgeführten Normenwerke. Bei Neuveröffentlichungen oder Änderungen der Normen ist eine Überprüfung der Inhalte zu empfehlen.

2 Bezeichnungen

Lateinische Grossbuchstaben

$A_{sw,min}$	erforderliche Stahlfläche der Wellenbewehrung pro Laufmeter.
$A_{sw,vor}$	vorhandene Stahlfläche der Wellenbewehrung pro Laufmeter.
D	Druckkraft der Biegedruckzone.
F_1	aufgebrachte Last vor dem Auftreten von Schubrisen.
F_2	aufgebrachte Last nach dem Querkraftversagen der rein verzahnten Prüfkörpern.
F_3	Referenzlast nach dem Querkraftversagen der durchbetonierten Prüfkörper.
F_4	aufgebrachte Last nach dem Querkraftversagen der mit einer Wellenbewehrung verstärkten und verzahnten Prüfkörper.
F_c	Betontraganteil des verzahnten Schubrisen.
M_1	Biegemoment vor dem Auftreten von Schubrisen.
M_2	Biegemoment nach dem Querkraftversagen der rein verzahnten Prüfkörpern.
V_u	Traglast der Prüfkörper.
Z	Zugkraft im Betonstahl.

Lateinische Kleinbuchstaben

a	horizontaler Stababstand der Wellenbewehrung.
b_w	Breite des Plattenstreifens (1m).
c	durch das Abschalungselement gegebene Bewehrungsüberdeckung.
d	Bewehrungsdurchmesser.
d_v	wirksame statische Höhe.
f_{ck}	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit.
f_{ctm}	Mittelwert der Betonzugfestigkeit.
f_{sd}	Bemessungswert der Fließgrenze von Betonstahl.
$f_{sk} > f_{yk}$	charakteristischer Wert der Fließgrenze von Betonstahl.
h	Plattenhöhe.
s	Länge des Schnittkörpers.
z	Hebelarm der inneren Kräfte.

Griechische Buchstaben

θ_{min}	minimale Neigung der Druckstrebe.
$\rho_{w,min}$	minimaler geometrischer Querkraftbewehrungsgehalt.
τ_c	Schubspannung im umgerissenen Beton.
τ_{cr}	Schubspannung im gerissenen Beton.

3 Aufbau

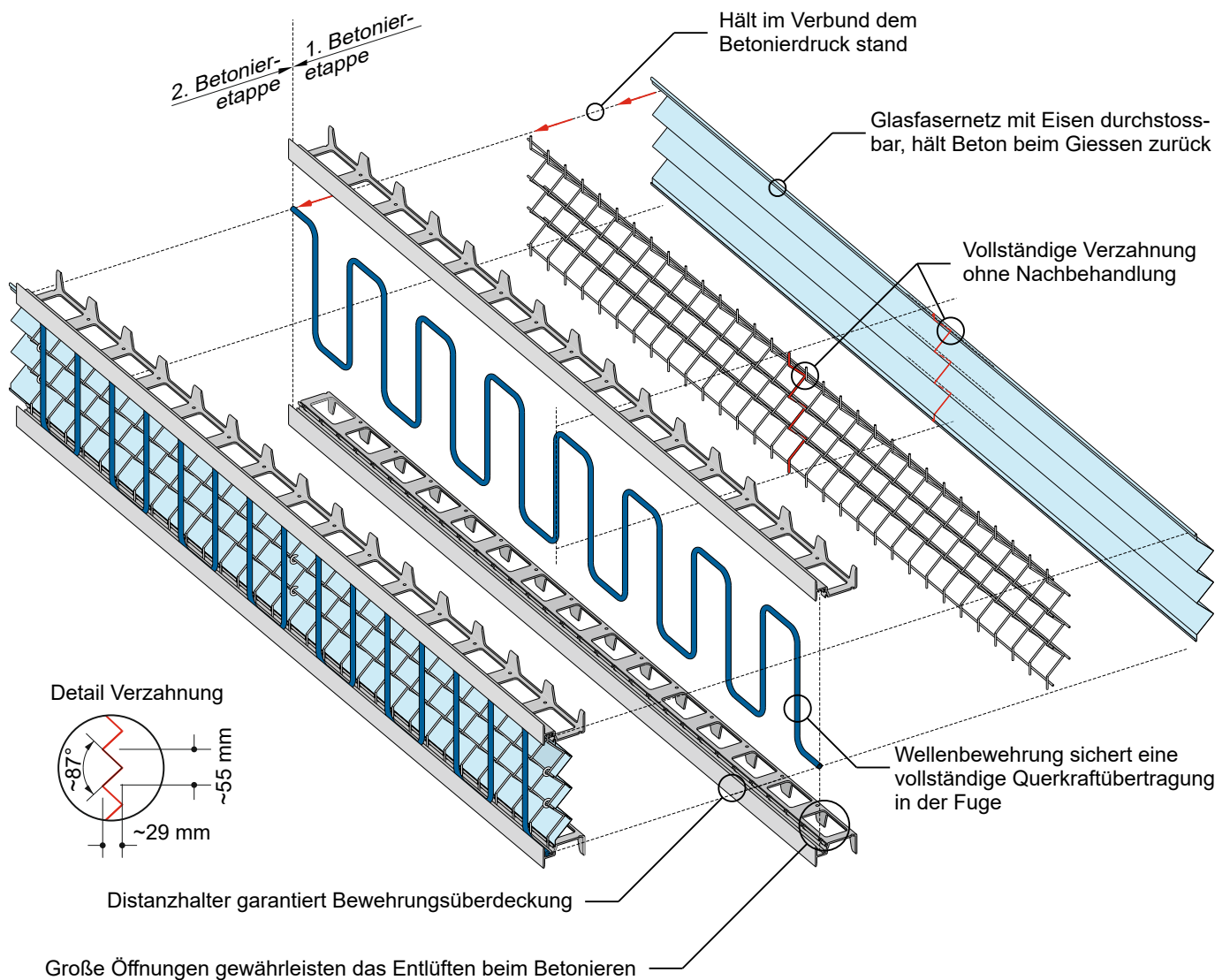


Bild 1: Abschalungselement: in axonometrischer Darstellung; Darstellung der Bauteile in Explosionsdarstellung.

Bemerkungen:

- Mit der Wellenbewehrung ist in der Arbeitsfuge die Querkrafttragfähigkeit gewährleistet. Dies ist durch Versuche experimentell bestätigt, siehe Versuchsbericht [10].
- Kein lokal sprödes Querkraftversagen in Bereich der Arbeitsfuge durch Einhaltung der Mindestquerkraftbewehrung.
- Bewehrungsüberdeckung ist mit 3 cm gewährleistet.
- Einfaches und effizientes Schalen.
- Keine Nachbehandlung der Arbeitsfuge erforderlich, um eine nach den Normenwerken geforderte raue oder verzahnte Fuge zu erhalten, siehe beispielsweise SIA 262 Abs. 6.4.4.2.
- Verzahnung mit einer Tiefe von ungefähr 3 cm wird durch die Gittergeometrie sichergestellt.
- Effiziente Arbeitsweise, weil kein Ausschalen notwendig ist.

4 Anwendung

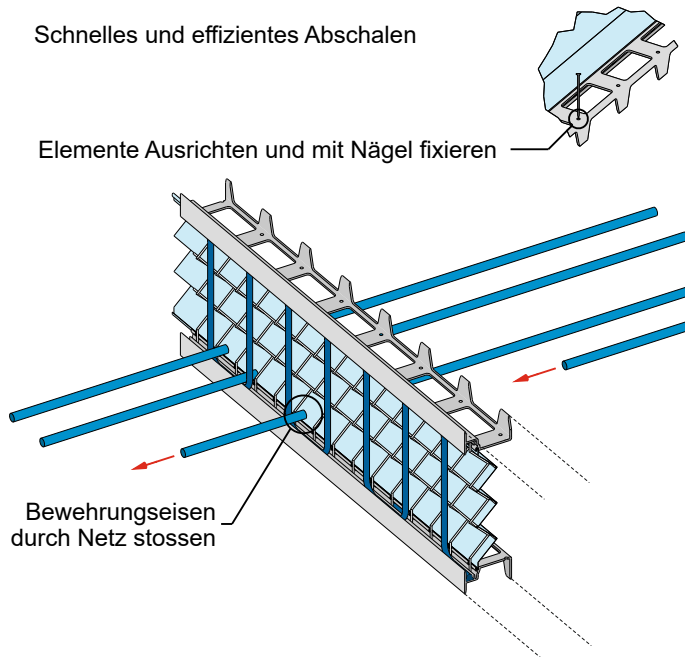


Bild 2: Abschalungselement: Verlegen.

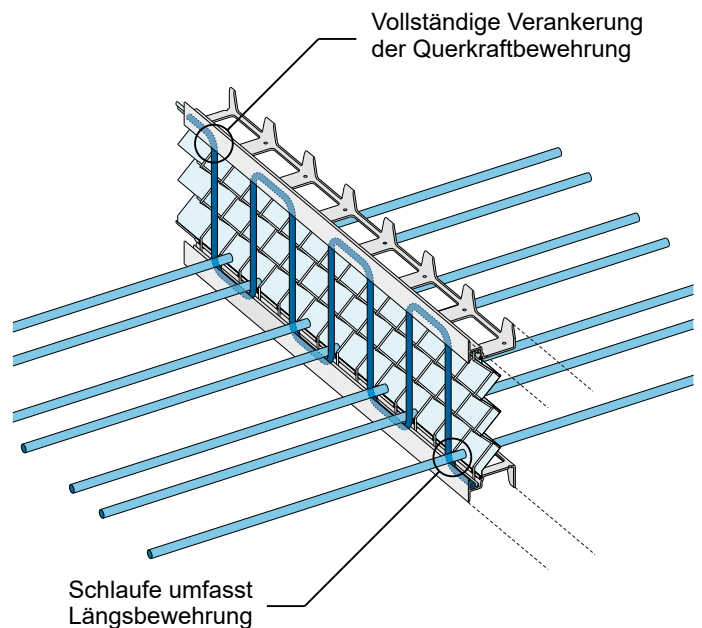


Bild 3: Abschalungselement: Vorzüge der Schlaufenbewehrung.

1. Etappierung auf Deckenschalung anzeichnen.
2. Elemente Ausrichten und aufnageln (Hinweis: rostfreie Nägel verwenden).
3. Elemente mit Schalungswinkeln stabilisieren und vertikal ausrichten. Alternativ kann das Element auch nachträglich mit Bewehrungsseisen quer zur unteren und oberen Lage stabilisiert werden.
4. Längsbewehrung durch Glasfasernetz stossen.

Die wellenförmige Geometrie der Querkraftbewehrung gewährleistet eine vollständige Verankerung.

Die Querkraftbewehrung umfasst zudem die Längsbewehrung, womit das Ausbilden eines Fachwerkknotens ermöglicht wird.

5 Tragwirkung

Grundsätzlich sind Arbeitsfugen nach deren geometrischen Anordnung und der damit verbundenen Beanspruchung einzuteilen: entweder tritt die Beanspruchung in Form von Längsschub (bspw. Überbeton bei vorfabrizierten T-Trägern) oder in Form von Schub quer zur Fuge (klassische Arbeitsfuge bei Betonieretappen) auf. Im ersten Fall lässt sich gemäss den verschiedenen Normen die zulässige Schubfestigkeit der Fuge auf einem der Schubreibungstheorie basierenden Ansatzes ermitteln. Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen mit Fugen rechtwinklig zur Systemachse wirkt die Fuge jedoch wie ein Biegeriss, wo der genannte Ansatz nicht anwendbar ist [9].

Bei rechtwinklig zur Systemachse angeordneten Arbeitsfugen stellt die künstlich erzeugte Verzahnung einen geringeren Verbund und damit eine Schwächung der Tragstruktur dar. Durch den reduzierten Querkraftwiderstand werden im Bereich der Arbeitsfuge bereits vor Erreichen des Referenzwiderstandes Schubrisse entstehen, die zu einem vorzeitigen, spröden und damit schlagartigem Versagen führen.

Die im Abschalungselement in den Bilder 1-3 integrierte Querkraftbewehrung in Form einer Wellenbewehrung sowie die durch die Gittergeometrie erzeugte Verzahnung vermögen nach dem Übergang vom ungerissenen in den gerissenen Zustand gemeinsam ein Fachwerk auszubilden. Dabei wirkt die Wellenbewehrung als Zugvertikale, während die Druckdiagonalen sich über die verzahnte Arbeitsfuge abstützen können; siehe hierzu die Illustrationen auf der linken Seite in Bild 4 vor und nach Erreichen der Last F2.

Nach der Schubrissbildung stellt sich nebst dem klassischen Fachwerkmodell mit der Modellvorstellung der Rissverzahnung entlang des Schubrisses eine weitere Tragwirkung ein. Über die Rissufer kann je nach Schubrissöffnung eine zusätzliche Querkraft abgetragen werden, wie dies in Bild 4 auf der rechten Seite dargestellt ist. Dank dieser kombinierten Tragwirkung aus Fachwerkmodell und Rissverzahnung liegt die Querkrafttragfähigkeit im Bereich der Arbeitsfuge über derjenigen ausserhalb der Fuge und damit der Referenzgrösse des Betons ohne Querkraftbewehrung.

In den aktuell gültigen Normenwerken erfolgt die Auslegung der Mindestquerkraftbewehrung ohne Berücksichtigung der Rissverzahnung auf Basis der Modellvorstellung reibungsfreier Rissufer [7]. Dabei muss die durch den Beton getragene, und während des schlagartig auftretenden Schubrisses sofort freigesetzte Querkraft nun durch die Querkraftbewehrung übernommen und abgetragen werden. Der entsprechende Schnittkörper in Bild 4 bildet die Grundlage für die Herleitung der erforderlichen Mindestquerkraftbewehrung. Die vorhandene Mindestquerkraftbewehrung kann somit die durch den Beton freigesetzte Querkraft abfangen; damit ist ein schlagartiges, lokales Versagen verhindert.

Die Erläuterungen und schematischen Darstellungen in Bild 4 basieren auf einer experimentellen Versuchsreihe des Baulabors der Fachhochschule Nordwestschweiz [10]. Bild 5 vergleicht die Resultate folgender drei Versuchsreihen:

- Prüfkörper, durchgehend betoniert (hellrote Darstellung).
- Prüfkörper, mit Abschalungselement ohne Wellenbewehrung (grüne Darstellung).
- Prüfkörper, mit Abschalungselement und integrierter Wellenbewehrung (blaue Darstellung).

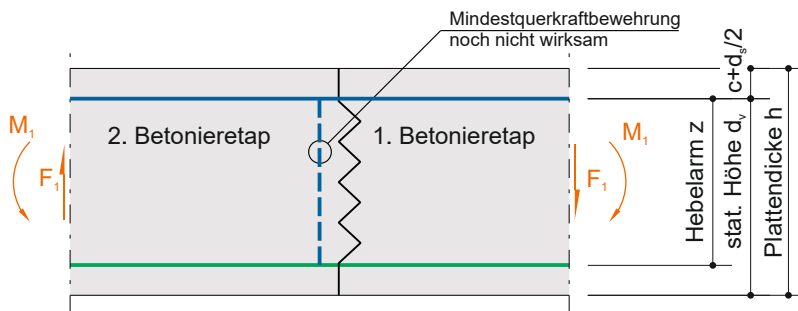
Die durchgehend betonierten Prüfkörper dienen als Referenzgrösse. Der aus den Versuchen ermittelte Querkraftwiderstand bestätigt den im Voraus erstellte Prognosewert des Querkraftwiderstandes ohne Querkraftbewehrung gemäss den etablierten Modellvorstellungen. Im Vergleich dazu liegen die Resultate der Prüfkörper nur mit Abschalungselement signifikant tiefer, siehe in Bild 5 die in grün dargestellten Resultate. Die mit dem Abschalungselement künstlich erzeugte Verzahnung führt damit zu einer leichten Verminderung des Querkraftwiderstandes.

Der experimentell bestimmte Querkraftwiderstand der Prüfkörper mit integrierter Wellenbewehrung liegt dahingegen deutlich höher als der Referenzwert. Beim Erreichen des Wertes des Querkraftwiderstandes des reinen Betons wird mit dem Ausbilden des Schubrisses die Wellenbewehrung aktiviert. Diese bewerkstelligt, dass die Querkraft über die zwei beschriebenen Tragwirkungen abgetragen werden kann. Die Weiterführung der Laststeigerung führt letztendlich zum Ausbilden eines weiteren Schubrisses, der jedoch ausserhalb des Abschalungselements liegt.

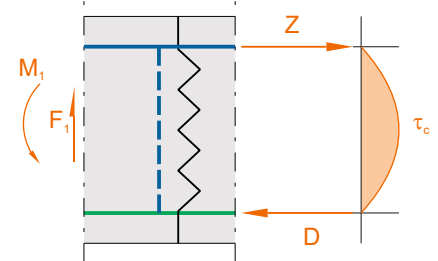
Beobachtbares Tragverhalten bei monotoner Laststeigerung

Modellvorstellungen Querkrafttragverhalten

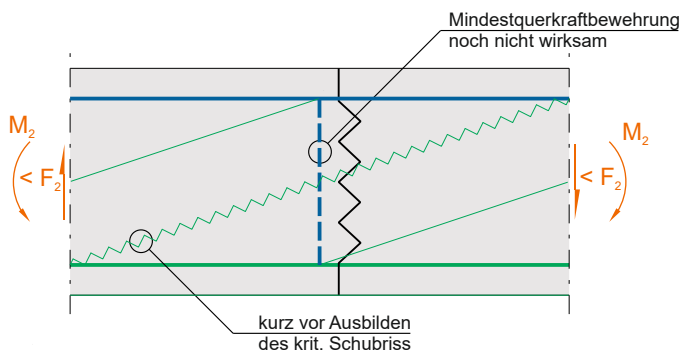
① Laststufe 1



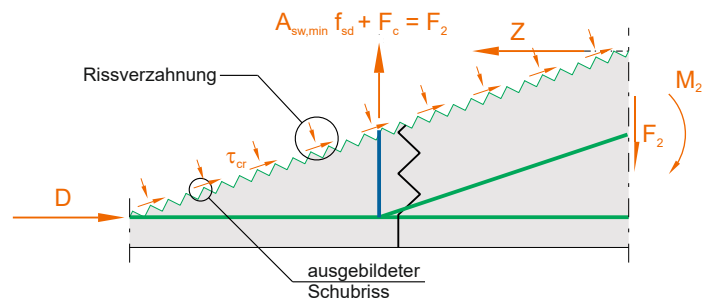
Schubspannungsverlauf des ungerissenen Querschnitts



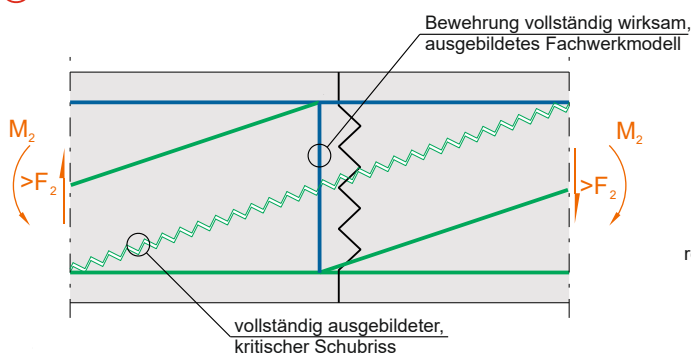
② Laststufe kurz vor Erreichen von F₂



Modellvorstellung unter Berücksichtigung der Rissverzahnung



② Laststufe nach Erreichen von F₂



Modellvorstellung reibungsfreier Risse

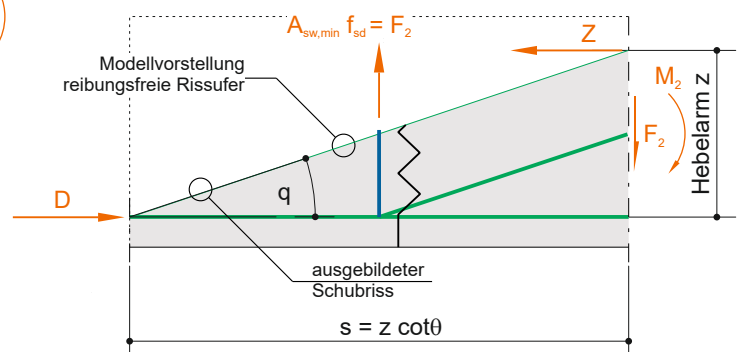
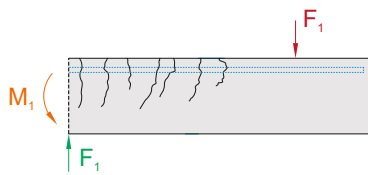
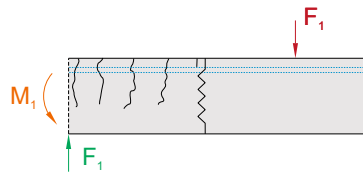


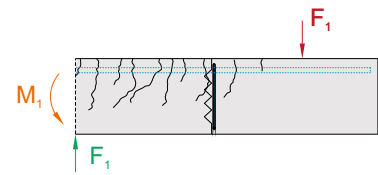
Bild 4: Querkrafttragverhalten: Tragwirkung und Modellvorstellungen.



Abschalung mit Drahtgitter und Glasfasernetz: in zwei Etappen betoniert.

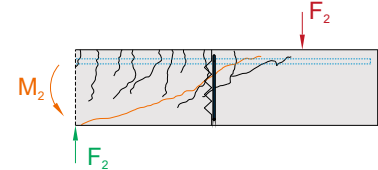
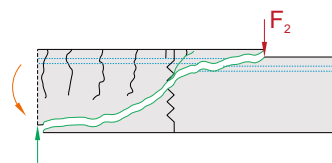
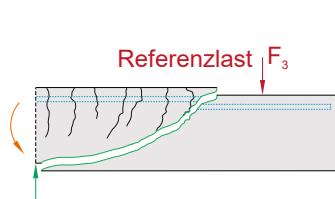


Abschalung mit Wellenbewehrung,
Drahtgitter und Glasfasernetz:
in zwei Etappen betoniert.



- ② ————— Sprödes Querkraftversagen,
③ — Referenzwert: Sprödes leichter Abfall der Traglast.
Querkraftversagen,

Schubbrissbildung bei Referenzlast,
Umlagerung in ein Fachwerkmodell.
Last kann über Wellenbewehrung
und Rissverzahnung gehalten werden



- ④ Last kann über die Rissverzahnung und Querkraftbewehrung gesteigert werden, bis sich ein zweiter Schubriss ausserhalb des Elementes öffnet.

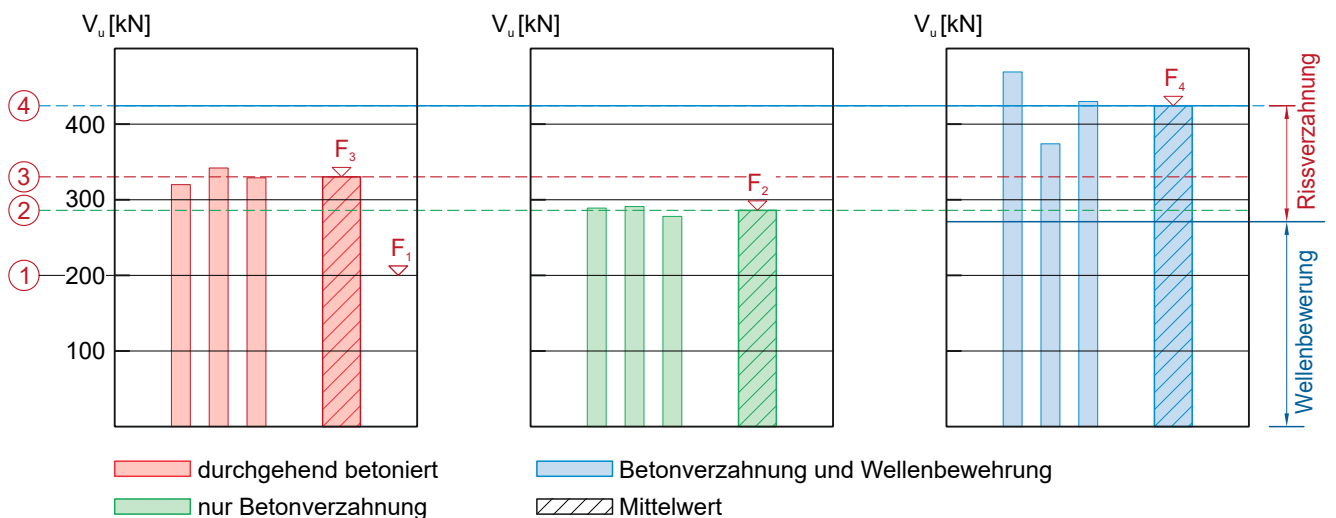
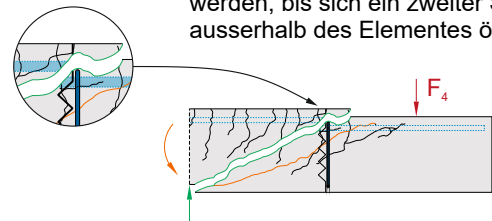
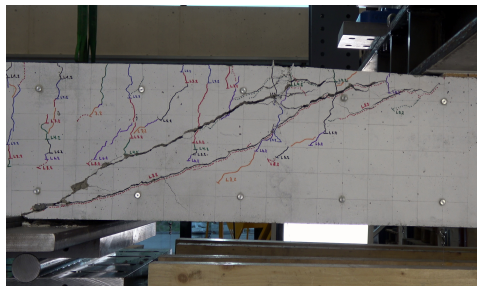


Bild 5: Darstellung der experimentellen Versuchsergebnisse: durchgehend betoniert (rot), Abschalungselement nur Betonverzahnung (grün), Abschalungselement mit Betonverzahnung und Schlaufenbewehrung (blau).

6 Theorie

Die Herleitung der in Tabelle 1 aufgeführten Mindestquerkraftbewehrungsgehalte erfolgt auf Basis der in Bild 4 rechts unten illustrierten Modellvorstellung mit reibungsfreien Rissufern [7]. Aus dem dargestellten Schnittkörperdiagramm und der jeweiligen Norm zugrundeliegenden Querkraftbemessung des reinen Betonwiderstandes ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Mindestbewehrungsgehalte. Die zugrunde gelegte, minimale Druckstrebenneigung ist in der Herleitung jeweils implizit berücksichtigt.

		SIA 262	EC 2	DIN 1045-1
geom. Bewehrungsgehalt Mindestquerkraftbew.	$\rho_{w,min}$	$0.001 \sqrt{\frac{f_{ck}}{30}} \frac{500}{f_{sk}}$	$0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$	$0.16 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$
min. Neigung Druckstrebe	θ_{min}	21.8°		18.4°
Trigonometrische Beziehung	$\cot \theta_{min}$	2.5		3.0
Innerer Hebelarm	z	$0.9d_v$		
Länge des Schnittkörpers	s	$2.25d_v$		$2.70d_v$

Tabelle 1: Mindestquerkraftbewehrungsgehalt gemäss den verschiedenen Normierungen.

Aus dem in Bild 4 dargestellten Schnittkörperdiagramm lässt sich mit Hilfe des jeweiligen Mindestquerkraftbewehrungsgehaltes die erforderliche Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung gemäss der folgenden Beziehung ermitteln:

$$A_{sw,min} = \rho_w \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d_v \cdot \cot \theta \quad (1)$$

Dabei stehen die Variablen für folgende Grössen:

$A_{sw,min}$	erforderliche Stahlfläche der Wellenbewehrung pro Laufmeter.
ρ_w	Mindestquerkraftbewehrungsgehalt gemäss Tabelle 1.
b_w	Breite des Plattenstreifens ($b_w = 1\text{m}$).
d_v	statische Höhe.
$z = 0.9 \cdot d_v$	innerer Hebelarm.
$s = 0.9 \cdot d_v \cdot \cot \theta$	Länge des Schnittkörpers.

7 Bemessung

Für die Bemessung des Abschalungselements ist die für die Stahlbetonplatte geplante Betonsorte in der Berechnung des Mindestquerkraftbewehrungsgehaltes gemäss Tabelle 1 zu berücksichtigen. In Tabelle 2 ist für die Bandbreite der üblich verfügbaren Betonsorten die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit sowie die mittlere Zugfestigkeit aufgeführt. Die mittlere Zugfestigkeit lässt sich dabei mit folgender Beziehung aus der charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit ermitteln:

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad f_{ck} \text{ in der Einheit [N/mm}^2\text{]} \quad (2)$$

	Betonsorte C	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
charakt. Zylinderdruckfestigkeit	f_{ck} [N/mm ²]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm} [N/mm ²]	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1

Tabelle 2: Betonsorten: charakteristische Zylinderdruckfestigkeit und mittlere Zugfestigkeit.

Die vorhandene Wellenbewehrung wird in den Durchmessern d = 8 mm, 10 mm und 12 mm angeboten. Der Abstand zwischen zwei vertikalen Eisen beträgt 100 mm. Daraus ergeben sich die vorhandenen Bewehrungsflächen gemäss Tabelle 3.

	As pro Eisen	a	As pro LM
Wellenbewehrung d = 8mm	50.3mm ² /Eisen	100mm	503mm ² /m
Wellenbewehrung d = 10mm	78.5mm ² /Eisen	100mm	785mm ² /m
Wellenbewehrung d = 12mm	113.1mm ² /Eisen	100mm	1131mm ² /m

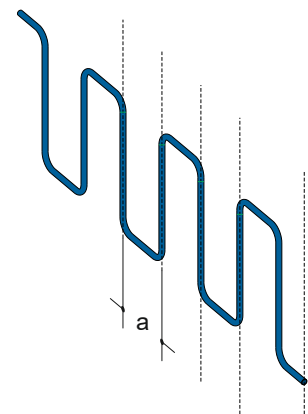


Tabelle 3: Schlaufenbewehrung: Zusammenstellung der Bewehrungsflächen.

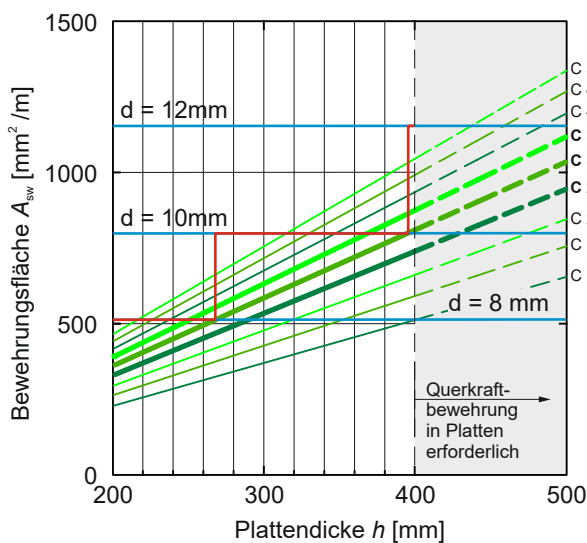
Die erforderliche Querschnittsfläche der Mindestquerkraftbewehrung gemäss der Beziehung (1) muss durch die vorhandene Querschnittsfläche gemäss Tabelle 3 abgedeckt werden können. Bild 6 stellt die Bemessungsdiagramme für die zugrundeliegenden Normenwerke dar. Die mit Fokus auf Stahlbetonplatten vorwiegend zum Einsatz kommenden Betonsorten (C25/30, C30/37 und C35/45) werden mit fetter Linienstärke in grüner Farbe herausgehoben. Die abhängig von der Betonsorte erforderliche Bewehrungsquerschnittsfläche nimmt proportional zur Plattendicke h zu. Für dicke Platten (h > 40 cm) ist unabhängig vom Vorhandensein von Arbeitsfugen das Einlegen einer Querkraftbewehrung angezeigt, siehe Norm SIA 262, 4.3.3.1.2. In dicken Platten ist bei vorhandener Querkraftbewehrung keine zusätzliche Wellenbewehrung erforderlich; diese hat damit hier nur noch die Funktion einer konstruktiven Bewehrung.

Die Bemessungsdiagramme sind wie folgt zu lesen: beispielsweise für die Betonsorte C35/45 ergibt sich mit der Querschnittsfläche der vorhandenen Wellenbewehrungen gemäss Tabelle 3 die rot abgestufte Treppenlinie, womit die Bemessung abhängig der Plattendicke gegeben ist und die Tragsicherheit erfüllt ist.

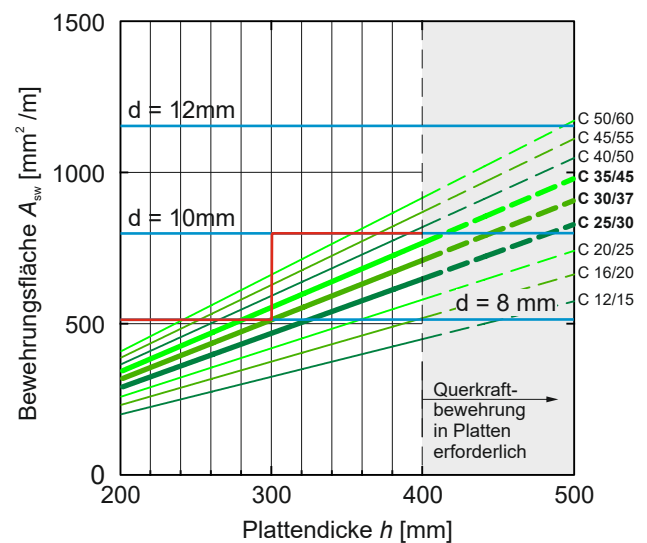
Die Ermittlung der erforderlichen Mindestquerkraftbewehrung wird in den genannten Normenwerken anhand von Balkenkonstruktionen vorgenommen und für Platten in gleichem Betrag übernommen.

Ausnahme EC 2 NA Deutschland: Ausnahme stellt hier die Bemessung in Deutschland nach EC 2 unter Beizug des Nationalen Anhangs von Deutschland dar. Für Platten mit Verhältnis $b/h > 5$ ist der 0.6-fache Wert der Mindestbewehrung von Balken gemäss Tabelle 1 erforderlich. Dies macht sich in Bild 6 im Bemessungsdiagramm unten rechts bemerkbar.

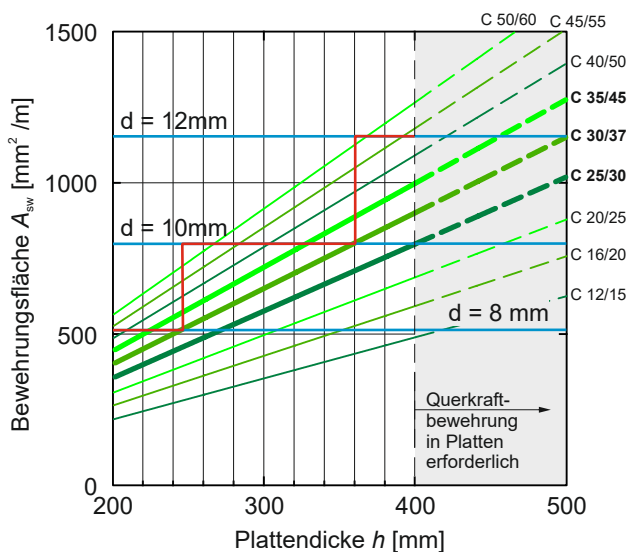
SIA 262



Eurocode 2



EC 2, nat. Anh. Deutschland bzw. ehemals DIN 1045-1 (Balken)



EC 2, nat. Anh. Deutschland bzw. ehemals DIN 1045-1 (Platten)

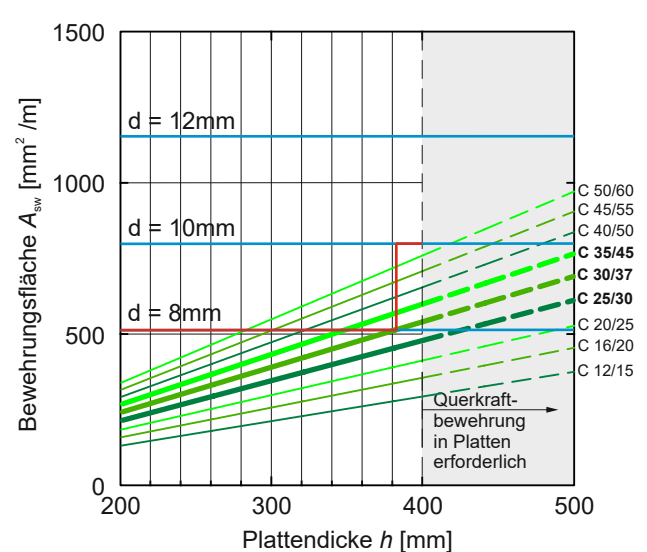


Bild 6: Bemessungsdiagramme: SIA 262, EC 2, EC 2, nationaler Anhang für Deutschland (Balken und Platten).

8 Normen

SIA 262:2013

Abschnitt

Text

4

Tragwerksanalyse und Bemessung

4.3.3

Querkraft

4.3.3.1.2

Das Einlegen einer Querkraftbewehrung ist insbesondere für folgende Bauteile angezeigt:

- Dicke Platten und Schalen
- Bauteile, die bedeutenden aufgezungenen Verformungen ausgesetzt sind
- Bauteile, die Einwirkungen ausgesetzt sind, die nur ungenügend genau quantifizierbar sind.

4.3.3.1.3

Auf die Anordnung einer Querkraftbewehrung darf verzichtet werden bei Bauteilen mit für die Tragsicherheit vernachlässigbarer Bedeutung oder bei dünnen Platten, sofern ein ausreichender Querkraftwiderstand gemäss den Ziffern 4.3.3.2 ff. gewährleistet ist.

5

Konstruktive Durchbildung

5.5.2

Balken und Plattenbalken

5.5.2.2

In Balken sind stets Bügel anzuordnen, deren Bewehrungsgehalt:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w} \geq 0.001 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{30}} \cdot \frac{500}{f_{sk}} \quad (110)$$

und deren gegenseitiger Abstand $25 \varnothing_{sw}$ nicht übersteigen soll. Bei breiten Stegen darf die Stegbreite b_w mit maximal 400 mm in Rechnung gestellt werden.

5.5.3

Platten

5.5.3.4

Falls eine Querkraftbewehrung angeordnet wird, hat der Bewehrungsgehalt die Bedingung nach Gl. (110) zu erfüllen.

6

Ausführung

6.4.4

Betonierprogramm und Arbeitsfugen

6.4.4.2

Falls Arbeitsfugen nicht zu vermeiden sind, müssen diese an genau bezeichneten Stellen, rechtwinklig zur Richtung der Druckbeanspruchung angeordnet werden. Die Anschlussflächen sollen rau gehalten werden, indem sie durch spezielle Behandlung der Oberfläche als Waschbeton ausgebildet oder aufgeraut werden. In speziellen Fällen kann eine Verzahnung der Anschlussflächen vorgesehen werden.

6**NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT (GZT)**

6.2

Querkraft

6.2.1 (4)

Auch wenn auf Grundlage der Bemessung keine Querkraftbewehrung erforderlich ist, ist in der Regel gemäß 9.2.2 dennoch eine Mindestquerkraftbewehrung vorzusehen. Auf die Mindestquerkraftbewehrung darf bei Bauteilen wie Platten (Voll-, Rippen- oder Hohlplatten) verzichtet werden, in denen eine Umlagerung der Lasten in Querrichtung möglich ist. Auf eine Mindestquerkraftbewehrung darf auch verzichtet werden in Bauteilen von untergeordneter Bedeutung (z. B. bei Stürzen mit Spannweiten ≤ 2 m), die nicht wesentlich zur Gesamttragfähigkeit und Gesamtstabilität des Tragwerks beitragen.

6.2.1 (5)

In Querschnitten mit $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ gemäß Gleichung (6.2) ist in der Regel eine Querkraftbewehrung vorzusehen, die $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ erfüllt (siehe Gleichung (6.8)).

6.2.3 (2)

Der Winkel θ ist in der Regel zu begrenzen.

ANMERKUNG Der landesspezifische Wert für $\cot \theta$ darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Die empfohlenen Grenzwerte sind in Gleichung (6.7N) angegeben.

$$1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5 \quad (6.7N)$$

9**KONSTRUKTIONSREGELN**

9.2

Balken

9.2.2 (5)

Der Querkraftbewehrungsgrad ergibt sich aus Gleichung (9.4):

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)) \quad (9.4)$$

ρ_w der Bewehrungsgrad der Querkraftbewehrung;

ρ_w hat in der Regel nicht kleiner als $\rho_{w,min}$ zu sein;

A_{sw} Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung je Länge s ;

s der Abstand der Querkraftbewehrung gemessen entlang der Balkenachse;

b_w die Stegbreite des Bauteils;

α der Winkel zwischen Querkraftbewehrung und der Balkenachse (siehe 9.2.2. (1)).

ANMERKUNG Der landesspezifische Wert von $\rho_{w,min}$ für Balken darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Der empfohlene Wert ist in der Gleichung (9.5N) angegeben.

$$\rho_{w,min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (9.5N)$$

9.3

Vollplatten

9.3.2 (1)

Eine Platte mit Querkraftbewehrung hat in der Regel eine Dicke von mindestens 200 mm aufzuweisen

9.3.2 (2)

Für die bauliche Durchbildung der Querkraftbewehrung sollten der Mindestwert und die Definition des Bewehrungsgrades nach 9.2.2 gelten, außer sie werden wie folgt modifiziert.

Abschnitt

Text

§ 6.2.3 (2)

Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

Originaltext:

(2) Der Winkel θ ist in der Regel zu begrenzen.

ANMERKUNG Der landesspezifische Wert für $\cot \theta$ darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Die empfohlenen Grenzwerte sind in Gleichung (6.7N) angegeben.

$$1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5 \quad (6.7N)$$

NPD zu Ziffer 6.2.3 (2):

Es gelten die folgenden Werte für den Parameter θ :

- $30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ für übliche Bauteile aus bewehrtem Beton
- $25^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ für vorgespannte Bauteile oder Bauteile mit einer mittleren Druckspannung von mehr als 1 MPa
- $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ für Bauteile mit Zugnormalkraft oder falls grosse plastische Verformungen im Zuggurt zu erwarten sind.

Kommentar: Die Werte für die Druckfeldneigung (θ) des Spannungsfelds mit variabler Neigung stehen im Einklang mit der Norm SIA 262(2013).

§ 9.2.2 (5)

Querkraftbewehrung

Originaltext:

Der Querkraftbewehrungsgrad ergibt sich aus Gleichung (9.4):

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)) \quad (9.4)$$

ρ_w der Bewehrungsgrad der Querkraftbewehrung;

ρ_w hat in der Regel nicht kleiner als $\rho_{w,min}$ zu sein;

A_{sw} Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung je Länge s ;

s der Abstand der Querkraftbewehrung gemessen entlang der Balkenachse;

b_w die Stegbreite des Bauteils;

α der Winkel zwischen Querkraftbewehrung und der Balkenachse (siehe 9.2.2. (1)).

ANMERKUNG Der landesspezifische Wert von $\rho_{w,min}$ für Balken darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Der empfohlene Wert ist in der Gleichung (9.5N) angegeben.

$$\rho_{w,min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (9.5N)$$

NDP zu Ziffer 9.2.2 (5):

Es gilt der Wert $\rho_{w,min}$:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w} \geq 0.001 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{30}} \cdot \frac{500}{f_{yk}}$$

Wobei f_{ck} und f_{yk} in [MPa] einzusetzen sind.

Kommentar:

Der Wert steht im Einklang mit der Norm SIA 262(2013).

DIN EN 1992-1-1:2004/NA:2011 (Nationaler Anhang für Deutschland)

Textstelle

Text

NCI Zu 6.25

NA.6) Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen mit Fugen rechtwinklig zur Systemachse wirkt die Fuge wie ein Biegeriss. In diesem Fall sind die Fugen rau oder verzahnt auszuführen. Der Nachweis sollte deshalb entsprechend 6.2.2 und 6.2.3 geführt werden. Dabei sollte sowohl $V_{Rd,c}$ nach Gleichung (6.2) als auch $V_{Rd,cc}$ nach Gleichung (NA.6.7b) als auch $V_{Rd,max}$ nach Gleichung (6.9) bzw. Gleichung (6.14) im Verhältnis $c / 0.5$ abgemindert werden. Bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung ist die Abminderung mindestens bis zum Abstand von $l_e = 0.5 \cdot \cot \theta \cdot d$ beiderseits der Fuge vorzunehmen.

NDP Zu 9.2.2 (5)

Allgemein:

$$\rho_{w,min} = 0.16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad (\text{NA 9.5a})$$

Für gegliederte Querschnitte mit vorgespanntem Zuggurt:

$$\rho_{w,min} = 0.256 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad (\text{NA.9.5b})$$

NCI Zu 9.3.2 (1)

h_{min} einer Vollplatte:

- mit Querkraftbewehrung (aufgebogen): 160 mm
- mit Querkraftbewehrung (Bügel) oder Durchstanzbewehrung: 200 mm

NCI Zu 9.3.2 (2)

- bei $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ mit $b / h > 5$ ist keine Mindestbewehrung für Querkraft erforderlich.
- Bauteile mit $b / h < 4$ sind als Balken zu behandeln.
- Im Bereich $5 \geq b / h \geq 4$ ist eine Mindestbewehrung erforderlich, die bei $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ zwischen dem nullfachen und dem einfachen Wert, bei $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ zwischen dem 0,6-fachen und dem einfachen Wert der erforderlichen Mindestbewehrung von Balken interpoliert werden darf.
- Bei $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ mit $b / h > 5$ ist der **0,6-fache** Wert der Mindestbewehrung von Balken erforderlich.

9 Literatur

Normen

- [1] SIA 262 (2013): Betonbau, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- [2] SN EN 1992-1-1(2004): Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] SN EN 1992-1-1 (2014): Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbeton-tragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau - Nationaler Anhang NA zu SN EN 1992-1-1:2004
- [4] DIN EN 1992-1-1 (2011): Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Deutsche Fassung EN 1992-1-1: 2004 + AC:2010, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] DIN EN 1992-1-1 (2011): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Publikationen

- [6] Bentz, E. C., Vecchio, F. J. und Collins, M. P., (2006): Simplified modified compression field theory for calculating shear strength of reinforced concrete elements, ACI Structural Journal, 103(4), S. 614-624.
- [7] Hegger, J., Görtz, St., (2002): Querkraftbemessung nach DIN 1045-1, Beton- und Stahlbetonbau, Jg. 97, Heft 9.
- [8] Vecchio, F. J. und Collins, M. P. (1986): The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear, ACI Journal, 83 (2), S. 219-231.
- [9] Zilch, K., Fingerloos, F. (2008): Schubkraftübertragung in Verbundfugen nach DIN 1045-1:2008.
- [10] Zweidler, S., Häfeli, B., Amer, E., Entwicklung eines Abschalungselements in Platten ohne Minderung des Querkraftwiderstandes, Versuchsbericht Baulabor FHNW, 2024.