

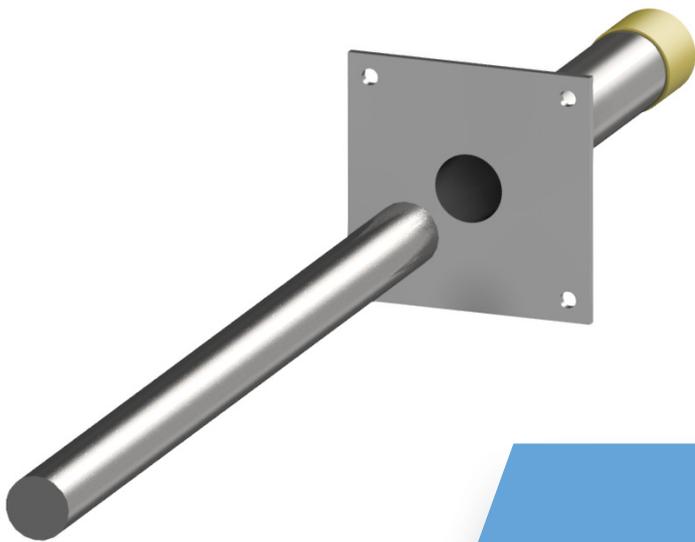
# GRAVIS

amazing strength

## GRAVIS Wissenswelt

Heft 2: Querkraftdorne

*Dr. Stefan Lips*



# Inhalt

Geschichte.....	3
Werkstoffe.....	5
Anwendungen.....	5
Bemessung bei Stahlbetonplatten.....	6
<i>Aufhängebewehrung</i> .....	7
<i>Fugenöffnung</i> .....	7
<i>Plattendicken</i> .....	8
<i>Einbindelänge</i> .....	8
<i>Gebrauchstauglichkeit</i> .....	9
Bemessung bei Stahlbetonbalken.....	9
Konstruktive Hinweise.....	10
<i>Minimale Plattendicke</i> .....	10
<i>Dornabstand bei Stahlbetondecken</i> .....	10
<i>Dornabstand bei Stahlbetonbalken</i> .....	12
Bezeichnungen.....	13
Literatur.....	13

# Geschichte

Die ersten Anwendungen von Querkraftdornen fanden sich in den Bewegungsfugen von Betonstrassen. Die Geschichte der Betonstrassen reicht dabei bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück, so wurde die erste Betonstrasse 1865 in Inverness, Schottland, gebaut. Während in Europa der Betonstrassenbau trotzdem erst um die 1930er Jahre zunahm, wurden in den USA bereits Anfang des 20. Jahrhunderts viele Kilometer Betonstrassen gebaut.

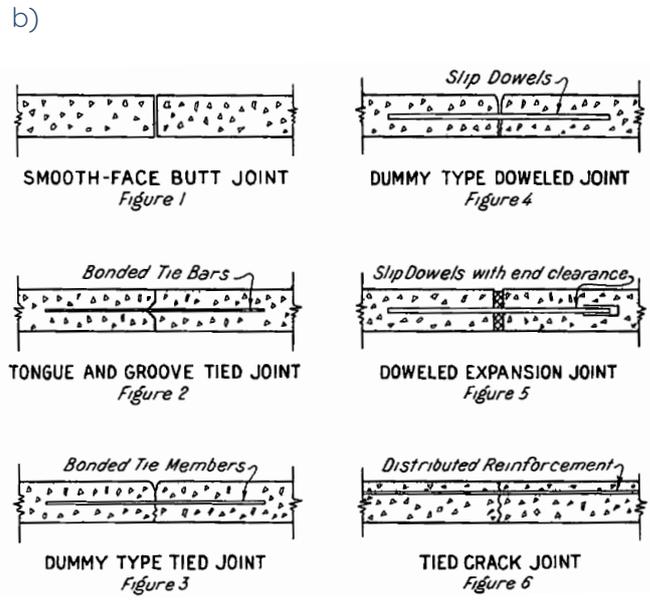
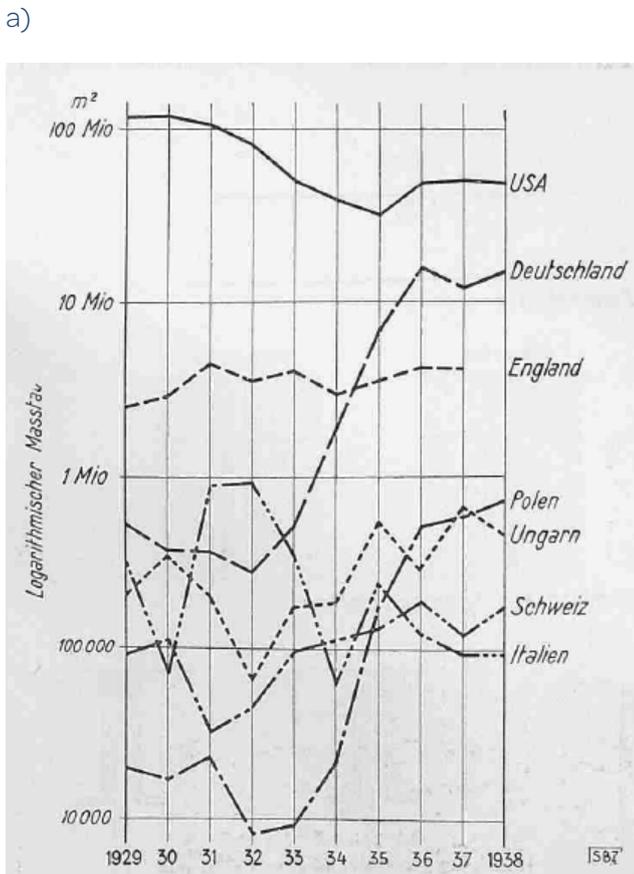


Bild 1: a) Entwicklung von Betonstrassen in den 1930iger Jahren (Schnebli, 1945) und b) Fugenausbildungen bei Betonstrassen (Bradbury, 1933)

Beim Bau von Strassen mit Betonfahrbahnplatten stellte sich auch die Frage nach der Ausbildung der Fugen für eine kontrollierte Rissbildung. 1917/18 wurden dazu in den USA erstmals Querkraftdorne zur Querkraftübertragung in den Fugen eingesetzt. In diesem Zusammenhang ist es auch nicht verwunderlich, dass in den USA auch die ersten Ansätze zur Bemessung dieser Querkraftdorne entwickelt wurden. Friberg veröffentlichte 1938 und 1940 Bemessungsgrundlagen für Querkraftdorne in Quertugen von Betonstrassen. Basierend auf der Publikation von Timoshenko und Lessels beschreibt Friberg die Spannungsverteilung und das Verformungsverhalten eines in Beton eingebetteten Querkraftdorns.

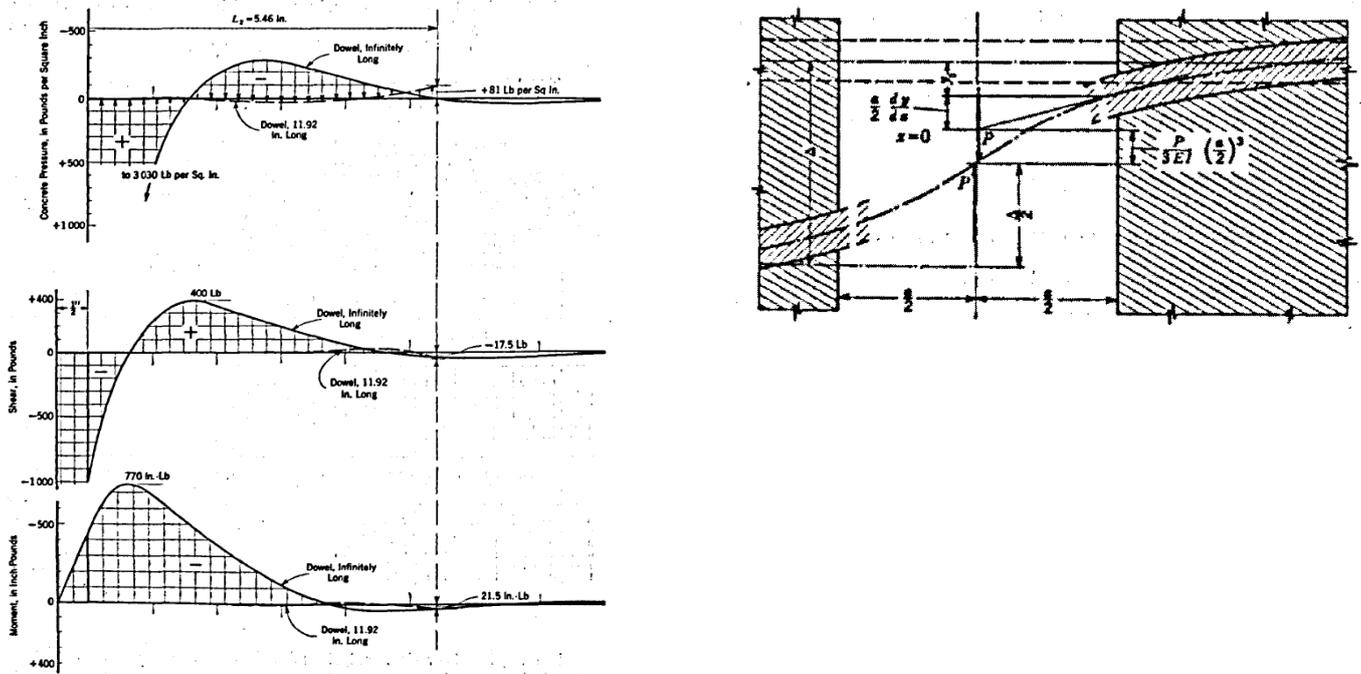


Bild 2: Schnittkraftverlauf und Verformungen entlang eines Querkraftdorns aus Friberg 1940

Eine vereinfachte Betrachtung wurde 1983 im Heft 346 des Deutschen Ausschusses für Stahlbetonbau veröffentlicht, da das Bemessungsmodell von Friberg wegen der zu ermittelnden Bettungszahl als unbefriedigend angesehen wurde. Der vorgeschlagene vereinfachte Ansatz geht von einem statischen Ersatzsystem aus, bei dem die im Beton eingebetteten Dornenden als vollständig eingespannt betrachtet werden. Der Einspannpunkt wurde in einem Abstand von 0.5 Durchmesser von der Betonkante festgelegt. Obwohl dieser Ansatz aus technischer Sicht der Arbeit von Friberg deutlich unterlegen ist, hat sich diese Formel - möglicherweise aufgrund ihrer Einfachheit - in Deutschland durchgesetzt. Fast 40 Jahre später wird trotz der Weiterentwicklung der technischen Hilfsmittel dieser vereinfachte Ansatz auch im Europäischen Bewertungsdokument bzw. Technischen Bericht für Querkraftdorne verwendet.

Neben dem Versagen des Querkraftdornes spielt auch die Krafteinleitung in die Stahlbetonplatte eine Rolle. Hierzu wird am Rand eine Bügelbewehrung angeordnet, welche die Querkraft am Rand aufnimmt und in den Querkraftdorn einleitet. Die Entwicklung zur Bemessung dieser Aufhängebewehrung geht auf eine Veröffentlichung von Elgehausen et al. aus dem Jahr 1992 zurück. Darin wurde der Betonausbruch von auf Zug beanspruchten Verankerungen im Beton untersucht. Die Verankerung wird unter Berücksichtigung der Hakenwirkung des Bügels und der Verbundwirkung bis zum theoretischen Bruchkegel betrachtet. Dieser Ansatz wurde schliesslich auch für Querkraftdorne verwendet. Er hat jedoch zwei Nachteile. Da die Länge der Bügel bis zum theoretischen Riss in die Bemessung eingeht, ist der Bemessungsansatz empfindlich gegenüber der Anordnung der Bügel. Änderungen der Bügellage im mm-Bereich können einen entscheidenden Einfluss auf den berechneten Tragwiderstand haben. Ausserdem werden die Verbundlänge und die Hakenwirkung jeweils nur einseitig betrachtet. Dies ist für die ursprüngliche Anwendung an Betonkanten angemessen, da nur von einer einseitigen Betonoberfläche ausgegangen wird. Bei der Anwendung von Querkraftdornen auf Stahlbetonplatten müssten die Verbundlänge und die Hakenwirkung auf beiden gegenüberliegenden Seiten betrachtet werden. Dies würde allerdings dazu führen, dass die wirksamsten Bügel, die sind, die gerade mittig vom theoretischen Bruchkegel geschnitten werden. Dies würde der gängigen Theorie widersprechen, dass die dem Querkraftdorn am nächsten liegenden Bügel die grösste Wirksamkeit aufweisen. Dieser Umstand wurde bei der Erstellung des Europäischen Bewertungsdokuments bzw. des Technischen Berichts nicht berücksichtigt, so dass, wie in Bild 3b dargestellt, die Verbundlänge nur einseitig - im Bild unten - angesetzt wird. Dies ist allerdings statisch wenig sinnvoll, da die im Bügel vorhandene Kraft beidseitig verankert werden muss. Aufgrund dieser beiden Nachteile empfiehlt es sich, mit einem Bemessungsansatz zu arbeiten, der von einer verschmierten Bewehrung ausgeht.

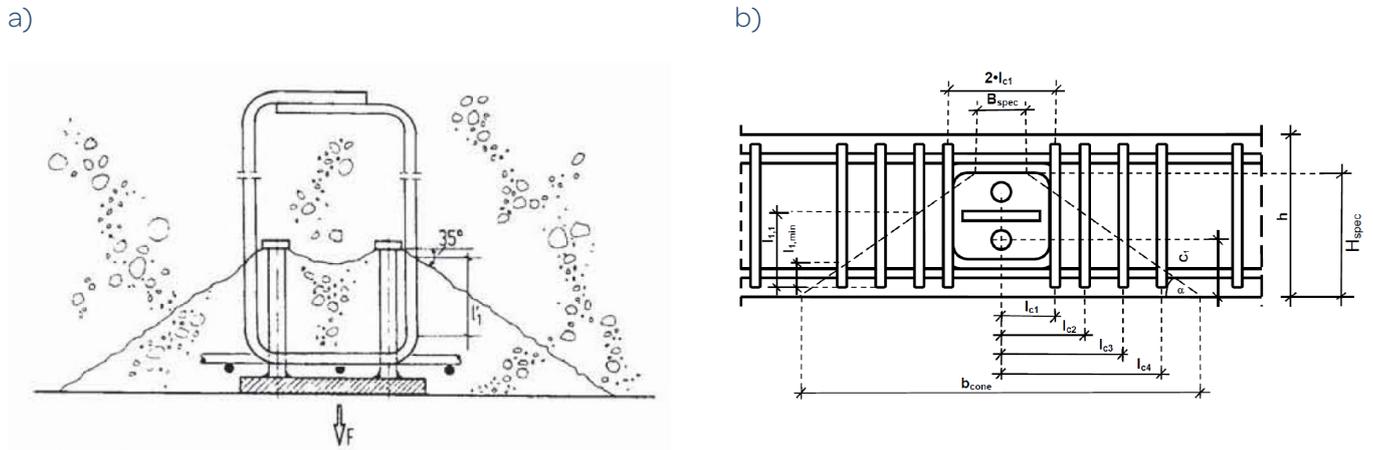


Bild 3: Betrachtung von: a) Verankerungsbügel aus Eligehausen et al. (1992) und b) Aufhängebewehrung aus EOTA TR 065 (2019)

In der Schweiz begann die Anwendung von Querkraftdornen für Dilatationsfugen im Hochbau in den 70er Jahren. Zum Einsatz kamen einfache Rundstahldorne, aber auch neu entwickelte Querkraftdorne mit zusätzlichen Verankerungskörpern aus Beton. Ein weiterer Entwicklungsschritt erfolgte Ende des 20. Jahrhunderts mit den hochbelastbaren Querkraftdornen. Diese hatten durch einen Verankerungskörper aus nichtrostendem Stahl eine bessere Krafteinleitung in die Stahlbetondecken, so dass auch bei dünnen Stahlbetondecken grosse Lasten übertragen werden konnten. Zukünftige weitere Entwicklungsschritte sind nur durch ein besseres Verständnis und die Optimierung bestehender Konstruktionen oder durch den Einsatz neuer Materialien zu erwarten.

## Werkstoffe

Querkraftdorne bei Dehnungsfugen sind aufgrund ihrer Exposition grundsätzlich aus nichtrostendem Stahl. Je nach Anwendungsgebiet ist eine Korrosionswiderstandsklasse III oder IV zu wählen. Mehr zu Anforderungen und Wahl von nichtrostenden Stählen sind im GRAVIS Wissenswelt Heft 1 «Nichtrostender Stahl im Bauwesen» zu finden.

## Anwendungen

Bei Stahlbetonbauteilen werden Dehnfugen angeordnet, um eine unkontrollierte Rissbildung zu verhindern. Diese Dehnfugen ermöglichen die Verformung des Bauteils infolge Schwindens, Kriechens, Temperaturänderungen oder differenzielle Setzungen. Zur Übertragung der Querkräfte in diesen Dehnfugen und zur Sicherstellung der Verformungskompatibilität der zu verbindenden Bauteile werden Querkraftdorne eingesetzt. Diese stellen die Kraftübertragung sicher, ermöglichen die Bewegung der Bauteile und sind einfach zu konstruieren. Sie wurden deshalb in den letzten Jahrzehnten bei verschiedenen Stahlbetonbauteilen wie Decken, Balken, Wänden oder Stützmauern eingesetzt.

Für die Anwendung stehen grundsätzlich zwei Hülsentypen zur Verfügung, solche die nur einachsige Verformungen in Längsrichtung zulassen und solche die auch Verschiebungen lateral zur Dornachse zulassen. Ein Beispiel hierfür sind Z-förmige Fugen, bei denen es Bereiche gibt, in denen die Verschiebungen lateral zu den Querkraftdornen auftreten können. Bild 4a zeigt eine solche Situation, bei der im Bereich 1 nur Verschiebungen entlang der Dornachse und im Bereich 2 Verschiebungen lateral zu den Querkraftdornen auftreten. Daher sind zumindest im Bereich 2 lateral verschiebbliche Hülsen anzuordnen. Ebenso können bei grossen Fugenlängen Verformungen in Fugenquerrichtung auftreten, da sich die Stahlbetonplatte in beide Richtungen verformt (Bild 4b). In diesen Fällen ist ein Bewegungszentrum mit einachsiger verschiebbaren Hülsen (Bereich 1) zu wählen. Für die übrigen Bereichen sind Hülsen mit zusätzlicher seitlicher Verschiebbarkeit (Bereich 2) zu wählen.

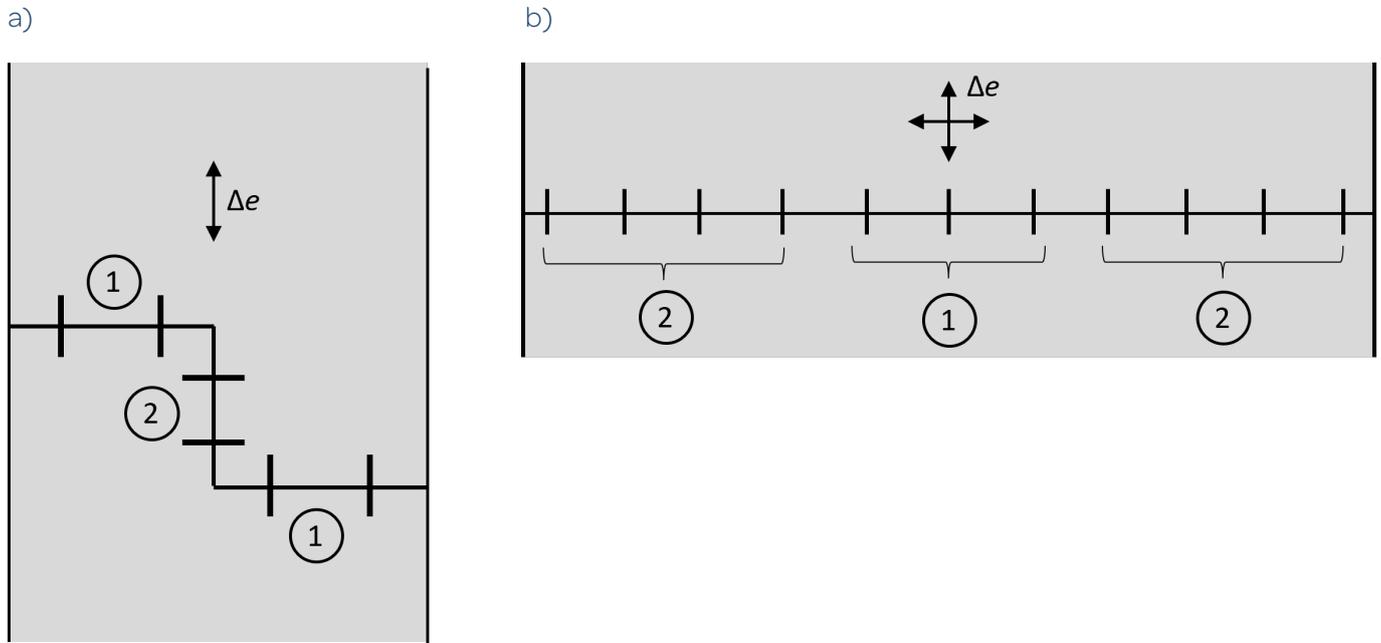


Bild 4: Bewegungen entlang der Fuge

## Bemessung bei Stahlbetonplatten

Der Tragwiderstand der Querkraftdorne ergibt sich durch die Betrachtung der folgenden Versagenskriterien:

- Versagen des Dornstabes
- Versagen der Betonkante
- Versagen der Betondruckdiagonale

Der Widerstand gegenüber Stahlversagen kann unter Berücksichtigung der elastischen Lagerung des Querkraftdornes und der Fugenöffnung nachgewiesen werden.

Das Versagen der Betonkante wird durch eine genügend grosse Aufhängebewehrung verhindert. Dabei wird der Verbund und Hakenwirkung des Bügels berücksichtigt.

Die Betondruckdiagonale beim Kräfteinleitungsbereich zwischen Querkraftdorn und Aufhängebewehrung wird gemäss SIA 262:2013 nachgewiesen.

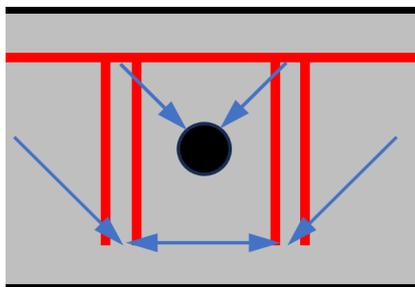


Bild 5: Kraftverlauf entlang der Betonkante

## Aufhängebewehrung

Bei der Bemessung der Aufhängebewehrung ist deren Lage zu berücksichtigen. Um jedoch auch auf der Baustelle eine sichere Verlegung zu gewährleisten, ist es sinnvoll bei der Berechnung mit genügend Toleranzen zu arbeiten. Die in den technischen Dokumentationen von GRAVITEC angegebenen Werte, sind mit einem konservativen Ansatz berechnet, was in einigen Fällen zu etwas mehr Aufhängebewehrung als andere Bemessungsmodelle führt, jedoch auch grössere Verlegetoleranzen erlaubt. Die Bügel folgen einem standardisierten Verlegeprinzip. Der erste Bügel ist jeweils 20 mm von der Dornkante entfernt angeordnet. Der 2. Bügel hat einen Achsabstand von 20 mm vom 1. Bügel und jeder weitere Bügel wird mit einem Achsabstand von 50 mm angeordnet. Die Verlegetoleranz ist abhängig der Plattendicke und liegt bei  $\pm h/15$  mm.

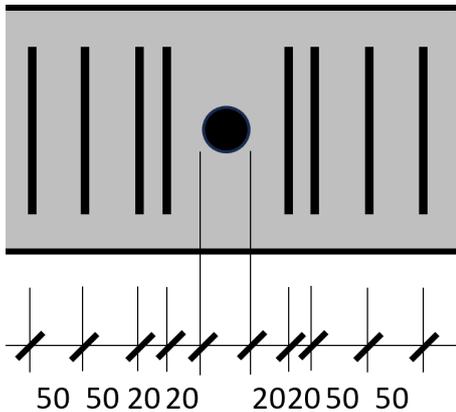


Bild 6: Anordnung der Aufhängebewehrung

Diese Aufhängebewehrung müssen ausreichend verankert werden. Dabei sind die Verankerungslängen der SIA 262:2013 einzuhalten.

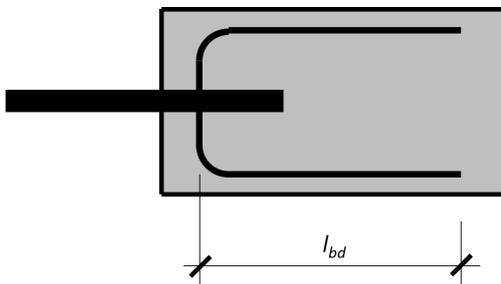


Bild 7: Verankerung der Aufhängebewehrung

$$l_{bd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{sd}}{f_{bd}} \geq 25\varnothing \quad (1)$$

Für B500 kann vereinfacht  $l_{bd} = 50\varnothing$  angenommen werden.

## Fugenöffnung

Die Fugenöffnung ist ein wesentlicher Parameter bei der Bemessung von Querkraftdornen. Massgebend ist jeweils die maximale Fugenöffnung. Daher muss bei der Bemessung zur ausgeführten Fugenöffnung  $e_o$  auch der Bewegungsanteil  $\Delta e$  aus Schwinden, Kriechen, Temperaturunterschieden und differenziellen Setzungen mitberücksichtigt werden. Da der Bewegungsanteil in der Regel nicht exakt bestimmt werden kann, ist ein ausreichender Sicherheitszuschlag vorzusehen. Es wird daher empfohlen bei der Ermittlung dieses Wertes einen Sicherheitsfaktor von 1.4 zu berücksichtigen.

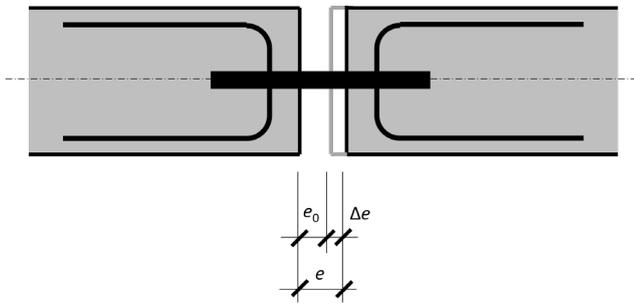


Bild 8: Fugenöffnung

### Plattendicken

Der Tragwiderstand der Querkraftdorne sind von der Plattendicke abhängig. Die in den Lasttabellen dargestellten Plattendicken beziehen sich auf eine Bewehrungsüberdeckung von 20 mm und einem in der Höhe zentrischen Einbaus des Querkraftdornes. Bei grösseren Bewehrungsüberdeckungen ist der Wert der Plattendicke entsprechend zu erhöhen.

$$h_{eff} = h_{c=20} - 40 \text{ mm} + 2 \cdot c_{nom} \quad (2)$$

wobei  $h_{c=20}$  die in der technischen Dokumentation angegebene Plattendicke und  $c_{nom}$  die vorhandene Bewehrungsüberdeckung ist.

Wird der Querkraftdorn nicht mittig über die Plattendicke eingebaut, ist die Plattendicke entsprechend dem geringeren Abstand zur Plattenoberfläche zu wählen (Bild 9a). Ist die Richtung der Querkraftbeanspruchung eindeutig gegeben, kann die Plattendicke dementsprechend festgelegt werden (Bild 9b).

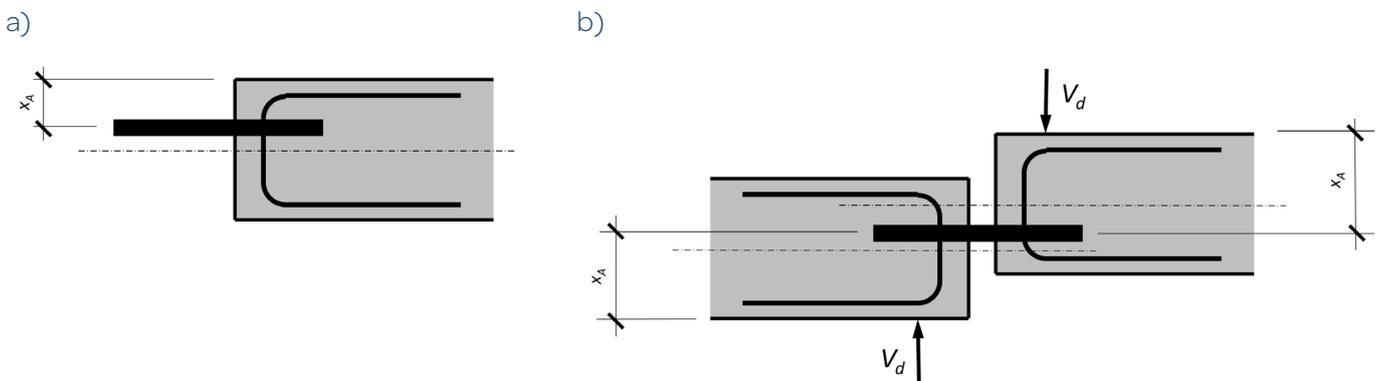


Bild 9: Berücksichtigung der Plattendicke bei nicht zentrisch eingebauten Querkraftdornen bei a) ohne definierten Kraftverlauf und b) mit definierten Kraftverlauf

Die in den Tragwiderstandstabelle anzusetzende Plattendicke ergibt sich aus:

$$h = 2 \cdot x_A \quad (3)$$

### Einbindelänge

Um die Kraftübertragung in den Beton sicherzustellen und eine genügend grosse Einspannwirkung des Dorns zu erreichen, ist eine minimale Einbindelänge erforderlich. Diese beträgt bei einfachen Dornen das 6.5-fache des Dorndurchmessers. Bei einem Dorndurchmesser von 20 mm entspricht dies einer Länge von 130 mm. Bei Dornsystemen mit Lasteinleitungskörper kann dieser Wert reduziert werden, was jedoch experimentell nachzuweisen ist. Eine Vergrößerung der Einbindelänge hat in der Regel keinen Einfluss auf den Bemessungswert des Tragwiderstandes. Längere Dorne oder Hülsen bieten daher keinen Mehrwert.

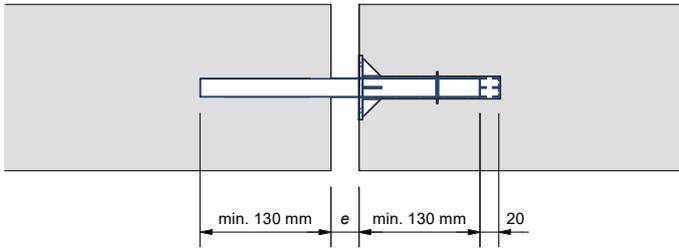


Bild 10: Beispiel der Einbindelänge eines einfachen Dornes mit Durchmesser 20 mm

## Gebrauchstauglichkeit

Während bei kleinen Fugenöffnungen die Verformungen gering sind, kann bei grösseren Fugenöffnungen die vertikale Verformung innerhalb der Fuge entscheidend sein. Die in den technischen Dokumentationen von GRAVIS angegebenen Tragwiderstände sind so ausgelegt, dass die vertikale Verformung zwischen den anschliessenden Bauteilen im Gebrauchszustand weniger als 2 mm betragen.

Um die Verschiebbarkeit im Gebrauchszustand zu gewährleisten, ist auf einen sorgfältigen Einbau zu achten. Die Nagelplatte der Hülse muss fest mit der Schalungsoberfläche verbunden sein. Bei mehreren Querkraftdornen ist darauf zu achten, dass die Querkraftdorne parallel eingebaut werden, so dass eine zwangungsfreie Verschiebung erfolgen kann. Insbesondere bei grossen temperaturbedingten Bewegungen ist zu beachten, dass grosse Plattenverdrehungen die Verschiebbarkeit der Querkraftdorne beeinflussen können. Dies ist insbesondere bei Fassadenelementen in Kombination mit einfach gespannten Stahlbetondecken der Fall.

## Bemessung bei Stahlbetonbalken

Für den Anschluss von Stahlbetonbalken gelten andere Modellvorstellungen als für den Anschluss von Stahlbetonplatten. Bei Stahlbetonbalken ist kein Betonkantenbruch zu erwarten, jedoch muss das Balkenende entsprechend dem Kraftverlauf bewehrt werden, insbesondere wenn mehrere Dornreihen übereinander angeordnet sind.

Bild 11 zeigt den Kraftverlauf im Krafteinleitungsbereich. Vom Balken herkommend, müssen die Querkräfte zur Balkonoberseite geleitet werden ( $Z_w$ ). Mittels Betondruckdiagonalen werden die Kräfte zur Balkenfront geleitet. Daraus resultieren horizontale Zugkräfte in Balkenrichtung ( $Z_D$ ) sowie vertikale Zugkräfte entlang der Balkenfront ( $Z_v$ ). Diese Zugkräfte stützen sich auf den Querkraftdornen ab, was zu Spreizzugkräften führt ( $Z_h$ ).

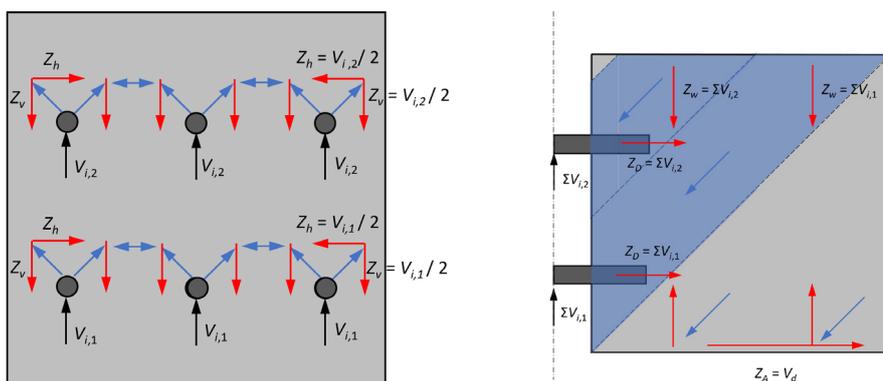


Bild 11: Kraftverlauf bei der Krafteinleitungszone

Auf der Grundlage des oben beschriebenen Kraftverlaufs kann die Bewehrung entsprechend bemessen werden.

- Die Position 1 sollte im Bereich der, in Bild 11 blau dargestellten, Betondruckdiagonalen liegen. Dabei ist die gesamte Querkraft  $V_d$  aufzuhängen, was zu einer Bewehrungsfläche von  $A_{S1} = V_d / f_{sd}$  führt.
- Die Position 2 übernimmt die horizontalen Zugkräfte  $Z_D$  in Richtung der Balkenlängsachse. Diese Bewehrungsfläche ist von der einzelnen Dornkraft abhängig. Pro Querkraftdorn ergibt sich eine Querschnittsfläche  $A_{S2} = V_{dij} / f_{sd}$ .

- Die Position 3 verläuft über die gesamten Balkenhöhe und übernimmt die vertikalen Kräfte  $Z_v$ . Diese Bewehrung muss die Gesamtkraft einer horizontalen Dornreihe aufnehmen. Somit ergibt sich pro vertikale Dornreihe die Querschnittsfläche  $A_{S3} = V_{di,1} / f_{sd}$ . Diese ist jeweils zur Hälfte links und rechts der vertikalen Dornreihe anzuordnen.
- Die Position 4 übernimmt die Spreizzugkräfte bei jeder horizontalen Dornreihe. Diese Kraft entspricht der Hälfte der Dornkraft. Somit wird pro Dornreihe eine Querschnittsfläche von  $A_{S2} = 0.5 V_{di,j} / f_{sd}$  benötigt.

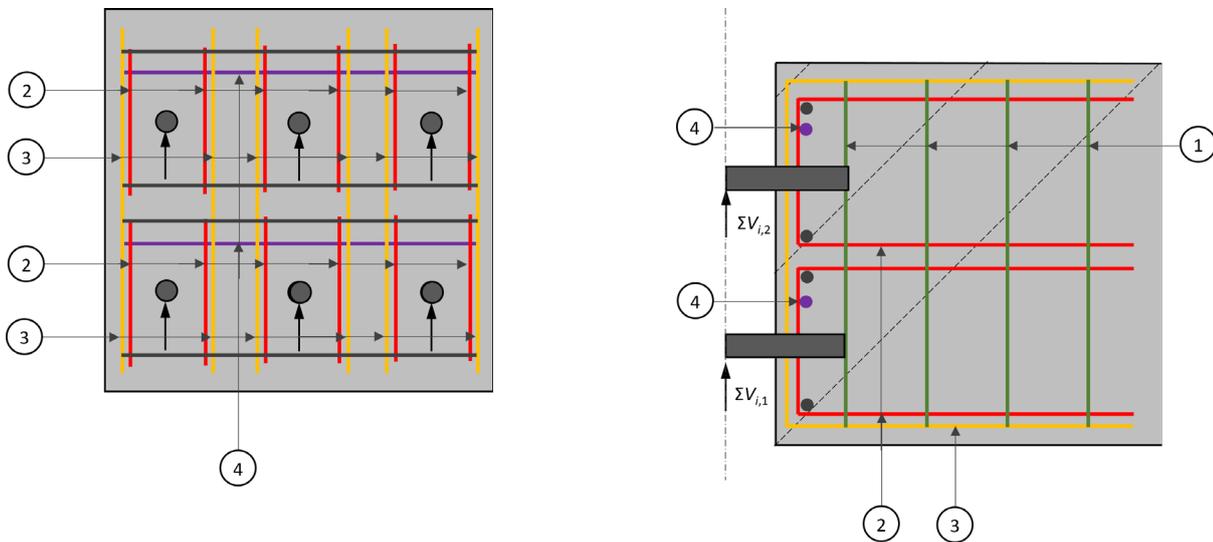


Bild 12: Bewehrungsbeispiel für den Kräfteinleitungsbereich

Neben der Bewehrungsanordnung muss auch die Tragfähigkeit der Betondruckdiagonale nachgewiesen werden.

$$V_{Rd,c} = 0.275 \cdot b_w \cdot h_w \cdot f_{cd} \quad (4)$$

wobei  $b_w$  die Breite des Balkens,  $h_w$  die Höhe der Betondruckdiagonale (siehe Bild 11) und  $f_{cd}$  der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit ist.

## Konstruktive Hinweise

### Minimale Plattendicke

Um die Kräfteinleitung in die Stahlbetonplatte sicher zu stellen, muss die minimale Plattendicke eingehalten werden. In der technischen Dokumentation sind die minimalen Plattendicken vorgegeben. Es gelten jedoch bei der minimalen Plattendicke dieselben Bedingungen wie bei der Wahl der Plattendicke für die Bemessung (Bild 9).

### Dornabstand bei Stahlbetondecken

Um die in den technischen Unterlagen angegebenen Tragwiderstände zu erreichen, sind bei Stahlbetondecken die Mindestdornabstände einzuhalten. Die zu übertragende Querkraft darf die Querkrafttragfähigkeit der Stahlbetonplatte nicht überschreiten. Bei Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung sind daher Mindestdornabstände einzuhalten oder die angegebenen Tragwiderstände zu reduzieren.

Der Bemessungswert der Querkraft, der sich aus der Dornkraft dividiert durch den Dornabstand ergibt, darf den Querkraftwiderstand der Stahlbetonplatte nicht überschreiten.

$$V_d = \frac{F_d}{a_D} \leq V_{Rd} \quad (5)$$

Dies kann umformuliert werden, so dass sich der minimale Dornabstand aus folgender Beziehung ergibt:

$$a_{D,min} = \frac{F_d}{V_{Rd}} \quad (6)$$

Der Querkraftwiderstand kann gemäss SIA 262:2013 bestimmt werden.

$$V_{Rd} = k_d \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \quad (7)$$

mit

$$k_d = \frac{1}{1 + \varepsilon_v \cdot d \cdot k_g} \quad (8)$$

mit

$$\varepsilon_v = \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \frac{m_d}{m_{Rd}} \quad (9)$$

mit

$$k_g = \frac{48}{(16 + D_{max})} \quad (10)$$

Das Bemessungsmoment ist in der Fugenmitte gleich null. Somit kann im Nachweisschnitt bei einem Abstand von  $d/2$  vom Plattenrand die Biegeeinwirkung anhand der Fugenöffnung und der statischen Höhe berechnet werden.

$$m_d = v_d \cdot (e + d)/2 \quad (11)$$

Bezüglich des Dornabstands muss ebenfalls überprüft werden, ob sich die im Bemessungsmodell angenommen Ausbruchskegel zweier benachbarten Querkraftdorne nicht überschneiden. Die nominelle Bruchkegelbreite berechnet sich durch:

$$b_c = 1.5 \cdot h_{min} \quad (12)$$

wobei  $h_{min}$  die für den Dorntyp vorgegebene minimale Plattendicke ist.

Wird dieser Wert unterschritten kann maximal folgende Querkraft übertragen werden:

$$V_{Rd, max} = V_{Rd(e=10mm)} \cdot \alpha_D / (1.5 h_{min})$$

(13)

wobei  $V_{Rd(e=10mm)}$  der Bemessungswert des Tragwiderstandes des Querkraftdornes für die vorhandene Plattendicke bei einer Fugenöffnung von 10 mm ist.

Sinngemäss ist dies bei Abständen zu Plattenränder anzuwenden, falls der Abstand zum Plattenrand  $\alpha_R < 0.75 h_{min}$  ist:

$$V_{Rd, max} = V_{Rd(e=10mm)} \cdot \alpha_R / (0.75 h_{min})$$

(14)

wobei  $V_{Rd(e=10mm)}$  der Bemessungswert des Tragwiderstandes des Querkraftdornes für die vorhandene Plattendicke bei einer Fugenöffnung von 10 mm ist.

### Dornabstand bei Stahlbetonbalken

Für eine optimale Krafteinleitung sind bei Stahlbetonbalken in vertikaler und horizontaler Richtung Mindestdornabstände einzuhalten. In beide Richtungen entsprechen die Mindestabstände zwischen den Querkraftdornen der zum jeweiligen Dornmodell gehörende minimale Plattendicke  $h_{min}$ , die in der technischen Dokumentation angegeben ist. Die Mindestabstände zu den Rändern ist jeweils die Hälfte der minimalen Plattendicke.

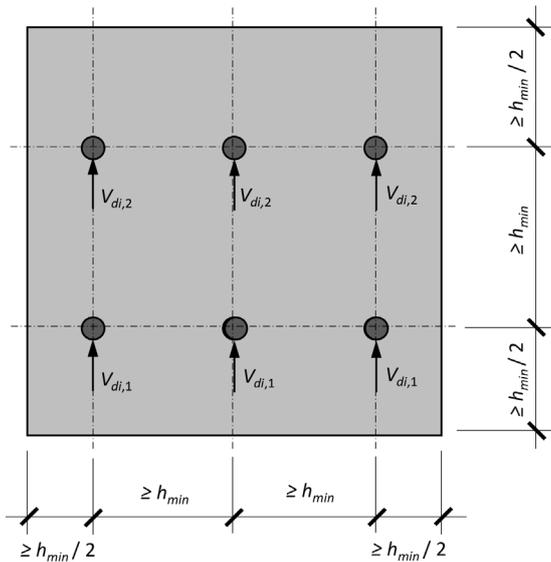


Bild 13: Mindestabstände bei Stahlbetonbalken

## Bezeichnungen

$a_D$	Achsabstand der Querkraftdorne
$a_{D,min}$	Minimaler Dornabstand
$a_R$	Abstand von Dornachse zum Plattenrand
$A_s$	Querschnittsfläche Bewehrung
$b_c$	Breite des theoretischen Ausbruchskegel
$c_{nom}$	Nominelle Bewehrungsüberdeckung
$d$	Statische Höhe
$D_{max}$	Grösstkorndurchmesser
$e$	Für die Bemessung massgebende Fugenöffnung
$e_0$	Ausgeführte Fugenöffnung
$\Delta_e$	Bewegungsanteil der Fugenöffnung
$E_s$	Elastizitätsmodul des Betonstahls
$\epsilon_v$	Nominale Dehnung der Zugbewehrung
$f_{bd}$	Bemessungswert der Verbundspannung
$f_{cd}$	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
$F_d$	Bemessungswert der Dornkraft
$f_{sd}$	Bemessungswert der Fließgrenze des Betonstahls
$h$	Plattendicke
$h_{eff}$	Effektive Plattenhöhe
$h_{min}$	Minimale Plattendicke
$k_g$	Beiwert zur Berücksichtigung des Grösstkorndurchmessers
$L$	Länge des Querkraftdorns bzw. der Hülse
$l_{bd}$	Verankerungslänge
$m_d$	Bemessungswert des Biegemoments
$m_{Rd}$	Bemessungswert des Biegewiderstandes
$T_{cd}$	Bemessungswert der Schubspannungsgrenze
$v_d$	Bemessungswert der Querkraft pro Längeneinheit
$V_d$	Bemessungswert der Querkraft
$x_A$	Abstand der Dornachse zur Plattenoberfläche

## Literatur

Bradbury, R. D., Design of Joints in Concrete Pavements, Report of committee of highway design, USA, 1933, pp. 105 – 141

Eligehausen, R., Fuchs, W., Ick, U., Mallée, R., Reuter, M., Schimmelpfennig, M., Schmal, B., Tragverhalten von Kopfbolzenverankerungen bei zentrischer Zugbeanspruchung, Bauingenieur 67, 1992, pp. 183-196

Friberg, B., Load and Deflection Characteristics of Dowels in Transverse Joints of Concrete Pavements, Highway research board proceedings, USA, 1938, pp. 140 – 161

Friberg, B., Design of Dowels in Transverse Joints of Concrete Pavements, American Society of Civil Engineers, Paper No. 2081, USA, 1940, pp. 1076 – 1095

Heft 346, Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau, Berlin, 1983, pp. 151 – 155

SIA 262:2013, Betonbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2013, pp.

Schnebli, W. P., Betonstrassen im Ausland, Schweizerische Bauzeitung, Band 125, Zürich, 1945, pp. 191 – 195

Timoshenko, S., Lessels, J. M., Applied Elasticity, Westinghouse Technical Night School Press, East Pittsburgh, 1925, 544 pp.

TR065, Design of structural joints with shear dowels, European Organisation for Technical Assessment EOTA, 2019, 11 pp.

# GRAVIS

amazing strength



GRAVIS AG  
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.swiss



www.gravis.swiss

