Translation of the paper published in SCIREA Journal of Civil Engineering …, June 2022, https://doi.org/10.54647/cebc56087

Bemessung von beliebigen Ankergruppen am Bauteilrand unter beliebiger Querlast- und Torsionsbeanspruchung

Longfei Li Yischang Li

Abstract

Die Bemessung von Befestigungen mit Ankern (Kopfbolzen und Dübel) im Beton wird in EN 1992-4 [1] nur für einfache Ankeranordnungen behandelt (Bild 1). Bei randnahen Befestigungen mit Lochspiel im Anbauteil und mit Querlast zum Rand können maximal zwei Anker in einer Reihe parallel zum Rand bemessen werden. Bei Befestigungen unter Torsionsbeanspruchung kann der Widerstand der Ankergruppe für die Versagensart des Betonkantenbruchs nach den derzeitigen Reglungen [1-5] nicht berechnet werden, weil die resultierende Ankerquerkraft in der Gruppe gleich null ist.

Um den Anwendungsbereich von Befestigungen über geregelte einfache Ankeranordnungen hinaus zu erweitern, wird eine Bemessungsmethode für die Versagensart des Betonkantenbruchs für beliebige Ankergruppen unter beliebiger Querlast- und Torsionsbeanspruchung entwickelt. Die Bemessungsergebnisse wurden durch 30 Versuche verifiziert.

Im vorliegenden Beitrag wird die Bemessungsmethode vorgestellt und mit Rechenbeispielen erläutert.

Keywords: Ankerbemessung in Beton, Anker (Kopfbolzen und Dübel), Ankeranordnung, Lochspiel, Bauteilrand, Betonkantenbruch

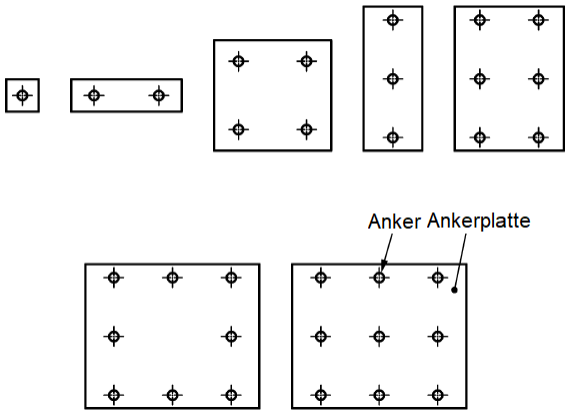
1. Einleitung und Problemstellung

Die Bemessung von querbeanspruchten Befestigungen bei kleinem Randabstand ($c_i < \max\{10h_{ef}; 60d_{nom}\}$) wird in den derzeit geltenden Regelwerken [1-5] in Abhängigkeit vom Lochspiel im Anbauteil für maximal vier (Bild 1a) oder neun Anker (Bild 1b) behandelt. Um eine geplante Querlast in Beton zu verankern, werden in der Praxis jedoch oft mehr Anker benötigt.
Die geregelten Ankeranordnungen sind matrixartig (Bild 1). Für praktische Anwendungen sind davon abweichende Ankeranordnungen zwingend erforderlich, wie z.B. kreisförmige Anordnung für die Befestigung von Ampelpfosten und Roboterkonsolen.

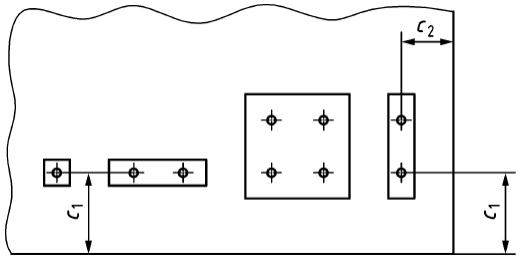
Die Berechnung des Widerstandes beim Betonkantenbruch wird nach [1-5] nur für die randnahen Anker geführt. Für Befestigungen ohne Lochspiel mit mehreren Ankerreihen zum Rand kann diese Berechnung nicht ausreichend sein, weil die hintere Ankerreihe für den Nachweis des Betonkantenbruchs maßgebend sein kann [6,7].

* Corresponding Author: info@anchorprofi.de

Für eine Ankergruppe unter Torsionsbeanspruchung kann der Widerstand des Betonkantenbruchs in der hinteren Ankerreihe nicht nach [1-5] berechnet werden, weil die Summe der Ankerquerkräfte in der Gruppe gleich null ist (Bild 2).



a) - Befestigungen ohne Lochspiel für alle Randabstände und für alle Lastrichtungen und
- Befestigungen mit Lochspiel nach Tabelle 1 (Abschnitt 2.2)
· bei großem Randabstand ($c_i \geq \max \{10h_{ef}; 60d_{nom}\}$) für alle Lastrichtungen und
· bei kleinem Randabstand ($c_i < \max \{10h_{ef}; 60d_{nom}\}$) ausschließlich für zugbeanspruchte Befestigungen



b) Befestigungen mit Lochspiel nach Tabelle 1 bei kleinem Randabstand ($c_i < \max \{10h_{ef}; 60d_{nom}\}$) für alle Lastrichtungen

Bild 1 In DIN EN 1992-4 [1] behandelte Ankeranordnung

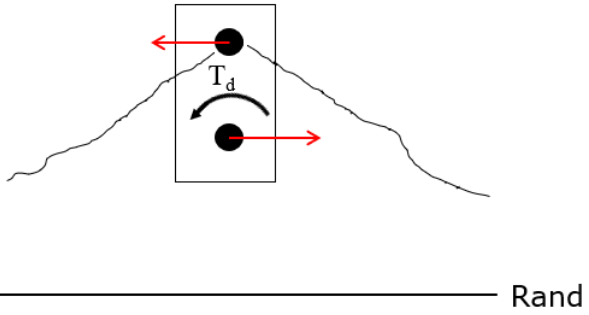


Bild 2 Ankergruppe unter Torsionsbeanspruchung

Um eine Möglichkeit zur Bemessung von Ankergruppen mit beliebiger Ankeranordnung unter beliebiger Querlast- und Torsionsbeanspruchung sowie mit beliebigem Randabstand bereitzustellen, wurde ein Bemessungsmodel für die Versagensart des Betonkantenbruchs entwickelt. Im vorliegenden Beitrag wird diese Bemessungsmodel vorgestellt, durch Versuchsergebnisse verifiziert und mit Rechenbeispielen erläutert.

2. Verteilung der Querlasten auf Anker mit oder ohne Lochspiel im Anbauteil

2.1 Befestigungen ohne Lochspiel

In einem Anbauteil bzw. einer Ankerplatte mit n Ankern können die Ankerquerkräfte V_{xi} und V_{yi} bei einer kombinierten Beanspruchung von V_{xd}, V_{yd} und T_d über den Ankerschwerpunkt S (Bild 3) wie folgt abgeleitet werden, wenn die Ankerplatte eine ausreichende Steifigkeit hat [8].

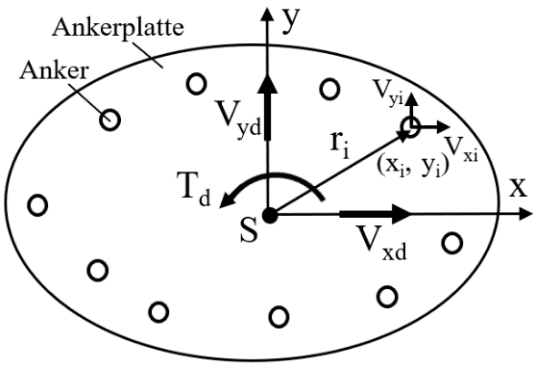


Bild 3 Ankergruppe unter kombinierter Beanspruchung von V_{xd}, V_{yd} und T_d

- Ankerquerkräfte aus dem Torsionsmoment T_d

Nach der Festigkeitslehre gilt die Beziehung zwischen Schubspannung τ_i (x_i, y_i) und Torsionsmoment T_d über einen Stabquerschnitt.

$$\tau_i(r_i) = \frac{T_d}{I_p} r_i \qquad (2.1)$$

Setzt man das Torsionsträgheitsmoment I_p

$$I_p = \int r_i^2 dA = \sum_{i=1}^{n} r_i^2 \Delta A \qquad (2.2)$$

mit $r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$, $\Delta A = A_s$ (Ankerquerschnittsfläche) und $V_i = \tau_i \cdot \Delta A$

in Gleichung (2.1) ein, erhält man die Querkräfte auf den Anker i wie folgt:

$$V_{xi}^{T} = -\frac{T_d \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n} y_i^2}$$
$$V_{yi}^{T} = \frac{T_d \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n} y_i^2} \qquad (2.3)$$

Die Ankerquerkräfte aus den Querlasten V_{xd} und V_{yd} durch den Ankerschwerpunkt S lauten

$$V_{xi}^{V} = \frac{V_{xd}}{n}$$
$$V_{yi}^{V} = \frac{V_{yd}}{n} \qquad (2.4)$$

mit n: Anzahl der Anker in der Gruppe.

Somit ergeben sich die Ankerquerkräfte aus V_{xd}, V_{yd} und T_d wie folgt:

$$V_{xi} = V_{xi}^{V} + V_{xi}^{T}$$
$$V_{yi} = V_{yi}^{V} + V_{yi}^{T} \qquad (2.5)$$

mit x_i und y_i: Koordinaten des i-ten Ankers in einem kartesischen Koordinatensystem dessen Ursprung auf dem Ankerschwerpunkt S liegt (siehe Bild 3).

Aufgrund von Gleichung (2.5) können die Ankerquerkräfte in Ankergruppen mit beliebigen Langlöchern in x- oder y-Richtung durch Ausschalten der Dübelwirkung in Langloch-Richtung ermittelt werden. Ein großes Loch ohne Übertragung der Querkraft kann durch zwei Langlöcher in x- und y-Richtung nachgebildet werden [9].

* Corresponding Author: info@anchorprofi.de

2.2 Befestigungen mit Lochspiel

Bei Befestigungen mit normalem Lochspiel nach Tabelle 1 ist der Nachweis des Betonkantenbruchs maximal für 4 Anker geregelt [1]. Dabei wird angenommen, dass die randnahen Anker die Querlasten zum Rand abtragen. Der Grund hierfür ist, dass der Betonkantenbruch spröde ist und im ungünstigsten Fall der Betonkantenbruch bei randnahen Ankern bereits auftritt, bevor die hinteren Anker die Querlasten mittragen.

In Bild 4 sind Last-Verschiebungsverhalten von Querlastversuchen mit Einzelankern ohne Lochspiel dargestellt. Bei Ankergröße M16 tritt der Betonkantenbruch bereits bei einer Verschiebung von ca. 0,8 mm. Das normale Lochspiel kann jedoch bis zu 2 mm betragen (Bild 5). Bild 6 zeigt die Lastverschiebungskurven von Querlastversuchen mit Ankern der Größe M16 mit Durchgangsloch d_f = 18 mm im Anbauteil. Der Anker trägt die Querlast erst dann, wenn das Lochspiel durch Verschiebung des Anbauteils ausgeglichen ist.

Tabelle 1 Befestigungen mit normalem Lochspiel im Anbauteil nach [1]

Maße in mm

1	Außendurchmesser des Befestigungselementes d^a oder $d_{nom}{}^b$	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	> 30
2	Durchmesser d_f des Durchgangslochs im Anbauteil	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33	$d + 3$ oder $d_{nom} + 3$

[a] Wenn der Bolzen am Anbauteil anliegt.
[b] Wenn die Hülse am Anbauteil anliegt.

ANMERKUNG Anwendungen, bei denen Bolzen an das Anbauteil angeschweißt oder in das Anbauteil geschraubt sind, oder in Fällen, in denen jeder Spalt zwischen dem Befestigungselement und dem Anbauteil mit Mörtel ausreichender Druckfestigkeit (≥ 40 N/mm^2) gefüllt oder durch andere geeignete Maßnahmen beseitigt wurde, gelten als Befestigungen ohne Lochspiel.

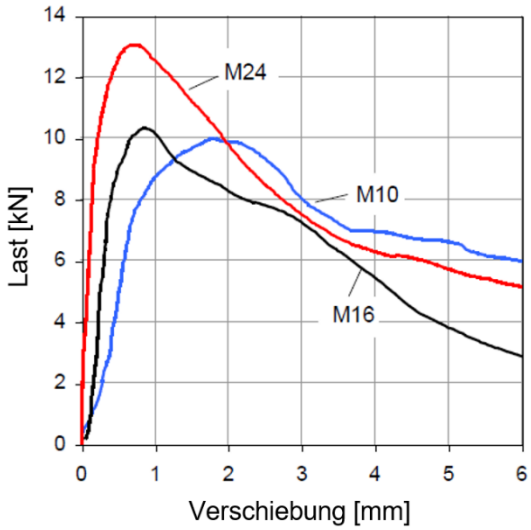


Bild 4 Last-Verschiebungsverhalten der Verbundanker ohne Lochspiel bei Querlast zum Rand mit Randabstand c = 50 mm und Verankerungstiefe h_{ef} =130 mm [7]

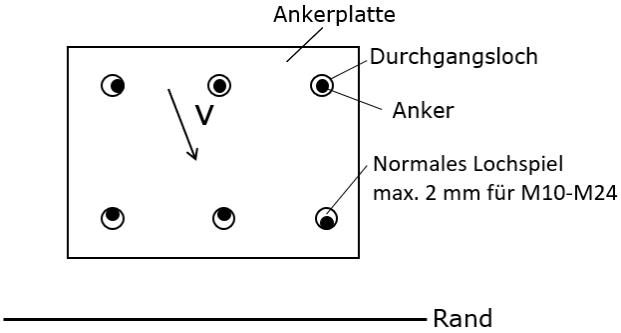


Bild 5 Schematische Darstellung der Befestigungen mit normalem Lochspiel nach Tabelle 1.

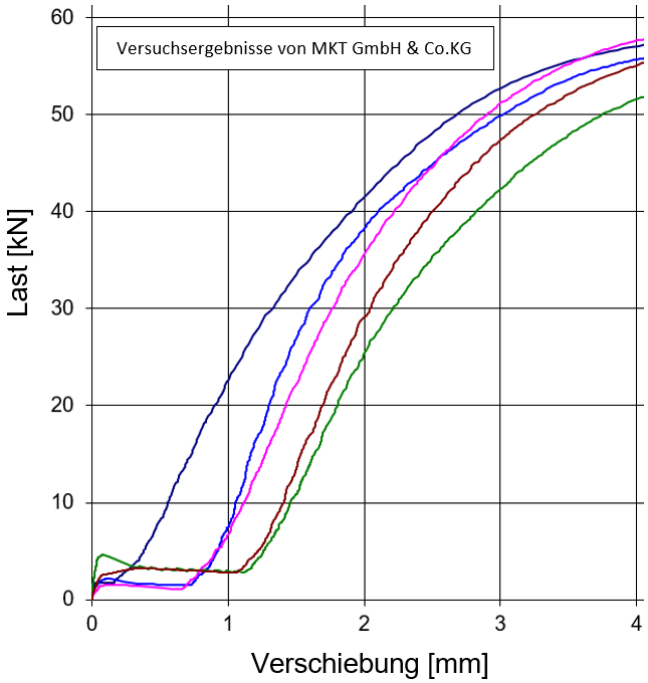


Bild 6 Last-Verschiebungsverhalten des Verbundankers M16 mit normalem Lochspiel bei Querlast

Unter der Voraussetzung, dass bei Befestigungen mit normalem Lochspiel maximal die zwei randnahen Anker die Querlast zum Rand abtragen, werden die folgenden Annahmen getroffen, um für den Nachweis des Betonkantenbruchs die ungünstigste Verteilung der Ankerquerkräfte in Ankergruppen zu ermitteln.

a) Bei Ankergruppen mit maximal zwei Ankern parallel zum Rand wird die senkrecht zum Rand gerichtete Querlast durch die randnahen Anker aufgenommen. Wenn in der ersten Ankerreihe parallel zum Rand mehr als zwei Anker vorhanden sind, wird diese Last durch maximal zwei benachbarte Anker abgetragen.
b) Das Torsionsmoment wird von allen Ankern abgetragen.

In Bildern 7 bis 10 sind die Berechnungen nach den o. g. Annahmen in Beispielen erläutert.

In den Beispielen in Bildern 7 und 8 befinden sich maximal 2 Anker in der ersten Reihe parallel zum Rand. Die ungünstigste Querkraftverteilung wird wie folgt bestimmt:

1) Die Ankerquerkräfte aus dem Torsionsmoment werden identisch wie im Fall ohne Lochspiel nach Gleichung (2.3) berechnet.
2) Für die Berechnung der Ankerquerkräfte aus der Querlast V werden fiktive Langlöcher bei den hinteren Ankern angesetzt. Dadurch wirkt für die Berechnung die Querlast zum Rand nur auf die randnahen Anker.
3) Die Querkräfte auf jeden Anker ergeben sich aus der Summe der in 1) und 2) berechneten Kräfte.

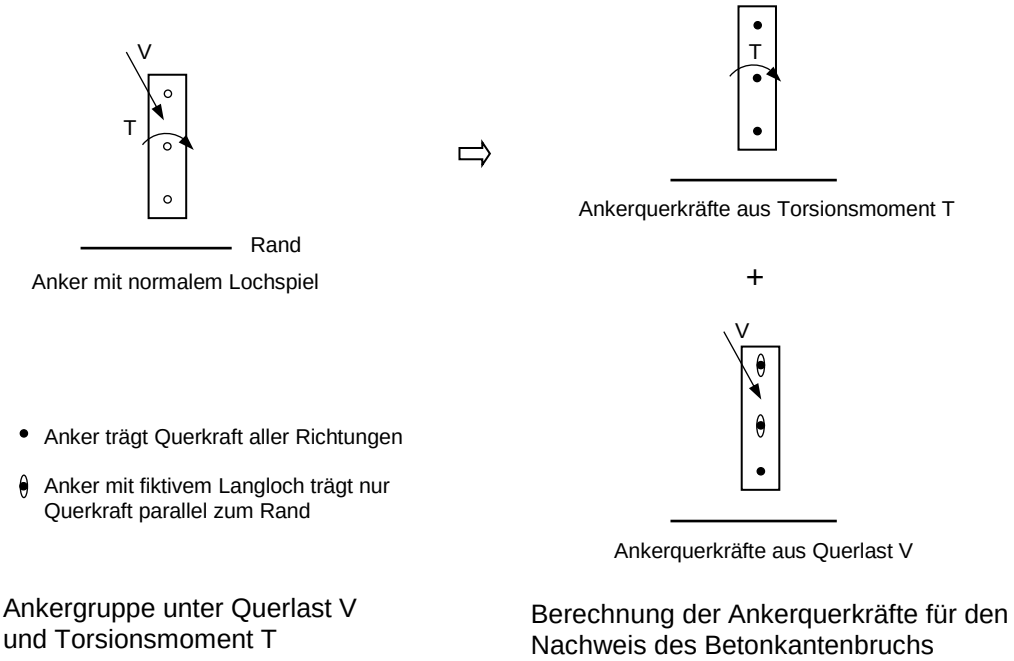


Bild 7 Beispiel mit einem Anker in der ersten Reihe parallel zum Rand

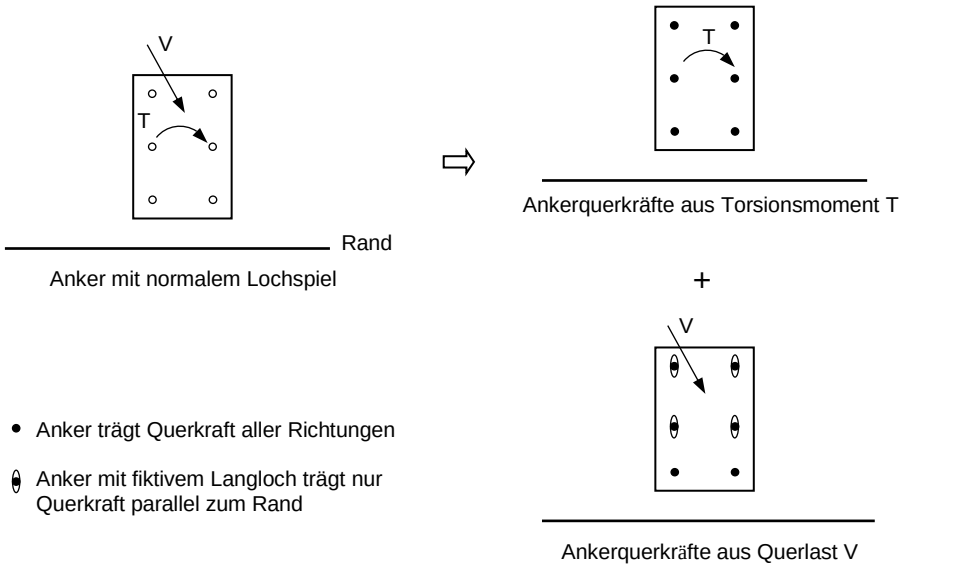


Bild 8 Beispiel mit zwei Ankern in der ersten Reihe parallel zum Rand

Bei den Beispielen in Bildern 9 und 10 befinden sich mehr als zwei Anker in der ersten Ankerreihe parallel zum Rand. Die Querkraftverteilung wird für die Fälle n-1 (Bild 9) und n-2 (Bild 10) wie folgt berechnet:

1) Die Ankerquerkräfte aus dem Torsionsmoment T werden nach Gleichung (2.3) berechnet. Beim Langloch trägt der Anker nur die Querkraft senkrecht zur Langloch-Richtung. Bei einem großen Loch trägt der Anker keine Querkraft.
2) Ankerquerkräfte aus der Querlast V werden für die unterschiedlichen Fälle berechnet. In jedem Fall tragen nur 2 benachbarte Anker ohne Langloch in Randrichtung die Querkraft zum Rand (Vergleich Fall 1 zwischen Bild 9 und Bild 10).
3) Die Querkräfte in jedem Fall ergeben sich aus der Summe der in 1) und 2) berechneten Kräfte.

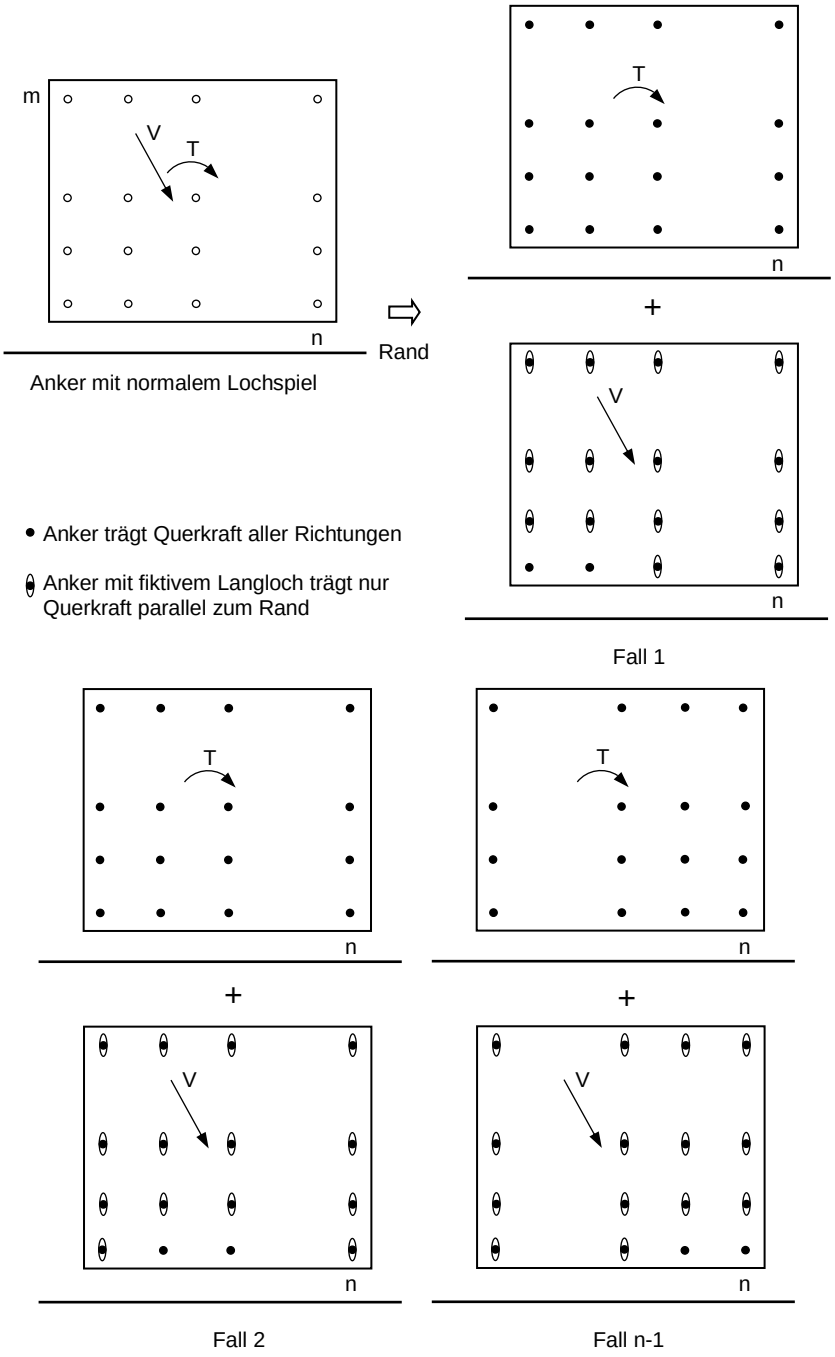


Bild 9 Beispiel mit mehr als zwei Ankern in der ersten Reihe parallel zum Rand

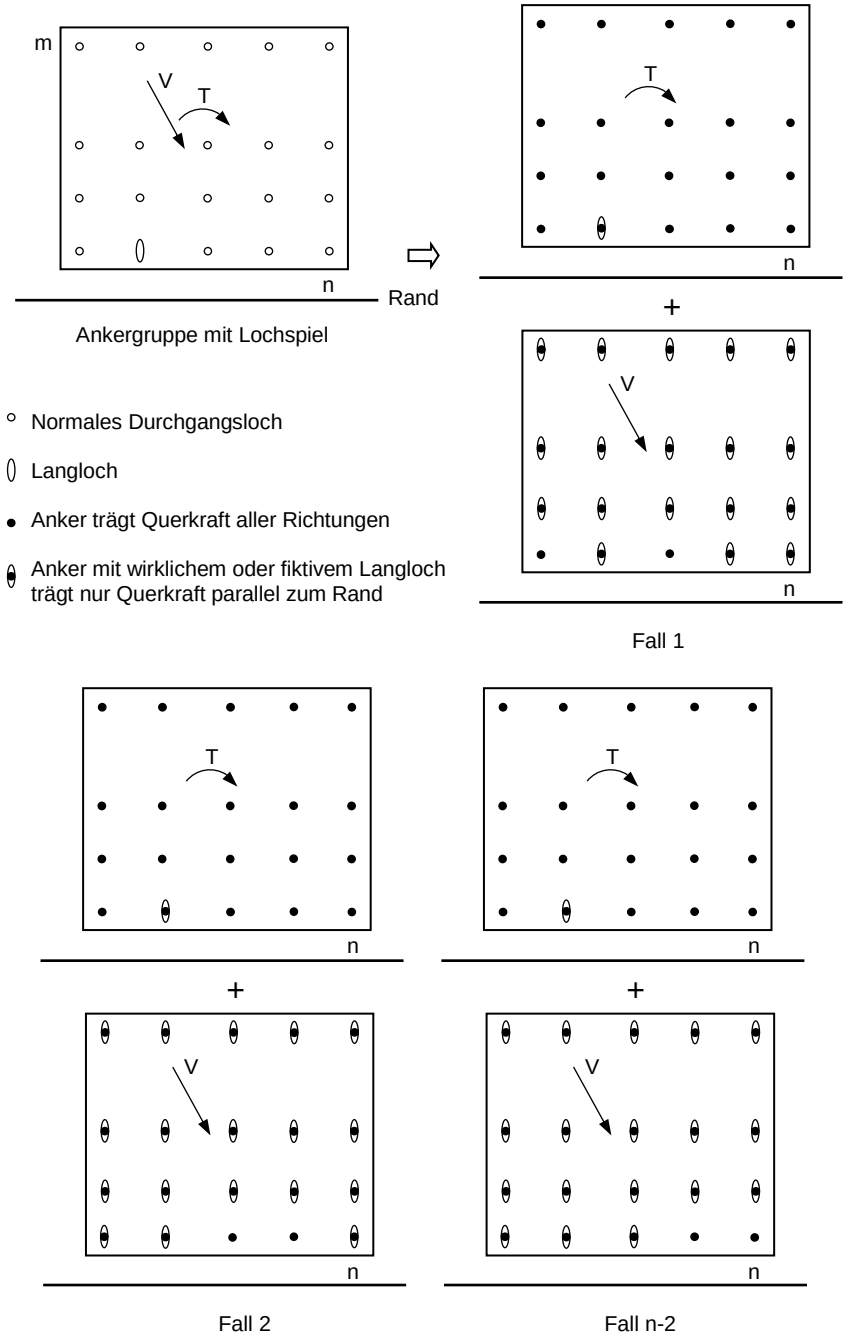


Bild 10 Beispiel mit mehr als zwei Ankern und mit einem Langloch in der ersten Reihe parallel zum Rand

3. Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

3.1 Befestigungen ohne Lochspiel im Anbauteil

Aus der Querkraftermittlung in Abschnitt 2.1 sind die Ankerquerkräfte in der Ankergruppe bekannt. Der Widerstand des Betonkantenbruchs der beliebigen Ankergruppe kann basierend auf [1-4] mit einer im Folgenden erläuterten Modifikation berechnet werden.

Der charakteristische Widerstand des Betonkantenbruchs $V_{Rk,c}$ beträgt nach [1-4]

$$V_{Rk,c} = V^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^0_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{a,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V} \quad [N] \tag{3.1}$$

Der Bemessungswert des Widerstandes ergibt sich aus dem charakteristischen Widerstand des Betonkantenbruchs dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 für Betonkantenbruch $V_{Rd,c} = V_{Rk,c}/1{,}5$.

Für beliebige Ankeranordnungen mit bekannter Verteilung der Ankerquerkräfte werden die Parameter $A^0_{c,V}$, $A_{c,V}$ und $\psi_{ec,V}$ für die Berechnung des Widerstandes der gesamten Ankergruppe wie folgt erweitert.

Der Nachweis des Betonkantenbruchs wird schichtweise für jede Ankerreihe mit dem Randabstand c_j durchgeführt. Bei jeder Schicht wird eine Bruchlinie angenommen. Bilder 11 bis 14 zeigen beispielsweise die möglichen Bruchlinien von vier Ankerreihen parallel zum Rand sowie die Ermittlung der realen projizierten Flächen $A_{c,V}$ (c_j) der idealisierten Betonausbruchkörper bei beliebiger Ankeranordnung unter Querlast. Dabei errechnet sich die projizierte Fläche des idealisierten Ausbruchkörpers für einen Einzelanker auf der Betonseitenfläche mit

$$A^o_{c,V}(c_j) = 4{,}5\, c^2_j \tag{3.2}$$

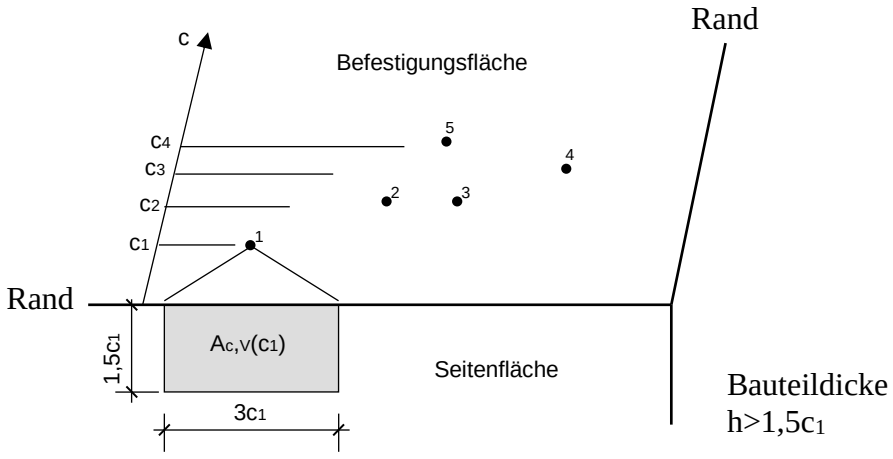


Bild 11 Beispiel für die reale projizierte Fläche $A_{c,V}$ (c_1) mit einem Anker im Ausbruchkörper

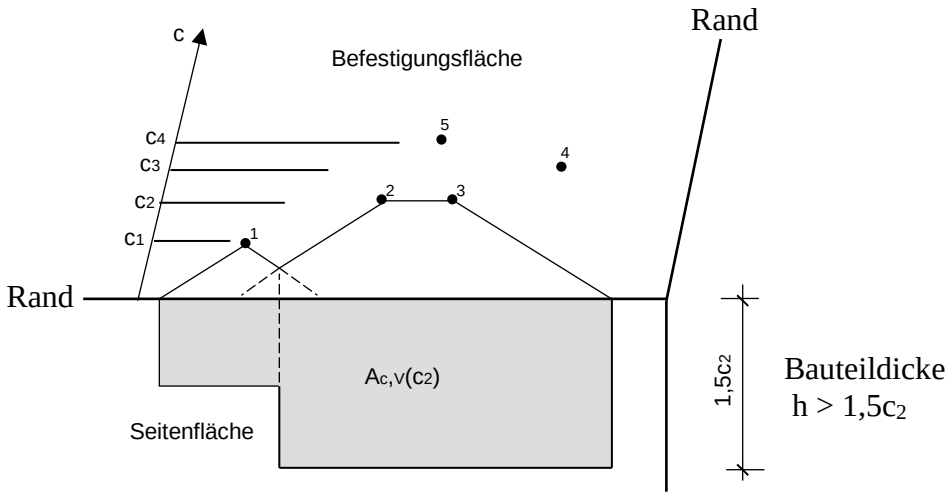


Bild 12 Beispiel für die reale projizierte Fläche $A_{c,V}$ (c_2) mit drei Ankern im Ausbruchkörper

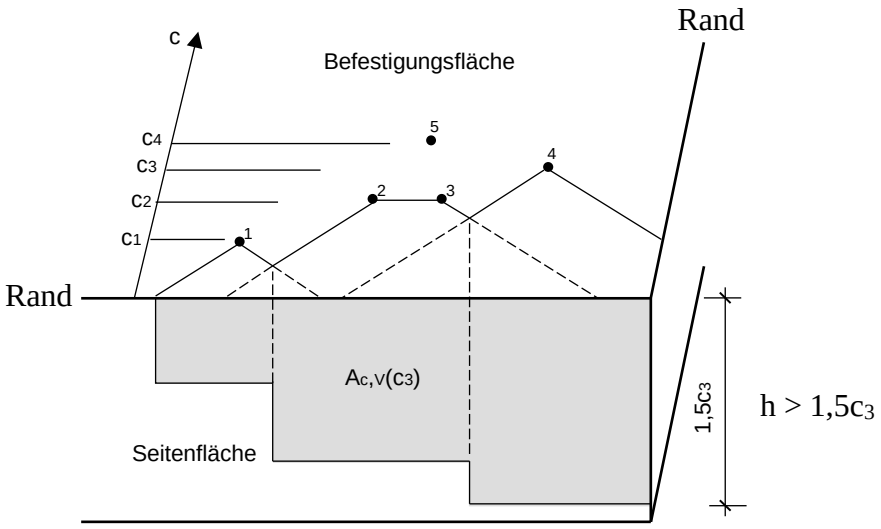


Bild 13 Beispiel für die reale projizierte Fläche $A_{c,V}$ (c_3) mit vier Ankern im Ausbruchkörper

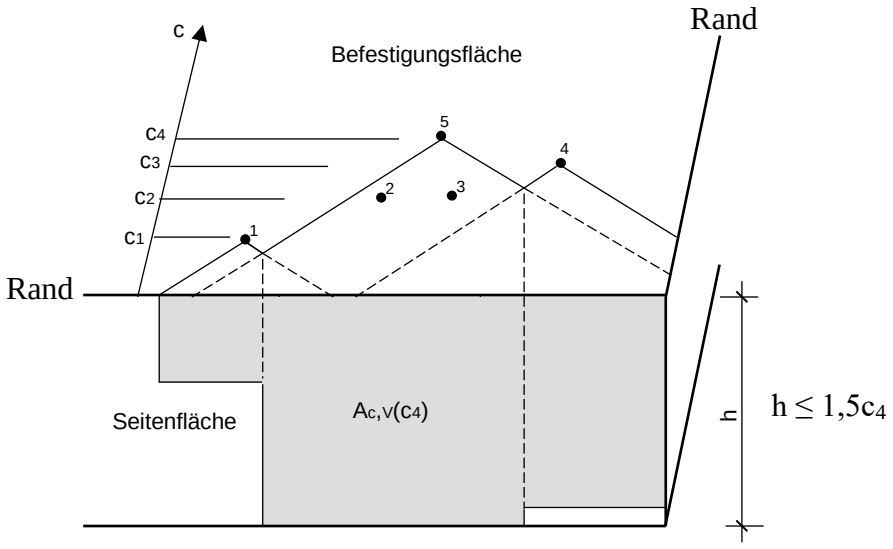
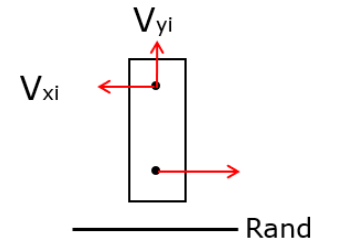


Bild 14 Beispiel für die reale projizierte Fläche $A_{c,V}$ (c_4) mit fünf Ankern im Ausbruchkörper

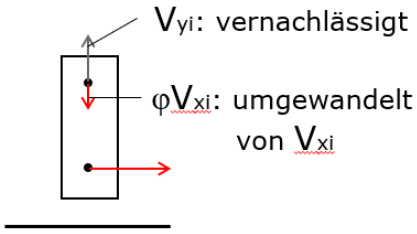
Der Bemessungswert der Einwirkung V_{Ed} (c_j) auf dem Ausbruchkörper mit dem Randabstand c_j wird aus den Querkräften der im Ausbruchkörper befindlichen Anker ermittelt. Dabei werden die senkrecht gegen den Rand gerichteten Kraftkomponenten vernachlässigt. Wenn auf dem Bruchkörper die Querkraftkomponenten parallel zum Rand sich in ihrer Richtung ändern, werden die kleineren Querkraftkomponenten mit einem Faktor von 0,5 nach [1] oder 0,4 nach [2-4] zu senkrecht zum Rand gerichteten Querkräften umgewandelt (Bild 15), weil der Faktor φ in Gleichung (3.3) nach [1] und [2-4] unterschiedlich ist.

$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos\alpha_V)^2+(\varphi\sin\alpha_V)^2}} \geq 1{,}0, \quad 0^\circ \leq \alpha_V \leq 90^\circ \qquad (3.3)$$

mit φ=0,5 nach [1] und φ=0,4 nach [2-4]



Berechnete Ankerquerkräfte



Verwendete Ankerquerkräfte
für die Bemessung

Bild 15 Behandlung der Ankerquerkräfte, welche parallel oder entgegengesetzt zum Rand wirken

Der Exzentrizitätsfaktor $\psi_{ec,V}$ wird nach Gleichung (3.4) berechnet:

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1+2e_V/(3c_j)} \leq 1 \qquad (3.4)$$

mit e_V: Abstand zwischen Ankerschwerpunkt und Wirkungslinie der resultierenden Querkraft.

Aus dem Vergleich zwischen der Einwirkung V_{Ed} (c_j) und dem Widerstand $V_{Rd,c}$ (c_j) ergibt sich der Ausnutzungsgrad $\beta_{c,V}$ (c_j).

$$\beta_{c,V}(c_j) = V_{Sd}(c_j) / V_{Rd,c}(c_j) \qquad (3.5)$$

Die höchste Auslastung aller Schichten ist für die Bemessung maßgebend. Die Bedingung nach (3.6) ist einzuhalten.

$$\beta_{c,V} = \max(\beta_{c,V}(c_1), \beta_{c,V}(c_2), \ldots, \beta_{c,V}(c_m)) \leq 1.0 \qquad (3.6)$$

3.2 Befestigungen mit Lochspiel im Anbauteil

Die Ankerquerkräfte in verschiedenen Fällen sind aus der Berechnung in Abschnitt 2.2 bekannt. Der Nachweis des Betonkantenbruchs wird für jeden Fall (z. B. Bild 9 für alle n-1 Fälle) analog zu Abschnitt 3.1 schichtweise für alle Ankerreihen parallel zum Rand durchgeführt.

Der maximale Ausnutzungsgrad aller Fälle wird als Kontrollgröße für den Nachweis des Betonkantenbruchs angenommen.

4. Überprüfung des Bemessungsmodells durch Versuchsergebnisse

Um die Richtigkeit der Bemessungsmethode zu überprüfen wurden 30 Versuche aus [7] auf [3] basierend nachgerechnet. Alle Versuche wurden in ungerissenem Beton C20/25 mit einer Bauteildicke von 500 mm und einem Randabstand von 100 mm durchgeführt. Dabei hatten die eingesetzten Anker ein normales Lochspiel in Ankerplatten. Die weiteren Versuchsparameter, die Rechenergebnisse sowie der Vergleich zwischen Versuchs- und Rechenergebnissen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Zusammenstellung und Vergleich der Versuchs- und Rechenergebnisse

Gruppen-Nr.	Versuche							Rechnung	Vergleich
	Anker		h_{ef}	Achsabstand		fc,200	T_u 1)	T_{Rd} 2)	T_u/T_{Rd}
	Anzahl	Größe	mm	s1	s2	N/mm²	kNm	kNm	-
1	4	M16	80	100	100	29,2	10,38	5,22	1,99
						29,2	8,76	5,22	1,68
						29,2	10,74	5,22	2,06
2	4	M16	80	50	50	22,5	4,16	1,62	2,56
						22,5	3,91	1,62	2,41
						22,5	3,91	1,62	2,41
3	4	M24	100	100	100	23,9	12,40	5,47	2,27
						23,9	13,35	5,47	2,44
						23,9	12,99	5,47	2,37
4	4	M16	80	50	100	23,8	4,21	2,55	1,65
						23,8	4,36	2,55	1,71
						23,8	6,14	2,55	2,41
5	4	M16	80	100	50	23,7	7,03	4,23	1,66
						23,7	8,23	4,23	1,95
						23,7	8,62	4,23	2,04
6	4	M16	130	100	100	25,2	10,79	5,24	2,06
						25,2	12,13	5,24	2,31
						26,7	13,28	5,40	2,46
7	4	M16	130	200	200	23,4	37,20	12,25	3,04
						25,2	36,63	12,71	2,88
						25,2	33,79	12,71	2,66
8	6	M16	130	100	100	22,9	20,76	7,85	2,65
						22,9	18,89	7,85	2,41
9	6	M16	130	200	100	23,6	36,34	11,03	3,30
						22,9	32,10	10,86	2,96
10	6	M16	130	100	200	26,7	36,66	16,35	2,24
						23,6	40,56	15,37	2,64
11	9	M16	130	100	100	23,4	36,79	16,14	2,28
						23,4	39,66	16,14	2,46
						23,4	42,94	16,14	2,66
Versuchsanzahl n= 30								Mittelwert	2,353
								Streuung [%]	0,174
								5%-Fraktilwert:	1,500

1) T_u : Bruchtorsionsmoment aus Versuch

2) T_{Rd} : Bemessungswert des Torsionsmoments bei der Auslastung von 100%

In Bild 16 werden die in den Versuchen gemessenen Bruch-Torsionsmomente T_u mit den berechneten Bemessungswerten der Torsionsmomente T_{Rd} verglichen. Aus der Auswertung von 30 Werten von T_u/T_{Rd} mit unbekannter Standardabweichung beträgt der 5%-Fraktilwert 1,5. Dies entspricht dem erforderlichen Teilsicherheitsbeiwert von Betonkantenbruch.

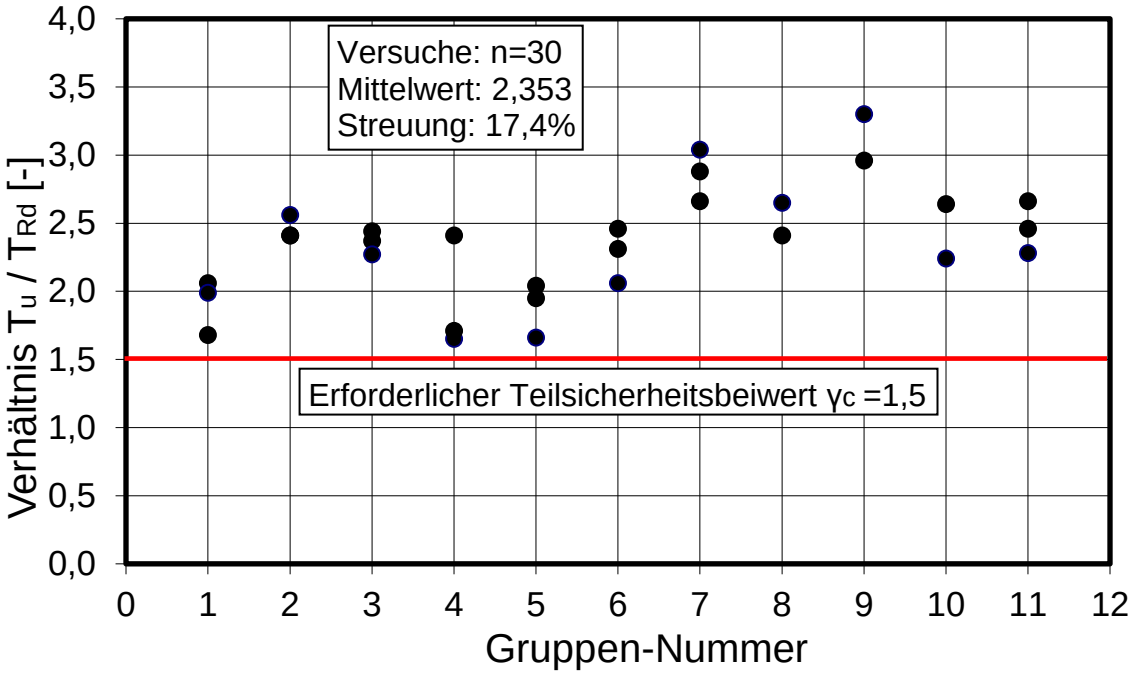


Bild 16 Vergleich zwischen Bruch-Torsionsmomenten T_u aus Versuch und Bemessungswerten der Torsionsmomente T_{Rd} aus der Berechnung

5. Bemessungsbeispiele

5.1 Befestigungen ohne Lochspiel im Anbauteil

Bei Befestigungen mit mehreren Ankerreihen parallel zum Rand ist der Nachweis des Betonkantenbruchs mit dem beschriebenen Bemessungsmodell recht aufwendig. Deshalb wurden die Berechnungen mithilfe einer Software umgesetzt [9]. Die Bemessungsbeispiele werden mit den Ergebnissen aus [9] erläutert.

Bild 17 zeigt die Ankeranordnung. Der Randabstand von Anker Nr. 3 beträgt 200 mm. Die weiteren Randbedingungen der Befestigung sowie die ermittelten Ankerquerkräfte sind in Tafeln 1 und 2 angegeben und in Bild 17 dargestellt.

Eingabedaten

Untergrund:

- Gerissener Beton, Festigkeitsklasse C20/25, Bauteildicke h=500 mm
- Keine Rand- und Aufhängebewehrung

Einwirkungen:

- Vorwiegend ruhende Lasten

Querlast: $V_{x,Sd}$ = 20,0 kN $V_{y,Sd}$ = 4,0 kN
Torsionsmoment: T_{Sd} = 3,0 kNm

Stahlprofil-Mittelpunkt bzw. Querlast Wirkpunkt (0, 0)

Montageart:

- Mit Ringspaltverfüllung

Dübelkoordinaten:

Nr.	x	y
1	-52,5	-90,9
2	52,5	-90,9
3	105,0	0,0
4	52,5	90,9
5	-52,5	90,9
6	-105,0	0,0

Tafel 1 Randbedingungen der Befestigung [9]

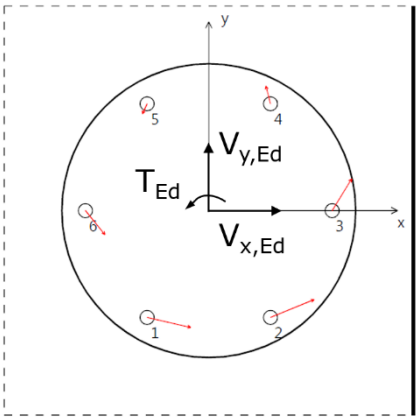


Bild 17 Ankeranordnung und –querkräfte [9]

Dübelschnittkräfte [kN]

Dübel	Querkraft	Querkraft x	Querkraft y
1	7,652	7,457	-1,714
2	8,056	7,457	3,048
3	6,370	3,333	5,429
4	3,148	-0,791	3,048
5	1,888	-0,791	-1,714
6	5,280	3,333	-4,095

Tafel 2 Berechnete Querkräfte nach der Gleichung (2.5)

Aus Tafel 3 wird ersichtlich, dass der Nachweis schichtweise für alle Ankerreihen parallel zum Rand durchgeführt wurde. Beim Nachweis der Gruppen (Gr.-Nr.) 3 und 4 wurde die kleinere Kraftkomponente in -y-Richtung (II z. Rand) der parallel zum Rand gerichteten Querkräfte mit dem Faktor von 0,4 zur +x-Richtung umgewandelt (II → ⊥). In diesem Beispiel ist Gruppe Nr. 4 mit allen sechs Ankern für die Bemessung maßgebend. Der höchste Ausnutzungsgrad ergibt sich nach Gleichung (3.6) wie folgt:

$\beta_{c,V} = \max(\beta_{c,V}(c_1), \beta_{c,V}(c_2), \ldots, \beta_{c,V}(c_m)) = \max(0.203, 0.382, 0.451, \mathbf{0.556}) = 0.556 < 1{,}0$

Somit ist die Befestigung für Betonkantenbruch nachgewiesen.

Betonkantenbruch

$V_{Rk,c} = V^0_{Rk,c} \cdot \psi_{A,V} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$ $\quad V^0_{Rk,c} = k_9 \cdot d_{nom}^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot (f_{ck})^{0.5} \cdot c_1^{1.5}$ [N] $\quad \psi_{A,V} = A_{c,V}/A^0_{c,V}$ $\quad V_{Rd,c} = V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$

$\alpha = 0.1 \cdot (l_f / c_1)^{0.5}$ $\quad \beta = 0.1 \cdot (d / c_1)^{0.2}$

Grundkennwerte für den Nachweis des Betonkantenbruchs:

h_{ef} [mm]	l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_9	f_{ck} [N/mm²]	$\psi_{re,V}$	γ_{Mc}
70,0	70,0	12,0	1,7	20,0	1,0	1,5

Der Ringspalt zwischen Anbauteil und Anker ist verfüllt.

Betonkante x+ :

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Bruch-Linie	c_1 [mm]	c'_1 [mm]	α	β	$V^0_{Rk,c}$ [kN]	$A_{c,V}$ [mm²]	$A^0_{c,V}$ [mm²]	$\psi_{A,V}$
1	3	3	200,0	-	0,059	0,057	31,730	180000	180000	1,000
2	3,2,4	2,4,3	252,5	-	0,053	0,054	43,803	354825	286903	1,237
3	3,2,4,1,5	1,5	357,5	-	0,044	0,051	71,157	627183	575128	1,091
4	3,2,4,1,5,6	6,5,1	410,0	-	0,041	0,049	86,255	627183	756450	0,829

Gr-Nr.	Anker-Nr.	$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{\alpha,V}$	e_V [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$	$V_{Rk,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]	$\beta_{V,c}$
1	3	1,000	1,000	1,482	0,0	1,000	1,000	47,021	31,347	6,370	0,203
2	3,2,4	1,000	1,000	1,291	48,2	0,887	1,000	62,017	41,345	15,787	0,382
3	3,2,4,1,5	1,000	1,036	1,109	87,0	0,860	1,000	76,712	51,141	23,050	0,451
4	3,2,4,1,5,6	1,000	1,109	1,071	80,7	0,884	1,000	75,107	50,072	27,840	**0,556**

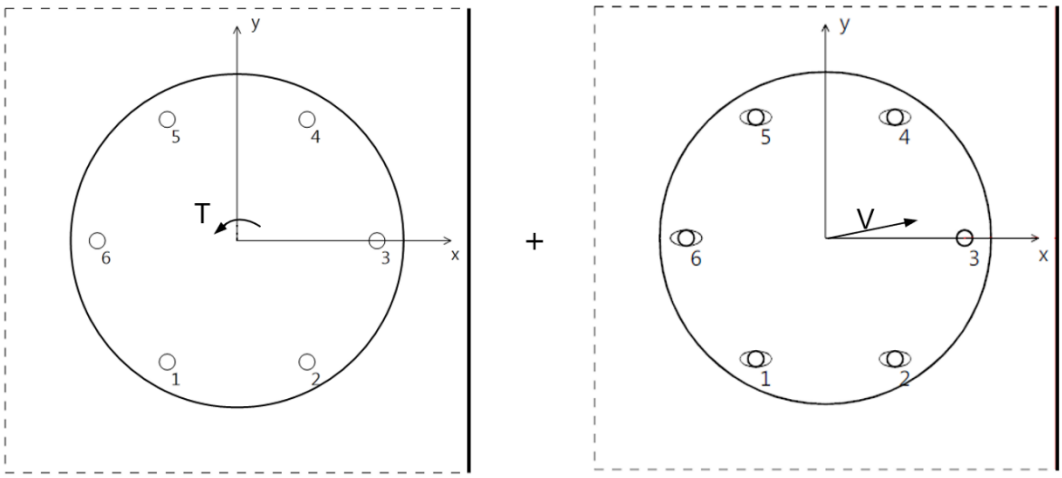
Zwischendaten für die Berechnung der Last-Exzentrizität e_V und des Winkels α_V:

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Kräfte ⇄ Behandelt ‖ z. Rand	‖ → ⊥	$\sum(Q_x)$ [kN]	$\sum(Q_y)$ [kN]	$\sum(Q_x \cdot y)$ [kNmm]	$\sum(Q_y \cdot x)$ [kNmm]	x_{s_Qy} [mm]	y_{s_Qx} [mm]	x_{s_D} [mm]	y_{s_D} [mm]	α_V [°]
1	3	-	-	3,333	5,429	0,0	570,0	105,0	0,0	105,0	0,0	58,4
2	3,2,4	-	-	10,791	11,524	-678,1	890,0	77,2	-62,8	70,0	0,0	46,9
3	3,2,4,1,5	√	y-	19,962	11,524	-1356,2	890,0	77,2	-67,9	21,0	0,0	30,0
4	3,2,4,1,5,6	√	y-	25,343	11,524	-1356,2	890,0	77,2	-53,5	0,0	0,0	24,5

Tafel 3 Schichtweise Überprüfung des Betonkantenbruchs basierend auf EN 1992-4 [1]

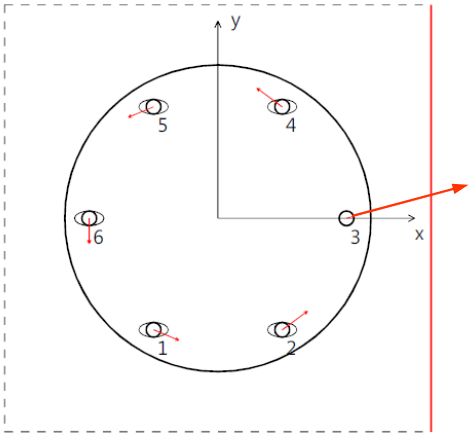
5.2 Befestigungen mit normalem Lochspiel mit einem Anker in der ersten Reihe parallel zum Rand

Für die Ankergruppe aus Beispiel 1 in Abschnitt 5.1 wurde eine Bemessung mit Lochspiel bzw. ohne Ringspaltverfüllung durchgeführt. Die Ankerquerkräfte ergeben sich aus der Summe der Kraftkomponenten aus dem Torsionsmoment T und der Querlast V (Bild 18).



a) Anker mit normalem Lochspiel für die Ermittlung der Querkräfte aus T

b) Hintere Anker mit fiktiven Langlöchern für die Ermittlung der Querkräfte aus V



c) Resultierende Ankerschnittkräfte

Bild 18 Darstellung der separaten Ermittlung der Kraftkomponenten Qx_T und Qy_T aus dem Torsionsmoment T und Qx_V und Qy_V aus der Querlast V (Tafel 4)

Dübel	Q	Qx	Qy	Qx_V	Qy_V	Qx_T	Qy_T
1	4,466	4,124	-1,714	0,000	0,667	4,124	-2,381
2	5,128	4,124	3,048	0,000	0,667	4,124	2,381
3	20,724	20,000	5,429	20,000	0,667	0,000	4,762
4	5,128	-4,124	3,048	0,000	0,667	-4,124	2,381
5	4,466	-4,124	-1,714	0,000	0,667	-4,124	-2,381
6	4,095	0,000	-4,095	0,000	0,667	0,000	-4,762

Tafel 4 Berechnete Ankerquerkräfte aus dem Torsionsmoment T und der Querlast V

Nachweis der Widerstände unter dieser Annahme:

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Bruch-Linie	c_1 [mm]	c'_1 [mm]	α	β	$V^0_{Rk,c}$ [kN]	$A_{c,V}$ [mm²]	$A^0_{c,V}$ [mm²]	$\psi_{A,V}$
1	3	3	200,0	-	0,059	0,057	31,730	180000	180000	1,000
2	3,2,4	2,4,3	252,5	-	0,053	0,054	43,803	354825	286903	1,237
3	3,2,4,1,5	1,5	357,5	-	0,044	0,051	71,157	627183	575128	1,091
4	3,2,4,1,5,6	6,5,1	410,0	-	0,041	0,049	86,255	627183	756450	0,829

Gr-Nr.	Anker-Nr.	$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{\alpha,V}$	e_V [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$	$V_{Rk,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]	$\beta_{V,c}$
1	3	1,000	1,000	1,027	0,0	1,000	1,000	32,579	21,719	20,724	**0,954**
2	3,2,4	1,000	1,000	1,078	17,1	0,957	1,000	55,865	37,243	26,735	0,718
3	3,2,4,1,5	1,000	1,036	1,052	43,5	0,925	1,000	78,200	52,133	32,102	0,616
4	3,2,4,1,5,6	1,000	1,109	1,046	48,2	0,927	1,000	76,934	51,289	34,021	0,663

Zwischendaten für die Berechnung der Last-Exzentrizität e_V und des Winkels α_V:

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Kräfte ⇄ || z. Rand	Behandelt || → ⊥	$\sum(Q_x)$ [kN]	$\sum(Q_y)$ [kN]	$\sum(Q_x \cdot y)$ [kNmm]	$\sum(Q_y \cdot x)$ [kNmm]	x_{s_Qy} [mm]	y_{s_Qx} [mm]	x_{s_D} [mm]	y_{s_D} [mm]	α_V [°]
1	3	-	-	20,000	5,429	0,0	570,0	105,0	0,0	105,0	0,0	15,2
2	3,2,4	-	-	24,124	11,524	-375,0	890,0	77,2	-15,5	70,0	0,0	25,5
3	3,2,4,1,5	√	y-	29,962	11,524	-750,0	890,0	77,2	-25,0	21,0	0,0	21,0
4	3,2,4,1,5,6	√	y-	32,010	11,524	-750,0	890,0	77,2	-23,4	0,0	0,0	19,8

Tafel 5 Schichtweise Überprüfung des Betonkantenbruchs basierend auf EN 1992-4 [1]

Die Nachweise des Betonkantenbruchs für jede Ankerreihe parallel zum Rand sind in Tafel 5 zusammengestellt. In diesem Beispiel ist die mögliche Bruchlinie des Ankers Nr. 3 für die Bemessung maßgebend. Der höchste Ausnutzungsgrad ergibt sich aus Tafel 5 nach Gleichung (3.6) wie folgt:

$$\beta_{c,V} = \max(\beta_{c,V}(c_1), \beta_{c,V}(c_2), \ldots, \beta_{c,V}(c_m)) = \max(\mathbf{0.954}, 0.718, 0.616, 0.663) = 0.954 < 1{,}0$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Befestigung trotz keiner Ringspaltverfüllung für Betonkantenbruch nachgewiesen.

Aus Tafel 4 ist ersichtlich, dass die berechnete Querkraft des querlastabtragenden Ankers Nr. 3 am Rand die Stahlquertragfähigkeit des Ankers überschreiten kann. Ein Sondernachweis hierfür ist nicht erforderlich, da bei der tatsächlichen Stahlversagenslast die Querkraft wegen großer Verschiebung auf die anderen Anker umgelagert wird. Die für den Nachweis des Betonkantenbruchs eingesetzte erhöhte Querkraft von Anker Nr. 3 ist somit konservativ.

* Corresponding Author: info@anchorprofi.de

5.3 Befestigungen mit normalem Lochspiel mit drei Ankern in der ersten Reihe parallel zum Rand

Die Randbedingungen des Beispiels sind in Tafel 6 angegeben. In diesem Beispiel gibt es mehr als zwei Anker in der ersten Reihe parallel zum Rand Der Nachweis des Betonkantenbruchs wird für zwei Fälle durchgeführt.

Eingabedaten

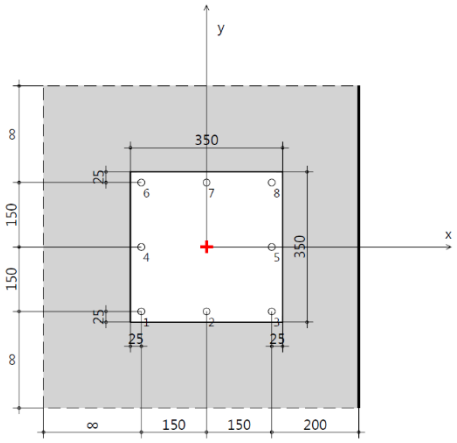
Untergrund:

- Gerissener Beton, Festigkeitsklasse C20/25, Bauteildicke h= 250 mm
- Keine Rand- und Aufhängebewehrung

Einwirkungen:

- Vorwiegend ruhende Lasten
  Querlast: $V_{x,Sd}$ = 8,0 kN
  Torsionsmoment: T_{Sd} = 22,0 kNm

Stahlprofil-Mittelpunkt bzw. Querlast Wirkpunkt (0, 0)



Betonkantenbruch

$V_{Rk,c} = V^0_{Rk,c} \cdot \psi_{A,V} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$ $V^0_{Rk,c} = k_9 \cdot d_{nom}{}^{\alpha} \cdot l_f{}^{\beta} \cdot (f_{ck})^{0.5} \cdot c_1{}^{1.5}$ [N] $\psi_{A,V} = A_{c,V}/A^0_{c,V}$ $V_{Rd,c} = V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$

$\alpha = 0.1 \cdot (l_f / c_1)^{0.5}$ $\beta = 0.1 \cdot (d / c_1)^{0.2}$

Grundkennwerte für den Nachweis des Betonkantenbruchs:

h_{ef} [mm]	l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_9	f_{ck} [N/mm²]	$\psi_{re,V}$	γ_{Mc}
85,0	85,0	16,0	1,7	20,0	1,0	1,5

Der Ringspalt zwischen Anbauteil und Anker ist nicht verfüllt.

Tafel 6 Verankerungsgrund, -geometrie und Ankergrundkennwerte

Für Fall 1 werden die Ankerquerkräfte wie folgt ermittelt:

- Die Querkräfte aus dem Torsionsmoment T_{Sd} = 22 kNm werden nach Gleichung (2.3) berechnet (siehe Q_{X_T} und Q_{Y_T} in der Tafel 7).
- Für die Berechnung der Querkräfte aus der Querlast $V_{X,Sd}$ = 8 kN wird angenommen, dass die Querlast nur durch die Anker Nr. 3 und Nr. 5 abgetragen wird (siehe Q_{X_V} und Q_{Y_V} in Tafel 7). Die kleinen Kraftkomponenten Q_{Y_V} (z. B. 0,615 kN beim Anker 1) werden durch ein zusätzliches Torsionsmoment hervorgerufen, welches aus der Last-Exzentrizität zwischen der Querlast $V_{X,Sd}$ und dem neuen Ankerschwerpunkt entsteht. Dieser neue Ankerschwerpunkt wird unter der o. g. Annahme neu bestimmt.

Mit den resultierenden Ankerquerkräften Q_X und Q_Y werden die Nachweise des Betonkantenbruchs schichtweise durchgeführt (Tafel 7). Beim Nachweis von Ankergruppe (Gr.-Nr.) 4 wurden die Kraftkomponenten parallel zum Rand (V ∥ z. Rand) mit dem Faktor 0,4 zu senkrecht zum Rand wirkenden Querkräfte umgewandelt (∥ → ⊥).

* Corresponding Author: info@anchorprofi.de

Für Fall 2 wird angenommen, dass die Querlast $V_{X,Sd}$ =8 kN nur durch die Anker Nr. 5 und Nr. 8 abgetragen wird (siehe Q_{X_V} und Q_{Y_V} in Tafel 8). Die weiteren Nachweisschritte werden analog zu Fall 1 durchgeführt.

In diesem Beispiel ist die mögliche Bruchlinie durch die Anker Nr. 1, 4 und 6 in Fall 1 für die Bemessung maßgebend. Der höchste Ausnutzungsgrad nach Gleichung (3.6) ergibt sich aus Tafel 7:

$\beta_{c,V} = \max(\beta_{c,V}(c_1), \beta_{c,V}(c_2), \ldots, \beta_{c,V}(c_m)) = 1{,}546 > 1{,}0$

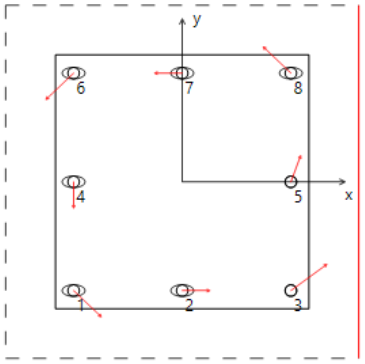
Somit überschreitet die Auslastung die Tragfähigkeit der Ankergruppe um ca. 55%.

Betonkante x+ : 2 benachbarte Anker (ausgenommen Langloch in x-Richtung) der ersten Reihe werden als ungünstigste Anker angenommen, wenn in dieser Reihe mehr als 2 Anker vorhanden sind.

Fall 1: Anker 3 und 5 übertragen die senkrecht zum Rand (x+) wirkenden Querlasten. Das Torsionsmoment wird durch alle Anker abgetragen.

Ankerquerkräfte [kN]:

Anker-Nr.	Q	Qx	Qy	Qx_V	Qy_V	Qx_T	Qy_T
1	16,855	12,222	-11,607	0,000	0,615	12,222	-12,222
2	12,222	12,222	0,000	0,000	0,000	12,222	0,000
3	19,697	15,915	11,607	3,692	-0,615	12,222	12,222
4	11,607	0,000	-11,607	0,000	0,615	0,000	-12,222
5	12,380	4,308	11,607	4,308	-0,615	0,000	12,222
6	16,855	-12,222	-11,607	0,000	0,615	-12,222	-12,222
7	12,222	-12,222	0,000	0,000	0,000	-12,222	0,000
8	16,855	-12,222	11,607	0,000	-0,615	-12,222	12,222



Erklärung:
1. Qx_V, Qy_V sind die x- und y-Komponenten der Ankerquerkräfte aus der Querlast.
2. Qx_T, Qy_T sind die x- und y-Komponenten der Ankerquerkräfte aus dem Torsionsmoment.
3. Die im Bild gezeichneten fiktiven Langlöcher sind für die Berechnung der Querkraftkomponente Qx_T und Qy_T aus dem Torsionsmoment nicht aktiv. Sie dienen nur zur Berechnung der Querkraftkomponente Qx_V und Qy_V aus der Querlast.
4. Der Randabstand ist nicht maßstäblich.

Nachweis der Widerstände unter dieser Annahme:

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Bruch-Linie	c_1 [mm]	c'_1 [mm]	α	β	$V^0_{Rk,c}$ [kN]	$A_{c,V}$ [mm²]	$A^0_{c,V}$ [mm²]	$\psi_{A,V}$
1	3,5	3,5	155,0	-	0,074	0,063	23,886	142988	108113	1,323
2	3,5,8	3,5,8	155,0	-	0,074	0,063	23,886	177863	108113	1,645
3	3,5,8,2,7	2,7	305,0	-	0,053	0,055	59,977	303750	418613	0,726
4	3,5,8,2,7,1,4,6	1,4,6	455,0	-	0,043	0,051	104,424	416250	931613	0,447

Gr-Nr.	Anker-Nr.	$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{\alpha,V}$	e_V [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$	$V_{Rk,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]	$\beta_{V,c}$
1	3,5	1,000	1,000	1,320	28,3	0,892	1,000	37,190	24,793	30,787	1,242
2	3,5,8	1,000	1,000	1,509	59,3	0,797	1,000	47,250	31,500	40,267	1,278
3	3,5,8,2,7	1,000	1,353	1,293	132,6	0,775	1,000	58,999	39,333	47,593	1,210
4	3,5,8,2,7,1,4,6	1,000	1,652	1,104	158,4	0,812	1,000	69,072	46,048	71,176	**1,546**

Zwischendaten für die Berechnung der Last-Exzentrizität e_V und des Winkels α_V:

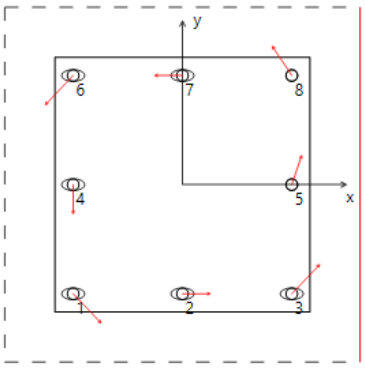
Gr-Nr.	Anker-Nr.	Kräfte ⇄ Behandelt ‖ z. Rand	‖ → ⊥	$\sum(Q_x)$ [kN]	$\sum(Q_y)$ [kN]	$\sum(Q_x \cdot y)$ [kNmm]	$\sum(Q_y \cdot x)$ [kNmm]	x_{s_Qy} [mm]	y_{s_Qx} [mm]	x_{s_D} [mm]	y_{s_D} [mm]	α_V [°]
1	3,5	-	-	20,222	23,214	-2387,2	3482,1	150,0	-118,0	150,0	-75,0	48,9
2	3,5,8	-	-	20,222	34,821	-2387,2	5223,1	150,0	-118,0	150,0	0,0	59,9
3	3,5,8,2,7	-	-	32,444	34,821	-4220,5	5223,1	150,0	-130,1	90,0	0,0	47,0
4	3,5,8,2,7,1,4,6	√	y+	62,077	-34,821	-6053,8	5223,1	-150,0	-97,5	0,0	0,0	29,3

Tafel 7 Ankerschnittkräfte und schichtweise Überprüfung des Betonkantenbruchs in Fall 1 basierend auf [2]

Fall 2: Anker 5 und 8 übertragen die senkrecht zum Rand (x+) wirkenden Querlasten. Das Torsionsmoment wird durch alle Anker abgetragen.

Ankerquerkräfte [kN]:

Anker-Nr.	Q	Qx	Qy	Qx_V	Qy_V	Qx_T	Qy_T
1	17,725	12,222	-12,838	0,000	-0,615	12,222	-12,222
2	12,222	12,222	0,000	0,000	0,000	12,222	0,000
3	17,725	12,222	12,838	0,000	0,615	12,222	12,222
4	12,838	0,000	-12,838	0,000	-0,615	0,000	-12,222
5	13,541	4,308	12,838	4,308	0,615	0,000	12,222
6	17,725	-12,222	-12,838	0,000	-0,615	-12,222	-12,222
7	12,222	-12,222	0,000	0,000	0,000	-12,222	0,000
8	15,413	-8,530	12,838	3,692	0,615	-12,222	12,222



Erklärung:
1. Qx_V, Qy_V sind die x- und y-Komponenten der Ankerquerkräfte aus der Querlast.
2. Qx_T, Qy_T sind die x- und y-Komponenten der Ankerquerkräfte aus dem Torsionsmoment.
3. Die im Bild gezeichneten fiktiven Langlöcher sind für die Berechnung der Querkraftkomponente Qx_T und Qy_T aus dem Torsionsmoment nicht aktiv. Sie dienen nur zur Berechnung der Querkraftkomponente Qx_V und Qy_V aus der Querlast.
4. Der Randabstand ist nicht maßstäblich.

Nachweis der Widerstände unter dieser Annahme:

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Bruch-Linie	c_1 [mm]	c'_1 [mm]	α	β	$V^0_{Rk,c}$ [kN]	$A_{c,V}$ [mm²]	$A^0_{c,V}$ [mm²]	$\psi_{A,V}$
1	5,8	5,8	155,0	-	0,074	0,063	23,886	142988	108113	1,323
2	3,5,8	3,5,8	155,0	-	0,074	0,063	23,886	177863	108113	1,645
3	3,5,8,2,7	2,7	305,0	-	0,053	0,055	59,977	303750	418613	0,726
4	3,5,8,2,7,1,4,6	1,4,6	455,0	-	0,043	0,051	104,424	416250	931613	0,447

Gr-Nr.	Anker-Nr.	$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{\alpha,V}$	e_V [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$	$V_{Rk,c}$ [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]	$\beta_{V,c}$
1	5,8	1,000	1,000	1,923	12,4	0,949	1,000	57,660	38,440	26,034	0,677
2	3,5,8	1,000	1,000	1,651	43,7	0,842	1,000	54,619	36,413	41,910	1,151
3	3,5,8,2,7	1,000	1,353	1,389	124,4	0,786	1,000	64,289	42,860	48,062	1,121
4	3,5,8,2,7,1,4,6	1,000	1,652	1,131	157,7	0,812	1,000	70,795	47,197	71,491	1,515

Zwischendaten für die Berechnung der Last-Exzentrizität e_V und des Winkels α_V:

Gr-Nr.	Anker-Nr.	Kräfte ⇄ ‖ z. Rand	Behandelt ‖ → ⊥	$\sum(Q_x)$ [kN]	$\sum(Q_y)$ [kN]	$\sum(Q_x \cdot y)$ [kNmm]	$\sum(Q_y \cdot x)$ [kNmm]	x_{s_Qy} [mm]	y_{s_Qx} [mm]	x_{s_D} [mm]	y_{s_D} [mm]	α_V [°]
1	5,8	-	-	4,308	25,675	0,0	3851,3	150,0	0,0	150,0	75,0	80,5
2	3,5,8	-	-	16,530	38,513	-1833,3	5776,9	150,0	-110,9	150,0	0,0	66,8
3	3,5,8,2,7	-	-	28,752	38,513	-3666,7	5776,9	150,0	-127,5	90,0	0,0	53,3
4	3,5,8,2,7,1,4,6	√	y+	60,231	-38,513	-5500,0	5776,9	-150,0	-91,3	0,0	0,0	32,6

Tafel 8 Ankerschnittkräfte und schichtweise Überprüfung des Betonkantenbruchs in Fall 2 basierend auf EN 1992-4 [1]

6. Zusammenfassung

Für die Bemessung von Ankergruppen am Bauteilrand unter Querlasten spielt die Versagensart Betonkantenbruch eine entscheidende Rolle. Dies gilt insbesondere für Befestigungen mit Lochspiel. Da in der Praxis häufig Lochspiel vorhanden ist, lässt sich für beliebige Ankergruppen die relevante Querkraftverteilung auf Anker am Bauteilrand nicht genau berechnen. Bisher wird die Querkraftverteilung auf randnahe Anker für den Nachweis des Betonkantenbruchs maximal für vier Anker mithilfe einer konservativen Berechnungsmethode geregelt. Wenn die Ankergruppen am Bauteilrand vorwiegend durch Torsion beansprucht werden, ist es nicht auszuschließen, dass die hinteren Ankerreihen für den Betonkantenbruch maßgebend sein können.

* Corresponding Author: info@anchorprofi.de

Um den Anwendungsbereich von Befestigungen auf beliebige Ankergruppen unter beliebigen Lasten zu erweitern, wird ein Bemessungsmodell für die Versagensart Betonkantenbruch bei beliebigen Ankergruppen mit und ohne Lochspiel im Anbauteil unter beliebigen Querlasten entwickelt. Dabei wird bei Befestigungen mit Lochspiel angenommen, dass die Querkraft senkrecht zum Rand nur durch zwei benachbarte Anker in der ersten Reihe parallel zum Rand übertragen wird. Das Torsionsmoment wird durch alle Anker in der Gruppe abgetragen.

Wenn bei Ankergruppen mit Lochspiel in der ersten Ankerreihe parallel zum Rand mehr als zwei Anker vorhanden sind, werden die Nachweise des Betonkantenbruchs für unterschiedliche Fällen durchgeführt, wobei jeweils nur zwei benachbarte Anker die Querlast zum Rand abtragen. Für jeden Fall werden alle Ankerreihen parallel zum Rand für Betonkantenbruch überprüft. Die Berechnung wird mithilfe einer Software durchgeführt [9].

Zur Verifizierung des entwickelten Bemessungsmodells wurden 30 Versuche nachgerechnet. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass das Bemessungsmodell eine ausreichende Sicherheit vorweist. Das Bemessungsmodell eignet sich somit zur Untersuchung und Bemessung von Ankergruppen mit beliebiger Ankeranordnung unter beliebiger Querlast- und Torsionsbeanspruchung.

Abschließend wird das entwickelte Bemessungsmodell mithilfe von drei Beispielen detailliert erläutert.

Literatur

[1] DIN EN 1992-4 Eurocode 2 - Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton, DEUTSCHE NORM, Beuth Verlag April 2019
[2] ETAG 001, Annex C: DESIGN METHODS FOR ANCHORAGES, EOTA, 1040 Brussels, Amended October 2001
[3] EOTA TR029 Design of Bonded Anchors, Edition June 2007, EOTA, 1040 Brussels, Amended September 2010
[4] Technical specification CEN/TS 1992-4: Design of Fastenings for Use in Concrete, European Committee for Standardization, 2009
[5] fib bulletin 58: Design of anchorages in concrete, ISSN 1562-3610, July 2011
[6] Li, L.: Design of general anchor groups on an edge of concrete member subjected to shear load and torsional moment, Presentation on fib TG2.9 meeting, Helsinki May 2013
[7] Philipp R. Grosser, Load-bearing behavior and design of anchorages subjected to shear and torsion loading in uncracked concrete, Dissertation Universität Stuttgart 2012
[8] Li, L.: Required Stiffness of Base Plates subjected to Shear Loading, Presentation on fib TG2.9 web meeting, November 2021
[9] Dr. Li Anchor Profi GmbH: Herstellerunabhängige Anker-Bemessungssoftware *Anchor Profi* 3.4.6, Februar 2022

* Corresponding Author: info@anchorprofi.de