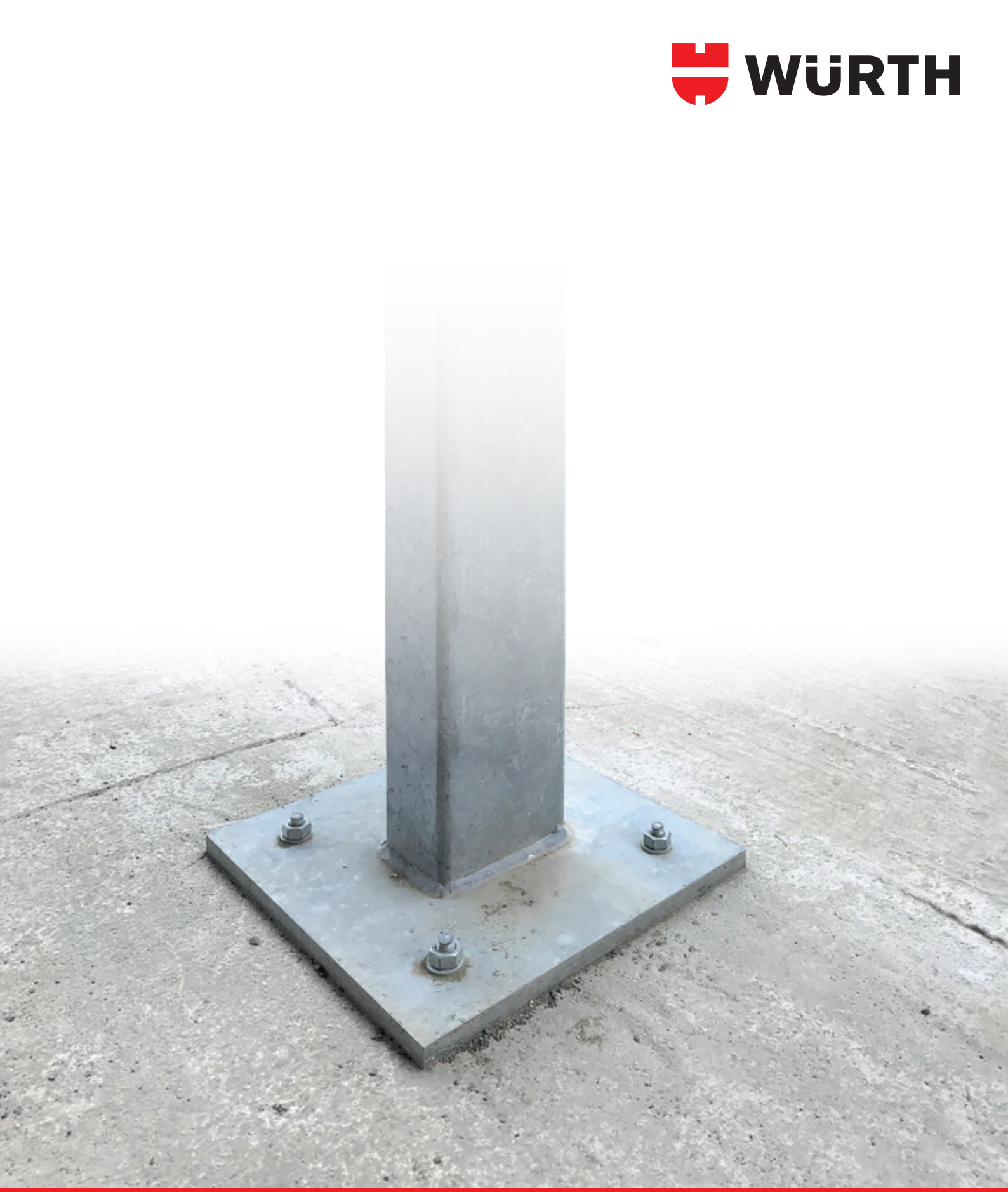


Fachbeitrag

EINFLUSS DER ANKERPLATTENSTEIFIGKEIT AUF DIE BELASTUNG VON VERANKERUNGEN

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann

Autor

Prof. Dr. Jan Hofmann
Universität Stuttgart
Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB)
Stellv. Direktor der Materialprüfanstalt Universität Stuttgart

Arbeitsschwerpunkte: Verankerungen in allen Arten von Untergründen, Klebeverankerungen, Prüfung und Begutachtungen von Tragwerken und Bauprodukten sowie von Bewehrungstechnik und Bewehrungselementen.

Einleitung

Um Lasten in Betonbauteile einleiten zu können, werden häufig nachträgliche Befestigungsmittel oder Einlegeteile verwendet. Die Lasteinleitung in die Befestigungsmittel erfolgt in der Regel über eine Ankerplatte, welche die Belastung des Anschlussprofils auf die einzelnen Befestigungsmittel überträgt (siehe Abbildung 1a).

Abbildung 1a: typischer Fußpunktanschluss eines Geländers.

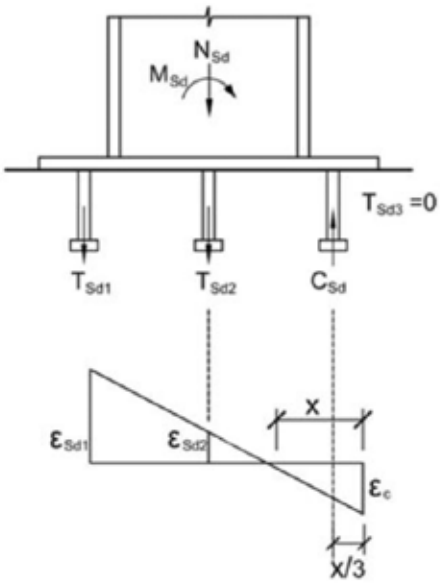


Abbildung 1b: Annahme eines eben bleibenden Querschnitts nach fib design guide [1].

Die Berechnung der Lasten und die Bemessung der Befestigungsmittel erfolgt nach DIN EN 1992-4 [2], wobei die dort angegebenen Bemessungsmethode nur angewendet werden darf, wenn die Ankerplatte ausreichend steif ist. Die Voraussetzungen für das vorhanden sein einer steifen Ankerplatte werden jedoch in EN 1992-4 nicht vollständig angegeben. Es wird lediglich ein genereller Hinweis gegeben, dass die für die Bemessung angenommene lineare Verteilung der Dübelkräfte gewährleistet sein muss. Die Forderung nach EN 1992-4 bedeutet, dass die unter Annahme eines eben bleibenden Querschnitts (damit einer absolut steif angenommenen Ankerplatte) ermittelten Dübelkräfte den realen Dübelkräften entsprechen (Abbildung 1b).

Definition einer steifen Ankerplatte nach DIN EN 1992-4

Nach DIN EN 1992-4 werden im Grunde damit zwei Kriterien gefordert:

1. Die Ankerplatte verhält sich unter den Bemessungslasten elastisch und es gilt:
   $\sigma_{Ed,Ankerplatte} \leq f_{yd,Ankerplatte}$ (1)

2. Die Ankerplattenverformung im Vergleich zur axialen Ankerverschiebung ist vernachlässigbar und damit gilt folgendes:
   $\delta_{Ankerplatte} \leq \leq \delta_{Verankerung}$ (2)

Sind beide Kriterien erfüllt, kann die Ankerplatte als ausreichend steif angenommen werden. Hintergrund hierfür ist, dass bei einem elastischen Verhalten der Ankerplatte die Verformung ausreichend klein bleibt. Ist zudem die Verschiebung der Dübel deutlich größer als die elastische Verformung der Ankerplatte, so kann eine lineare Kraftverteilung (und damit auch eine ausreichend steife Ankerplatte) angenommen werden. Für die Praxis bedeutet dies, dass für weniger steife Dübel (z. B. Metallspreizdübel) geringere Ankerplattendicken notwendig sind als für steife Dübel, die nur wenig Verschiebung ermöglichen (z. B. Verbunddübel).

In den meisten Fällen wird bisher jedoch nur das 1. Kriterium nach EN 1992-4 und damit Gleichung (1) überprüft. Von Malleé und Riemann [3] ein Spannungskriterium entwickelt, welches darauf basiert, dass die Ankerplatte im elastischen Zustand verleibt. Hierfür wird ein mittleres maximales Moment in der Ankerplatte ermittelt und die daraus resultierende Spannung mit der Fließgrenze des verwendeten Stahls verglichen.

In Gleichung 3 sind M das gemittelte, maximale in der Ankerplatte wirkende Moment und Wel das Widerstandsmoment der Ankerplatte in diesem Bereich. Das Widerstandsmoment Wel berechnet sich aus der Ankerplattendicke t und der mitwirkenden Breite h der Ankerplatte. Das Moment M darf für die Berechnung über einen Bereich gemittelt werden, der der Flanschbreite s plus der 2fachen Plattendicke t entspricht (siehe Abbildung 2a).

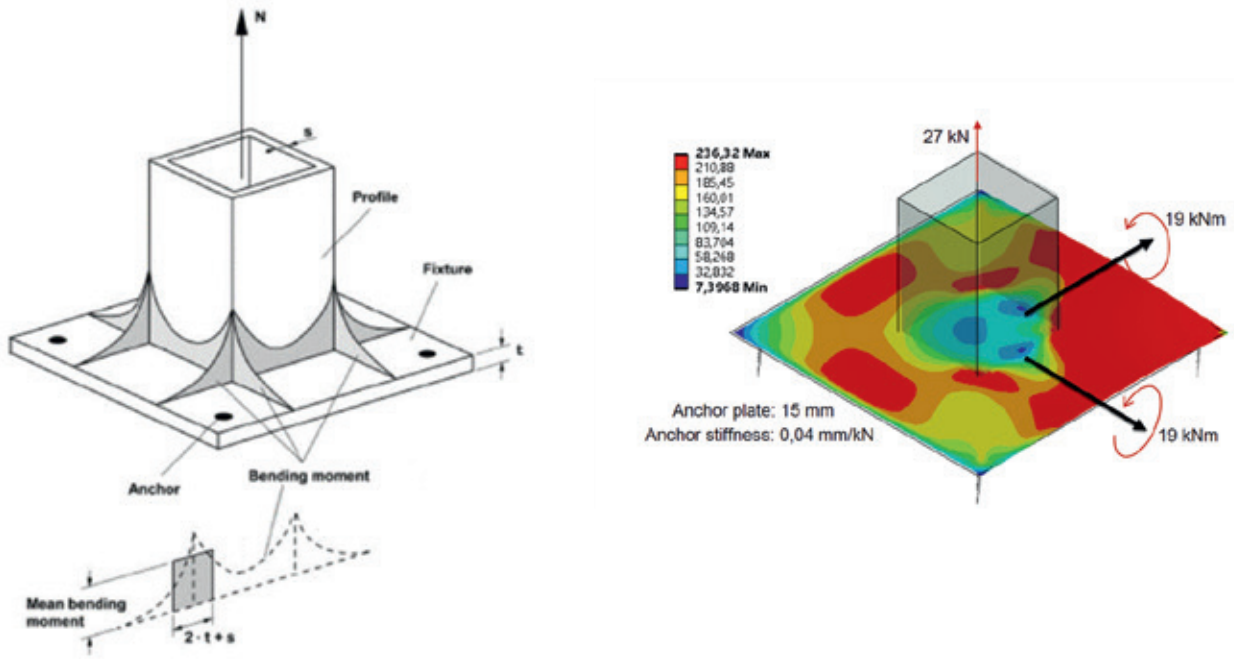
$$\sigma = \frac{M}{W_{el}};\ W_{el} = \frac{bt^2}{6} \rightarrow t = \sqrt{\frac{6M}{bf_{yk}}} \qquad (3)$$

Die Berechnung erfolgt heute jedoch größtenteils mittels numerischer Berechnungen (Abbildung 2b), wie dies z. B. in der Würth Technical Software der Fall ist.

In vielen Fällen kann diese Bedingung ausreichen, insbesondere, wenn die Dübel nahe im Bereich des Anschlussprofils angeordnet sind oder die Ankerplatte durch Aussteifungen verstärkt ist. D. h. es wird davon ausgegangen, dass das 2. Kriterium automatisch erfüllt ist. Allerdings gibt es auch Fälle, in denen dieses Kriterium allein nicht ausreicht.

Die Untersuchungen von Schneider [4], Fichtner [5], Fitz et al. [6] und Bokor [7] zeigen, dass im ungünstigsten Fall (große Ankerplatte mit kleinem Anschlussprofil bei exzentrischer Momentenbelastung) die Dübelkräfte um den Faktor 2 bis 2,5 unterschätzt werden.

Abbildung 2: Nachweis der maximalen Spannung in der Ankerplatte, um ein Fließen zu vermeiden.



a) nach Malleé [3]

b) mittels Finiter Element Berechnung

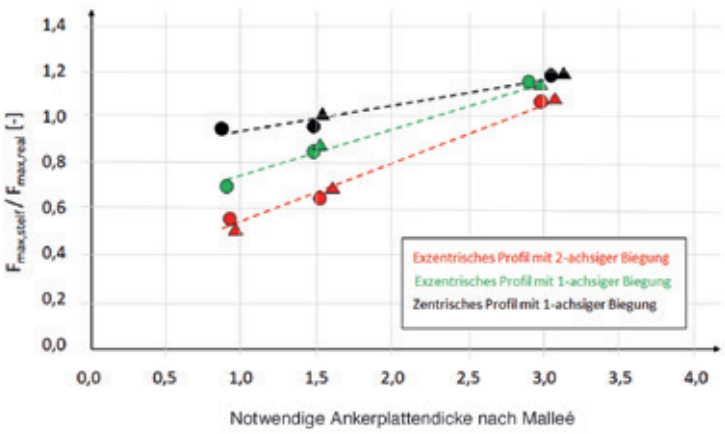


Abbildung 3: Vergleich der Dübelkräfte bei Annahme einer steifen Ankerplatte mit den tatsächlich auftretenden Dübelkräften in Abhängigkeit der Ankerplattendicke nach Fichtner [5].

Für diese Fälle ist damit die Ankerplatte nicht ausreichend steif genug, um einen eben bleibenden Querschnitt zu gewährleisten, auch wenn diese vollständig elastisch bleibt. Die Dübelkräfte sind damit nicht mehr linear verteilt und können damit deutlich höher sein als nach EN 1992-4 berechnet und angenommen. Für einen solchen Fall gibt es zwei Lösungsmöglichkeiten:

1. Die Ankerplattendicke muss vergrößert oder die Ankerplatte ausgesteift werden, sodass die nach EN 1992-4 geforderte lineare Kraftverteilung erfüllt ist. In diesem Fall muss also auch das 2. Kriterium nach EN 1992-4 mit Gleichung (2) erfüllt werden. Genauere Angaben, wie der Nachweis geführt werden muss, sind in EN 1992-4 nicht enthalten.

2. Die Ausnutzung einer solchen Verankerung ist auf ca. 50 % zu begrenzen. In diesem Fall werden die durch die zu weiche Ankerplatte um 50 % erhöhten Dübelkräfte in Kauf genommen, die Tragfähigkeit der Verankerung im Gegenzug jedoch auf 50 % begrenzt.

Nachweis von Verankerungen und Ankerplatte mittels Finite-Elemente-Berechnungen

Modellierung

Bei den numerischen Berechnungen von Verankerungen mittels Federmodellen kann zwischen linearen und nicht linearen Modellansätzen unterschieden werden. Gekoppelte Modelle, bei denen die Ankerplatte und der Betonuntergrund mithilfe von Federelemente gekoppelt werden, erfüllen automatisch das Kräfte- und Verschiebungsgleichgewicht. Für die Berechnungen sind neben der genauen Geometrie auch die Federkennlinie des Dübels, die Kontaktfedern zwischen Ankerplatte und Beton

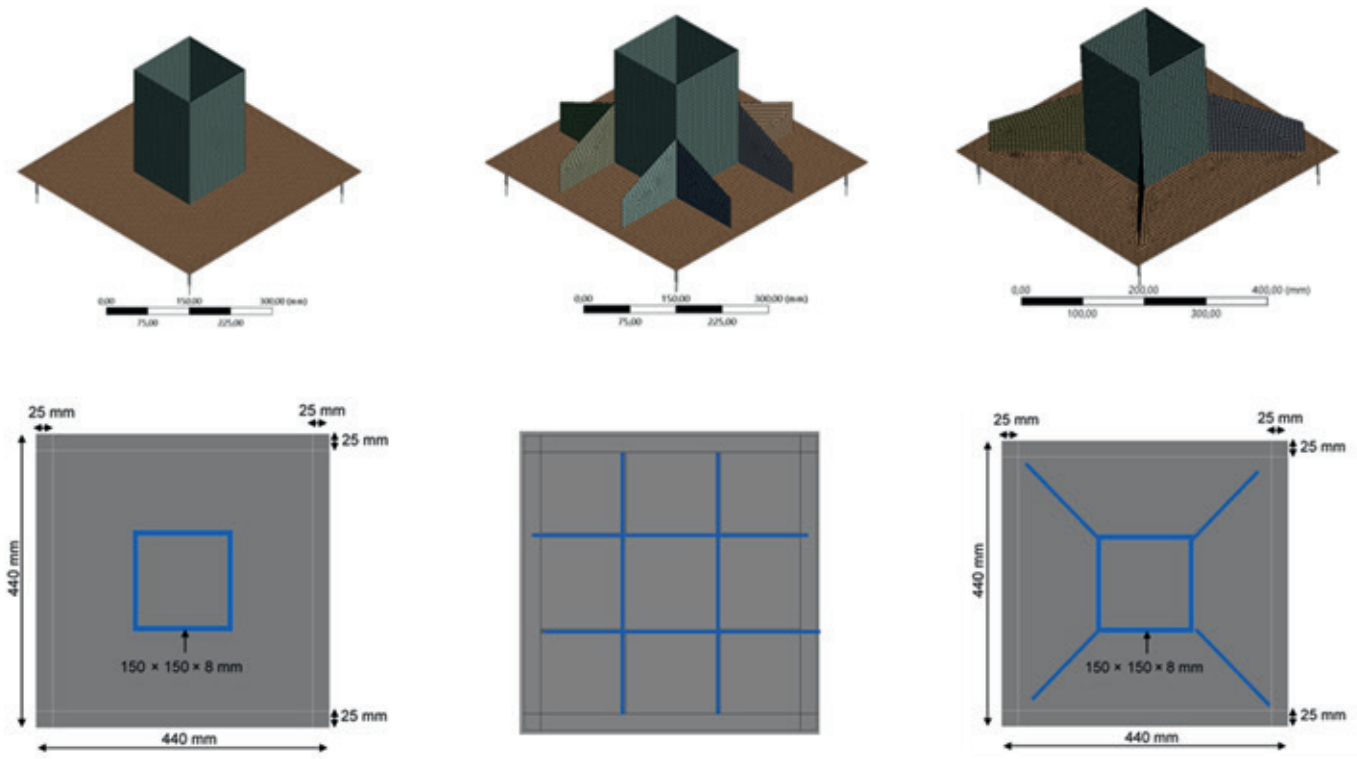


Abbildung 4: Geometrie für die numerische Berechnung eines Anschlusses mit Anschlussprofil ohne und mit Aussteifungen der Ankerplatte.

sowie das Materialmodell für die Ankerplatte festzulegen. Diese Definition kann jedoch allgemeingültig und von der zu berechnenden Geometrie unabhängig erfolgen.

In Abbildung 4 sind exemplarisch eine Ankerplatte mit rechteckigem Anschlussprofil sowie 2 unterschiedlichen Aussteifungen dargestellt.

Im Folgenden wird eine Modellierung vorgestellt, die einem linearen Federmodell entspricht. Dabei wird die Federsteifigkeit der Dübel so gewählt, dass diese möglichst einem steifen Auflager entsprechen. Die Dübelsteifigkeit wird daher immer mit 1.000 kN/mm angenommen.

Grundsätzlich kann auch eine realistischere Federsteifigkeit angenommen werden, die sich aus den Versuchen ergibt. Bei der Annahme einer realistischen Federsteifigkeit ist jedoch zu beachten, dass die Steifigkeit von Verankerungen sehr stark schwankt. In den Europäisch Technischen Zulassungen (ETA) sind jeweils nur die maximalen Verschiebungen bzw. die minimalen Steifigkeiten angegeben. Die Angabe mittlerer Werte oder die Angabe einer maximalen Steifigkeit fehlt meist. Zudem unterscheiden sich die Steifigkeiten ein und desselben Dübels in unterschiedlichen Betonqualitäten, für unterschiedliche Verankerungstiefen und Dübeldurchmesser. Zudem ist die Steifigkeit davon abhängig, ob der Dübel im Riss verankert ist und breit der Riss tatsächlich ist. Daher ist es nur schwer möglich allgemeingültige Annahme für realistische Federsteifigkeiten zu treffen. Angesichts dessen wurde ein Ansatz gewählt, der diese Fragestellung dadurch begegnet, dass für alle Berechnungen die ungünstigste Federsteifigkeit (hier 1.000 kN/mm) angenommen wird.

Die Modellierung eines Anschlusses erfolgt damit wie folgt: Die Ankerplatte und das Anschlussprofil werden geometrisch realistisch modelliert und den Elementen wird ein linear elastisches Materialmodell für Stahl zugewiesen. Die Berechnungen erfolgen mit einem E-Modul für Stahl von 210.000 N/mm². Die Dübel werden als linear elastische Federkennlinien mit einer Steifigkeit von 1.000 kN/mm modelliert. Der Beton wird mit einem Bettungsmodul nach Winkler modelliert, um die Abstützung der Ankerplatte auf dem Beton realistisch zu modellieren.

Bei den gekoppelten Ansätzen sind daher auch die oben genannten Eingangsparameter von Bedeutung, wenn es um die Beurteilung der Ergebnisse geht. Im Rahmen der Würth-Softwareentwicklung wurden diese Einflüsse hinsichtlich der zu erwartenden Dübelkräfte untersucht:

1. Einfluss Elementtyp der Ankerplatte
2. Einfluss Kontaktsteifigkeit zwischen Ankerplatte und Beton
3. Einfluss Modellierungsart bei der Belastung

Es konnte gezeigt werden, dass der Einfluss auf die Berechnungsergebnisse, was die Dübelkräfte betrifft, gering ist. Im Gegensatz hierzu ist der Einfluss auf die maximale Spannung (van Mieses) in der Ankerplatte deutlich mehr beeinflusst.

Im Folgenden sind die Ergebnisse für die variierten Einflussparameter detaillierter dargestellt. Die Berechnungen wurden mit einer mittleren Federsteifigkeit von 100 kN /mm anstatt 1.000 kN/mm durchgeführt, um unter realistischen Bedingungen für die Dübelsteifigkeit den Einfluss zu ermitteln.

Einfluss Elementtyp der Ankerplatte

Für die numerische Berechnung der Ankerplatte können entweder Volumenelemente oder Schalenelemente verwendet werden. Beide Berechnungsmodelle sind unter gleichbleibenden Randbedingungen vergleichbar. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Belastung des Anschluss-profils	Anker-platten-dicke	Dübel-steifigkeit	Modellie-rung der Ankerplatte	Ergebnisse Dübelkräfte				Max. Span-nung
				N1	N2	N3	N4	
[-]	[mm]	[mm/kN]	[-]	[kN]				[N/mm²]
Biegung + Zugbelastung	35	0,01	Solid[(a)]	52,39	12,43	12,43	0,00	93,33
			Shell	52,65	12,35	12,35	0,00	81,71
Biegung + Druck-belastung			Solid[(a)]	38,71	6,86	6,86	0,00	67,84
			Shell	39,16	6,83	6,83	0,00	58,58
[(a)] Hexaeder-Elemente 2. Ordnung								

Tabelle 1: Ergebnisse zum Einfluss des Elementtyps der Ankerplatte.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss auf die Dübelkräfte bei rd. 2 % bis 3 % liegt. Der Einfluss auf die maximale Spannung im Bereich der Ankerplatte beträgt hingegen rd. 15 %, wobei die Modellierung mit Schalenelement zu geringeren Spannungen in der Ankerplatte führt.

Einfluss Kontaktsteifigkeit

Im Allgemeinen wird Beton unterhalb der Ankerplatte mit reinen Druckfedern modelliert. Bei der durchgeführten Untersuchung wurde der Beton unterhalb der Ankerplatte als starr angesehen. Die Interaktion zwischen dem starren Untergrund und der Ankerplatte wurde mit einem reibungsfreien Kontakt auf der Grundlage eines „pure-penalty"-Algorithmus modelliert. Dies bedeutet, dass das Maß der Penetration zwischen Betonoberfläche und Ankerplattenunterseite durch numerische Toleranzen definiert wird. Um den Einfluss zu untersuchen, wurde die Kontaktsteifigkeit, wie durch die Würth Technical Software II angenommen, auf 1/10 reduziert. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Belastung des Anschluss-profils	Anker-platten-dicke	Dübel-steifigkeit	Kontakt-steifigkeit	Ergebnisse Dübelkräfte				Max. Span-nung
				N1	N2	N3	N4	
[-]	[mm]	[mm/kN]	[-]	[kN]				[N/mm²]
Biegung + Zugbelastung	35	0,01	Programm	52,65	12,35	12,35	0,00	81,71
			1/10	53,50	12,52	12,52	0,00	83,61
Biegung + Druck-belastung			Programm	39,16	6,83	6,83	0,00	58,58
			1/10	44,80	5,92	5,92	0,00	72,56

Tabelle 2: Ergebnisse zum Einfluss der Kontaktsteifigkeit.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss der Kontaktsteifigkeit bis zu 15 % betragen kann. Der Einfluss auf die maximale Spannung im Bereich der Ankerplatte beträgt hingegen bis zu 24 %, wobei die Modellierung mit deutlich reduzierter Kontaktsteifigkeit zu größeren Spannungen in der Ankerplatte führt.

Einfluss Modellierungsart der Belastung

Für die Berechnung einer Verankerung gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Belastung zu modellieren und auf die Ankerplatte aufzubringen. Um den Einfluss einer unterschiedlichen Modellierung zu untersuchen, wurden zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Lastmodellierung untersucht. Die Druckbelastung wurde hierbei auf das Profil und die Momentenbelastung auf die Ankerplatte aufgebracht. Bei dieser Art der Modellierung kann das Moment entweder auf die Fläche außerhalb des Profils oder auf die Fläche auf die Fläche innerhalb des Profils aufgebracht werden. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Belastung des Anschluss-profils	Anker-platten-dicke	Dübel-steifigkeit	Momenten-belastung	Ergebnisse Dübelkräfte				Max. Span-nung
				N1	N2	N3	N4	
[-]	[mm]	[mm/kN]	[-]	[kN]				[N/mm²]
Biegung + Druck-belastung	35	0,01	Außerhalb des Profils	39,16	6,83	6,83	0,00	58,58
				38,92	6,03	6,03	0,00	58,29
				38,69	6,10	6,10	0,00	52,22
			Innerhalb des Profils	41,65	10,28	10,28	0,14	177,43
				40,02	8,65	8,65	0,05	123,45
				40,64	7,31	7,31	0,00	124,48

Tabelle 3: Ergebnisse zum Einfluss der Modellierungsart der Belastung.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss für die höchstbelasteten Verankerungen vernachlässigbar ist. Allerdings ergeben sich bei den Dübelkräften N2 und N3 Unterschiede bis zu 50 %. Der Einfluss auf die maximale Spannung im Bereich der Ankerplatte ist hingegen sehr hoch. Bei einem Aufbringen der Modellierung auf die Ankerplatte außerhalb des Profils reduziert die Spannungen in der Ankerplatte um den Faktor 2,5 bis 3 und dürfte daher die Spannungen in der Ankerplatte unterschätzen.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei einer üblichen Modellierung mit unterschiedliche Elementtypen und Kontaktsteifigkeiten die Ergebnisse der maximalen Dübellasten vergleichbar sind und nur geringfügig von den Eingangsparametern abhängen.

Berechnungsablauf

Der Nachweis einer Verankerung inklusive Ankerplatte erfolgt mit folgendem Berechnungsablauf. Ziel der Berechnung ist es, die geforderten Bedingungen nach EN 1992-4 vollständig zu erfüllen. Dabei liegt das Hauptaugenmerk nicht auf der steifen Ankerplatte, sondern auf der nach EN 1992-4 angenommenen Kräfteverteilung auf die einzelnen Dübel. Diese muss linear sein und der Annahme eines eben bleibenden Querschnitts erfüllen. Ist diese Bedingung erfüllt, so kann das in EN 1992-4 angegebene CC-Verfahren für die Berechnung der Tragfähigkeit verwendet werden. Der Ablauf ist im Folgenden genauer beschreiben:

(1) Zunächst müssen die Dübelkräfte genau unter der oben genannten Annahme berechnet werden. D. h. die Dübelkräfte werden unter Annahme einer absolut steifen Ankerplatte und absolut steifen Dübel ermittelt. Alternativ kann die Berechnung auch mit einem numerischen Modell erfolgen, bei dem das E-Modul des Stahls auf 107 MPA erhöht wird und eine möglichst geringe Dübelsteifigkeit angesetzt wird. Die so berechnete Verteilung der Dübelkräfte muss unter Annahme realistischer Eingangsparameter und unter Annahme sehr steifer Dübel erreicht werden.

(2)) Anschließend erfolgt die Berechnungen desselben Modells mit einem E-Modul für Stahl von 210.000 N/mm², wobei eine möglichst hohe Federsteifigkeit von 1.000 kN/mm angesetzt wird. Um die Dübel realistischer zu modellieren, kann die reine Stahldehnung im Schaft angesetzt werden, wobei hier eine Dehnlänge von maximal 4·d angenommen werden sollte. Dadurch ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten Steifigkeiten in Abhängigkeit der Dübelgröße (Schaftdurchmesser). Der Beton wird mit einem Bettungsmodul nach Winkler (E_c = 30.000 N/mm²) modelliert, um die Abstützung der Ankerplatte auf dem Beton realistisch zu modellieren. Die so ermittelte Verteilung der Dübelkräfte entspricht der ungünstigsten Verteilung, die sich in Realität einstellen wird.

Die Annahme, dass 1.000 kN/mm die maximale Steifigkeit ist, die ein Dübel aufweisen kann, ergibt sich aus der Annahme einer reinen Stahldehnung in Schaft mit einer minimalen Dehnlänge von ca. $4d_{nom}$. Die Stahldehnung bzw. die Steifigkeit berechnet sich wie folgt:

- Durchmesser: 6 mm < d_{nom} < 30 mm
- Verankerungstiefe für minimale Stahldehnung: $h_{ef} \leq$ Min (40 mm; $4d_{nom}$)
- E-Modul des Stahls: E = 210.000 N/mm²
- Maximale Festigkeit des Stahl $f_{u,max} \leq$ 800 N/mm²
- Die Dehnung im Dübel berechnet sich mit $e = F_{max} / EA$. Daraus ergibt sich eine Verlängerung der Gewindestange von $\Delta l = e \cdot l$. Die maximale Belastung ergibt sich aus der Querschnittsfläche und der Stahlfestigkeit $F_{max} = A \cdot f_{u,max}$ und davon abgeleitet eine Steifigkeit von $K = F_{max} / \Delta l$.

Um die maximale Steifigkeit zu erhalten, sind die minimale Verankerungstiefe und das maximale E-Modul des Stahls anzunehmen. Die Berechnung unter den oben genannten Annahmen zeigen, dass die maximale Steifigkeit ca. 980 kN/mm beträgt (M30 Gewinde).

d_{nom}	A	f_u	F_{max}	ε	$h_{ef,min}$	Δ l	K
[mm]	[mm²]	[mm²]	[kN]	[%]	[mm]	[mm]	[kN/mm]
8	36,6	800	29,28	0,381	40	0,15	192
10	58	800	46,4	0,381	40	0,15	305
12	84,3	800	67,44	0,381	48	0,18	369
16	157	800	125,6	0,381	64	0,24	515
20	254	800	203,2	0,381	80	0,30	667
24	353	800	282,4	0,381	96	0,37	772
30	561	800	448,8	0,381	120	0,46	982

Tabelle 4: Maximale Dübelsteifigkeit in Abhängigkeit des Schaftdurchmessers.

(3) Vergleich der Verteilung der Dübelkräfte. Wenn die unter (2) berechnete Verteilung nicht der Kräfteverteilung wie nach (1) berechnet entspricht, muss

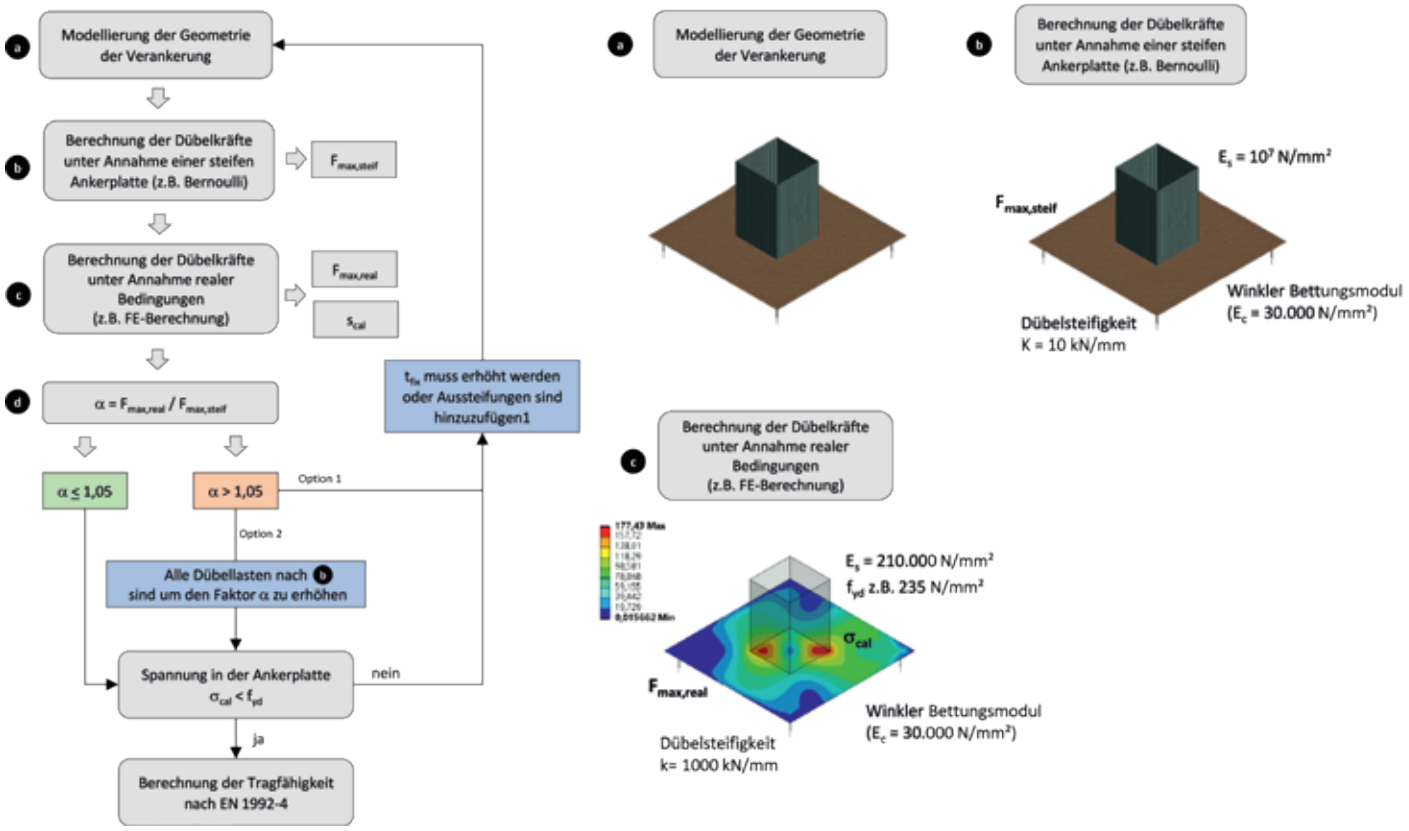
a. die Ankerplattendicke erhöht werden und die Berechnung unter (2) nochmals durchgeführt und mit der Kraftverteilung nach (1) abgeglichen werden. Die Erhöhung der Ankerplattendicke erfolgt so lange, bis der Unterschied zwischen Kraftverteilung nach (1) und (2) weniger als 5 % beträgt.
b. das Verhältnis der maximalen Dübelkraft aus der Berechnung nach (2) zur maximalen Dübelkraft nach Berechnung (1) ermittelt werden. Anschließend können die unter (1) ermittelten Kräfte um dieses Verhältnis erhöht werden, um die nach EN 1992-4 geforderte lineare Kräfteverteilung zu erreichen. Da in diesem Fall alle Dübelkräfte „virtuell" erhöht werden, liegt diese Vorgehensweise teilweise weit auf der sicheren Seite. Für die Praxis stellt diese Vorgehensweise jedoch eine sehr einfache und praktikable Lösung dar, wenn die Dübelkräfte mittels numerischer Berechnung ermittelt wurden und die Geometrie der Ankerplatte nicht geändert werden kann (z. B. im Bestand).

(4) Zeigt der Vergleich der Verteilung der Dübelkräfte nach (3), dass für die realen Bedingungen die Last des höchstbelasteten Dübels weniger als 5 % von derjenigen abweicht, die sich bei einer steifen Ankerplatte ergibt, so kann die Bemessung konform nach EN 1992-4 erfolgen.

(5) Zum Ende erfolgt eine Überprüfung der maximalen Spannung in der Ankerplatte. Diese muss geringer als die Fließspannung sein. Ist die Spannung größer, so muss die Ankerplattendicken so lange erhöht werden, bis die berechnete Spannung unterhalb der Fließspannung liegt.

Im Abbildung 5 ist der Berechnungsablauf als Ablaufdiagramm dargestellt.

Abbildung 5: Berechnungsablauf der Würth Technical Software.



Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigen, dass die Berechnung und Bemessung von Verankerungen inklusive Anbauteil mit gekoppelten Modellen erfolgen kann. Um eine nach EN 1992-4 konforme Bemessung durchführen zu können, muss die reale Kräfteverteilung der angenommenen Kräfteverteilung unter Annahme eines eben bleibenden Querschnitts entsprechen und die Ankerplatte muss elastisch bleiben. Die reale Kräfteverteilung auf die Dübel und die Spannungsverteilung in der Ankerplatte kann durch numerische Berechnungen ermittelt werden.

Um die notwendigen Annahmen für die numerischen Berechnungen möglichst gering zu halten, sollte die Federsteifigkeit für den Dübel so gewählt werden, dass diese einem steifen Auflager entspricht. Damit ergeben sich die höchsten Dübelkräfte, die auch nur geringfügig von weiteren Faktoren beeinflusst werden. Sind die Dübelsteifigkeiten, z. B. durch Versuche vor Ort genauer bestimmt worden, so kann die numerische Berechnung auch auf Basis der genaueren Dübelsteifigkeiten durchgeführt werden. Dies führt in der Regel zu deutlich geringen notwendigen Ankerplattendicken.

Für die Spannung in der Ankerplatte hingegen kann nicht ohne Weiteres vorhergesagt werden, ob eine hohe oder geringe Federsteifigkeit der Dübel zu größeren oder kleineren Spannungen in der Ankerplatte führt. Zudem zeigen die Parameterstudien auch, dass die Spannung in der Ankerplatte von weiteren Faktoren, wie z. B. der Kontaktsteifigkeit oder der Modellierungsart, beeinflusst wird.

Der Vergleich der realen Kräfteverteilung aus den numerischen Berechnungen mit der nach EN 1992-4 anzunehmenden Kräfteverteilung ermöglicht entweder die Ermittlung der notwendigen Ankerplattendicke oder eine Bemessung unter Annahme virtuell erhöhter Dübelkräfte. Damit ist in jedem Fall eine nach EN 1992-4 konforme Bemessung gewährleistet, da in beiden Fällen die nach EN 1992-4 geforderte lineare Kraftverteilung auf Basis des ebenen bleibenden Querschnitts erfüllt ist.

Literatur

[1] fib design guide (2011): Design of Anchorages in Concrete, Bulletin 58, Fédération internationale du Béton (fib).

[2] DIN DIN EN 1992-4 (2019): Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton. Deutsche Fassung DIN EN 1992-4:2018, Beuth Verlag GmbH.

[3] Mallée R.; Riemann H.(1990): Ankerplattenbefestigungen mit Hinterschnittdübeln, Bauingenieur Nr. 65, S. 49 bis 57, Ernst und Sohn.

[4] Schneider (1999): Zum Einfluss der Ankerplattensteigkeit auf die Ermittlung der Dübelkräfte bei Mehrfachbefestigungen. Artikel. Landesstelle für Bautechnik.

[5] Fichtner (2011): Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht, Dissertation an der Universität Stuttgart

[6] Fitz M.; Appl J.; Geibig O.(2018): Wirklichkeitsnahe und vollständige Bemessung von Ankerplatten einschließlich der Befestigungsmittel, Stahlbau 87, S. 1179–1186.

[7] Bokor, B.; Sharma, A.; Hofmann J. (2019): Spring modelling approach for evaluation and design of tension loaded anchor groups in case of concrete cone failure, Engineering Structures 197.

Herausgeber:
Adolf Würth GmbH & Co. KG
74650 Künzelsau
T +49 7940 15-0 · F +49 7940 15-1000
info@wuerth.com · www.wuerth.de

© by Adolf Würth GmbH & Co. KG
Printed in Germany
Alle Rechte vorbehalten

Verantwortlich für den Inhalt:
Hans-Peter Trehkopf/GBP
Redaktion/Koordination:
Andreas Ege/MCMK
Redaktion Inhalt:
Matthias Öchsner/GBPI
Sina Fabienne Arnold /GBPI

Gestaltung:
Baumann & Baltner, Ludwigsburg

Nachdruck nur mit Genehmigung

MCMK_BB_FIWD_500_01/23