
Bemessung von Befestigungen mit elastischen Ankerplatten

unter Zug- und Biegebeanspruchung

Dr. Li Anchor Profi GmbH

Dr.-Ing. Longfei Li

Inhalt

1. Einführung
 - Problematik der Ankerplatte
 - Aktuelle Regelungen zur Ankerplatten-Bemessung
 - Erforderliche Steifigkeit bzw. Steifigkeitsbedingung für biegestarke Ankerplatten
 - Rechenmodell für elastische Ankerplatten
2. Aktuelle Situation zur Bemessung der Ankerplattendicke
3. Bemessung mit elastischen Ankerplatten
4. Bemessungsbeispiele mit elastischen Ankerplatten
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Einführung Problematik der Ankerplatte

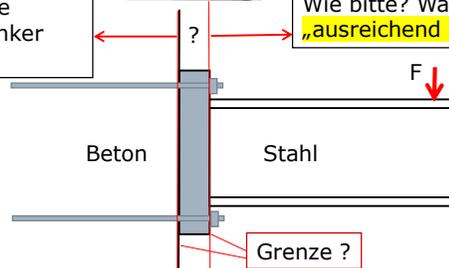


- Ankerplatte, Übergang von Balken (Stütze) zu Ankern
- Eine Grauzone mit schwierigem Thema.
- Sie ist im derzeitigen Regelwerk nicht ausreichend behandelt.

Aufgabengebiet der Betonleute, die sagen:
Die Ankerplatte muss ausreichend steif sein, so dass die Zugkräfte auf Anker **eben** verteilt werden, da die Bemessung meiner Anker nur dies kann.



Aufgabengebiet der Stahlleute, die sagen:
Wie bitte? Was heißt **„ausreichend steif“**?



Aktuelle Regelung zur Ankerplatten-Bemessung



Anhang C: BEMESSUNGSVERFAHREN FÜR VERANKERUNGEN
Geändert Oktober 2001
2. Änderung November 2006
3. Änderung August 2010

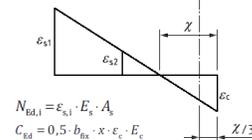
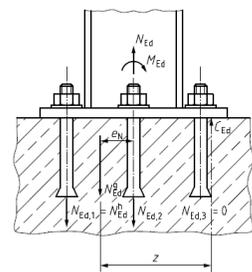
4.2.1 Zuglasten

Im Allgemeinen sind die aufgrund der an der Ankerplatte angreifenden Lasten und Biegemomente auf jeden Dübel einwirkenden Zuglasten nach der **Elastizitätstheorie** nach folgenden Annahmen zu berechnen:

a) Die Ankerplatte darf sich unter den einwirkenden Schnittkräften nicht verformen. Um diese Voraussetzung zu gewährleisten, **muss die Ankerplatte ausreichend steif sein.**

b) ...
c) ...

In bestimmten Fällen bei denen die Ankerplatte nicht ausreichend steif ist, muss die Elastizität der Ankerplatte bei der Berechnung der einwirkenden Lasten auf den Dübel berücksichtigt werden.



$$N_{Ed,1} = \epsilon_{s1} \cdot E_s \cdot A_s$$

$$C_{Ed} = 0,5 \cdot b_{Bk} \cdot x \cdot \epsilon_c \cdot E_c$$

Aktuelle Regelung zur Ankerplatten-Bemessung



FprEN 1992-4 Eurocode 2, Teil 4:

6.1 (2) Die auf die Ankerplatte einwirkenden Lasten müssen als statisch äquivalente Zug- und Querkräfte auf die Anker übertragen werden.

6.1 (4) ... Stützkräfte C_{pr} müssen explizit bei der Bemessung von Befestigungen berücksichtigt werden.

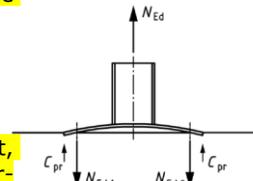
6.2.1 Die Ankerzugkräfte dürfen unter der Annahme einer linearen Dehnungsverteilung entlang der Ankerplatte bzw. Balkentheorie berechnet werden, wenn die Ankerplatte ausreichend steif ist. Die Bedingung für eine ausreichende Ankerplattensteifigkeit wird definiert:

- Die Ankerplatte verhält sich unter den Bemessungslasten elastisch ($\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}$) und
- Die Ankerplattenverformung ist im Vergleich zu axialen Ankerverschiebung vernachlässigbar klein.

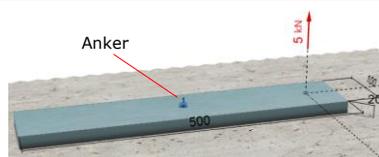
Wenn die o.g. Verformungs-Anforderung nicht erfüllt ist, muss das elastische Verformungsverhalten der Ankerplatte bei der Berechnung der Ankerzugkräfte entsprechend berücksichtigt werden.



CEN/TC 250
Structural Eurocodes

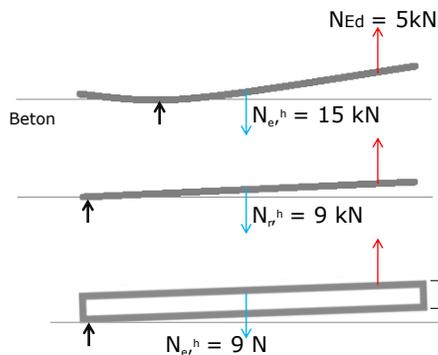


Erforderliche Steifigkeit bzw. Steifigkeitsbedingung für biegestarke Ankerplatte



Beispiel für Steifigkeitsbedingung der biegestarren Ankerplatte

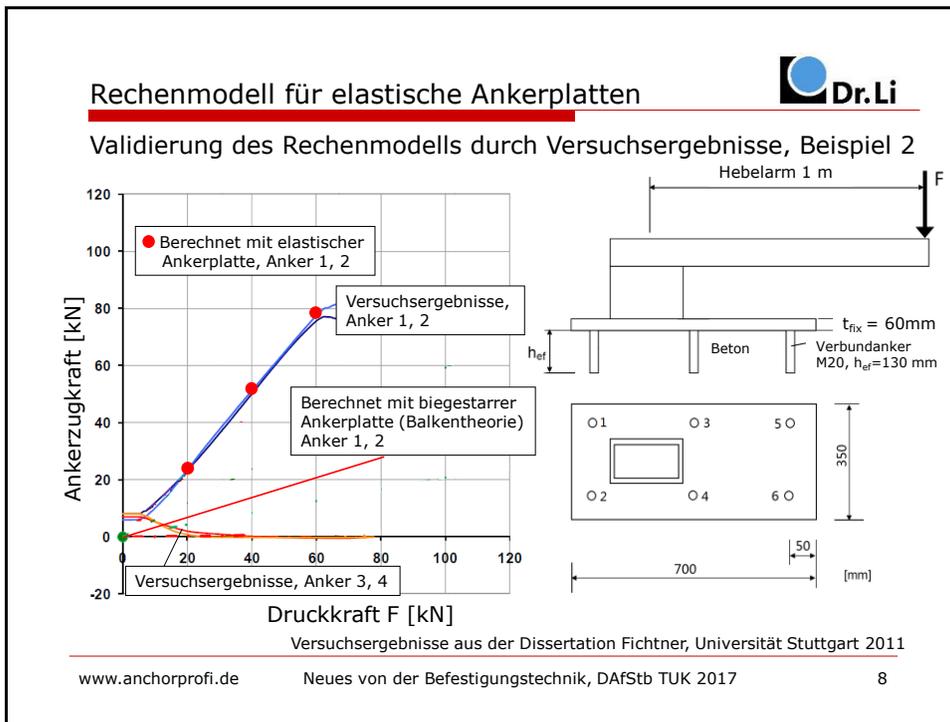
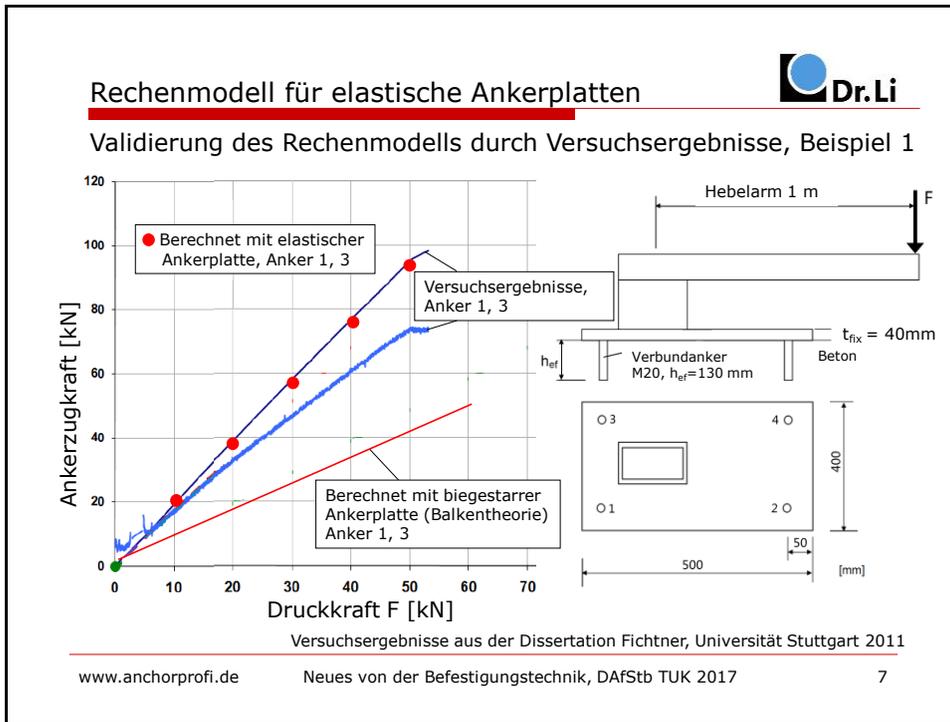
Verbundanker M12, $h_{ef} = 120$ mm
Beton C20/25



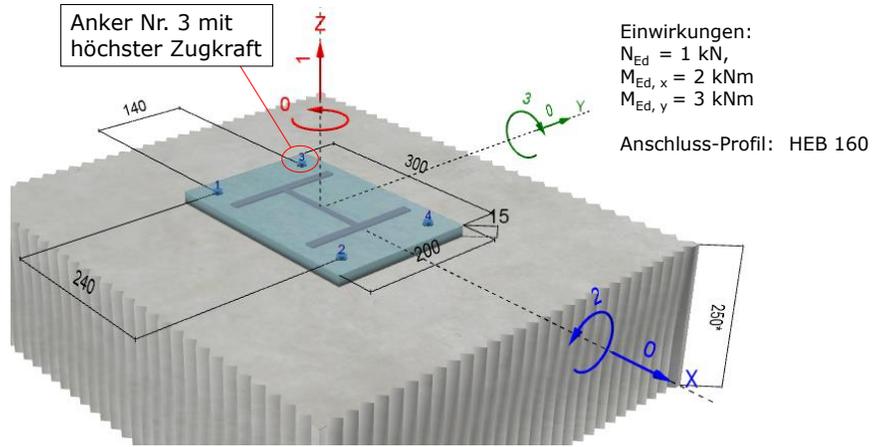
Mit der Spannungsbedingung dass die max. Spannung in der Ankerplatte ihre Streckgrenze nicht überschreitet, ergibt sich die erf. Ankerplattendicke $t_{fix} = 20$ mm. Aus der FE-Analyse mit elastischer Ankerplatte ergibt sich die Ankerzugkraft zu $N_{e,h} = 15$ kN.

Unter der Annahme der biegestarren Ankerplatte ergibt sich die Ankerzugkraft zu $N_{e,h} = 9$ kN.

Mit der **Steifigkeitsbedingung**, dass die Ankerzugkraft aus FEA $N_{e,h} = 9$ kN wie aus der biegestarren Ankerplatte sein muss, ergibt sich die erf. Steifigkeit zu $t_{fix} = 41$ mm für eine äquivalente biegestarke Ankerplatte.

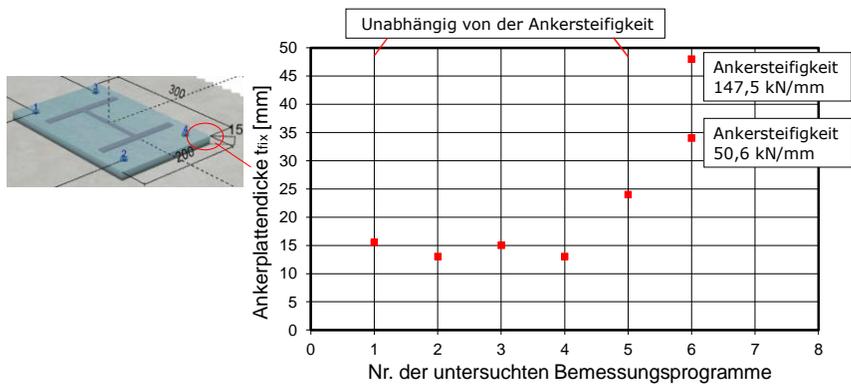


Rechenbeispiel 1 zur Ankerplatten-Bemessung



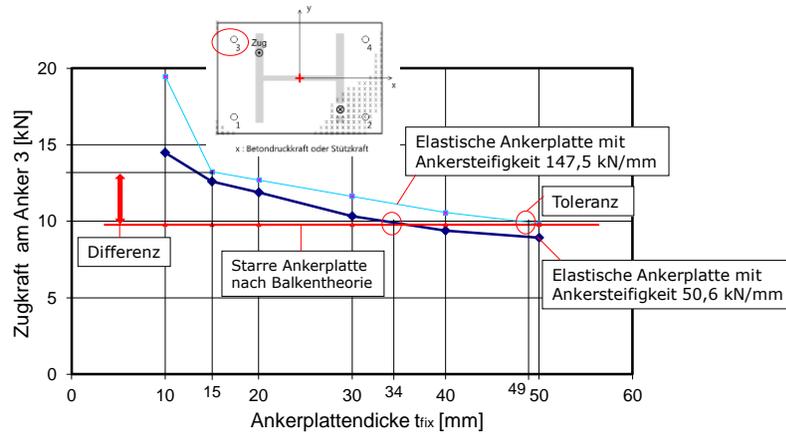
Randbedingung des Rechenbeispiels mit 4 Ankern unter Schiefbiegung

Rechenbeispiel 1 zur Ankerplatten-Bemessung



Empfohlene Ankerplattendicken für eine biegestarke Ankerplatte von verschiedenen Softwares in der aktuellen Praxis, Rechenbeispiel 1

Rechenbeispiel 1 zur Ankerplatten-Bemessung



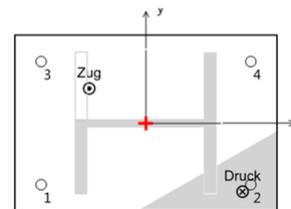
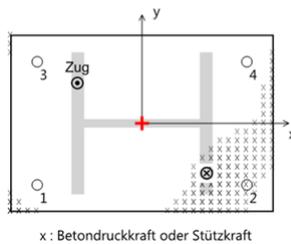
Höchste Ankerzugkraft am Anker Nr. 3 in Abhängigkeit von Ankerplattendicke und Ankersteifigkeit (bei starrer Ankerplatte bei allen Programmen Nr. 1-6, mit elastischer Ankerplatte bei Programm-Nr. 6)

Rechenbeispiel 1 zur Ankerplatten-Bemessung



Anker-Nr.	Normalkraft [kN]
1	3,585
2	0,000
3	13,233 N ^h
4	3,982

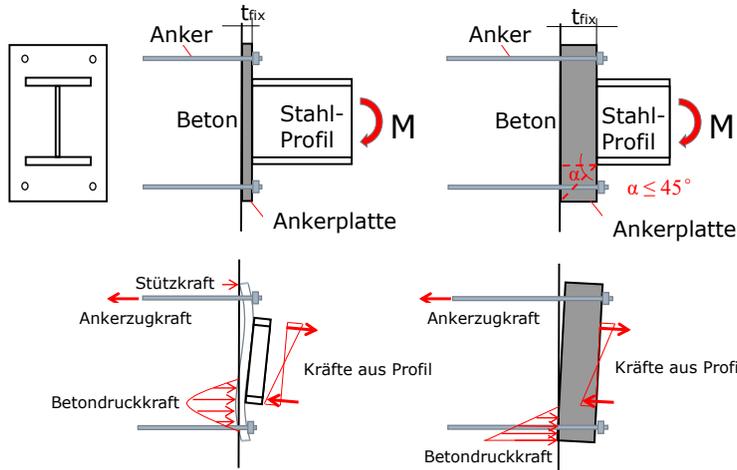
Anker-Nr.	Normalkraft [kN]
1	3,875
2	0,000
3	9,784 N ^h
4	4,063



a) Elastische Ankerplatte ($t_{fix}=15\text{mm}$) b) Biegestarre Ankerplatte (Balkentheorie)

Vergleich der Ankerzug- und Betondruckkräfte zwischen elastischer Ankerplatte ($t_{fix}=15\text{mm}$, Ankersteifigkeit 147,5 kN/mm) und biegestarrer Ankerplatte (Balkentheorie)

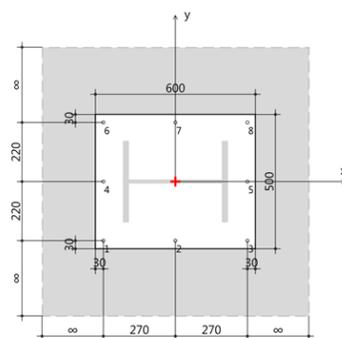
Rechenbeispiel 1 zur Ankerplatten-Bemessung



a) Elastische Ankerplatte b) Biegestarre Ankerplatte

Vergleich des Tragverhaltens zwischen elastischer und starrer Ankerplatte

Rechenbeispiel 2 zur Ankerplatten-Bemessung

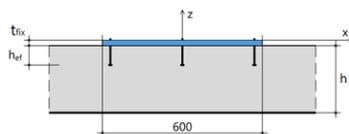


Einwirkungen:
 $N_{Ed} = 5 \text{ kN}$,
 $M_{Ed, x} = 6 \text{ kNm}$
 $M_{Ed, y} = 12 \text{ kNm}$

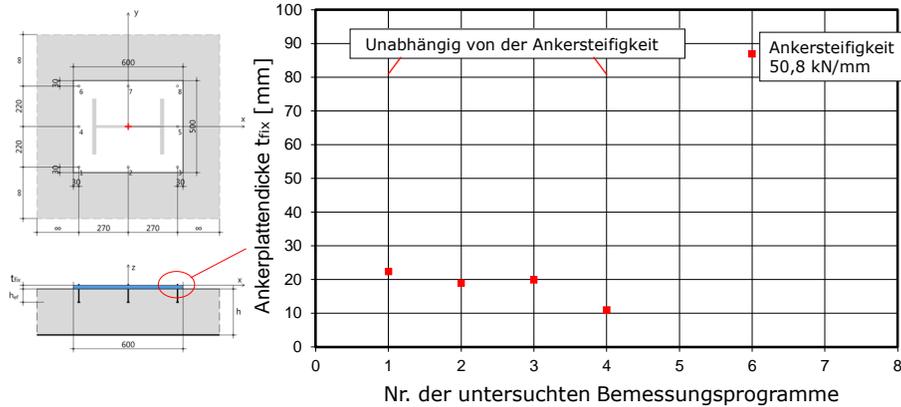
Anschluss-Profil: HEA
 400

Kopfbolzen-Anker
 $M12, h_{ef} = 72 \text{ mm}$

Ankersteifigkeit
 $\beta = 50,8 \text{ kN/mm}$



Rechenbeispiel 2 zur Ankerplatten-Bemessung



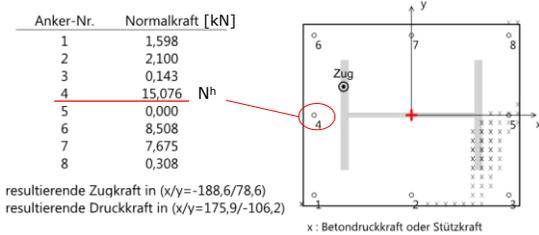
Empfohlene Ankerplattendicken für eine biegestarke Ankerplatte von verschiedenen Softwares in der aktuellen Praxis, Rechenbeispiel 2

Rechenbeispiel 2 zur Ankerplatten-Bemessung

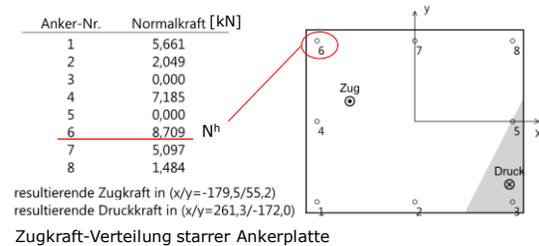


Vergleich der Ankerzugkraft-Verteilung zwischen elastischer Ankerplatte $t_{fix} = 20\text{mm}$ und starrer Ankerplatte (Balkentheorie)

- Höchste Zugkraft liegt am unterschiedlichen Anker.
- Starre Ankerplatte unterschätzt die höchste Ankerzugkraft um 74%.



Zugkraft-Verteilung elastischer Ankerplatte, Dicke $t_{fix} = 20\text{ mm}$, Ankersteifigkeit 50,8 kN/mm



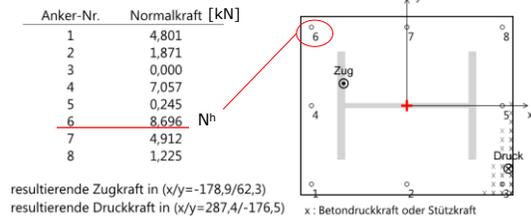
Rechenbeispiel 2 zur Ankerplatten-Bemessung



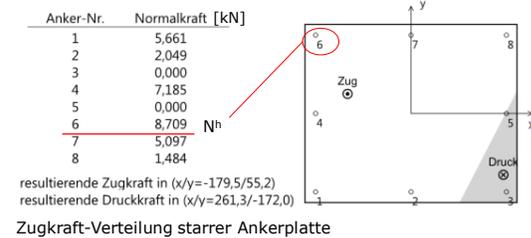
Vergleich der Ankerzugkraft-Verteilung zwischen äquivalenter starrer Ankerplatte $t_{\text{fix}} = 87$ mm und starrer Ankerplatte (Balkentheorie)

1. Höchste Zugkraft liegt am gleicheren Anker (Nr. 6).

2. Bei dieser Ankerplattendicke 87 mm ergibt sich eine äquivalente höchste Ankerzugkraft 8,7 kN wie aus der starren Ankerplatte. D. h. die Ankerplatte mit dieser Dicke 87 mm erfüllt die Steifigkeitsbedingung für die starre Ankerplatte.



Zugkraft-Verteilung elastischer Ankerplatte, Dicke $t_{\text{fix}} = 87$ mm als äquivalente starre Ankerplatte, Ankersteifigkeit 50,8 kN/mm



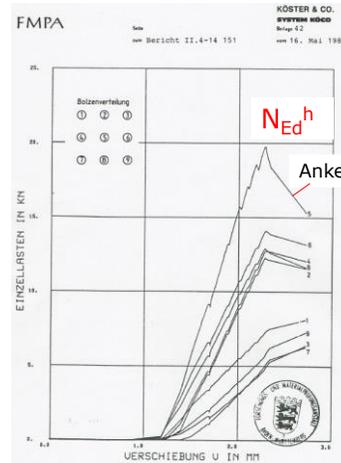
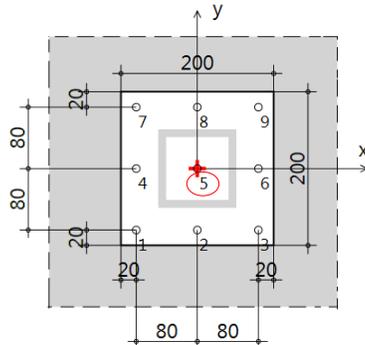
Fazit zur aktuellen Ankerplatten-Bemessung



1. Die aktuell mit der Spannungsbedingung bestimmte Ankerplattendicke erreicht die erforderliche Steifigkeit der äquivalenten biegestarren Ankerplatte wie Balkentheorie nicht. Die reale höchste Ankerzugkraft in der tatsächlichen „biegeweichen“ Ankerplatte, deren Dicke mit Spannungsbedingung bestimmt wird, ist wesentlich höher als in der angenommenen biegestarren Ankerplatte. Dies liegt eindeutig auf der unsicheren Seite.

3. Für eine äquivalente biegestarre Ankerplatte wie aus der Balkentheorie wird die Ankerplattendicke unrealistisch groß. Um die üblichen Ankerplattendicken zu verwenden, müssen die Biegeverformungen der Ankerplatten in der Berechnung berücksichtigt werden; d. h. elastisches Ankerplattenmodell ist unverzichtbar.

Bemessung mit elastischen Ankerplatten



Beobachten der Versuchsergebnisse mit Ankerplattendicke $t_{fix} = 15 \text{ mm}$

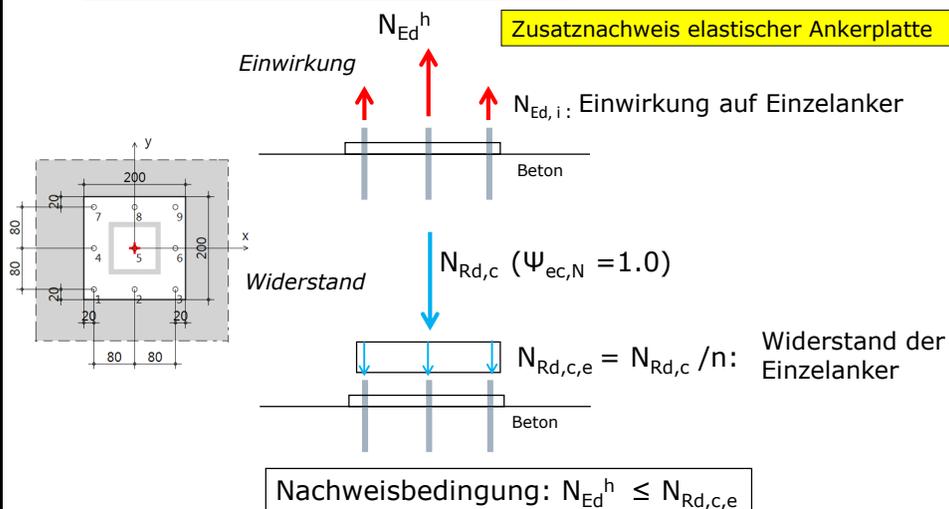
- Rechnerische Versagenslast starrer Ankerplatte mit gleichmäßiger Lastverteilung Soll: 136 kN
- Testete Versagenslast elastischer Ankerplatte mit ungleichmäßiger Lastverteilung Ist: 94 kN

LASTANTEILE DER EINZELNEN KOPFBOLZEN IN ABHÄNGIGKEIT DER MITTLEREN VERSCHIEBUNG DER BELASTUNGSKONSTRUKTION BEI VERSUCH P3 (Dicke der Verteilerplatte: 15 mm)

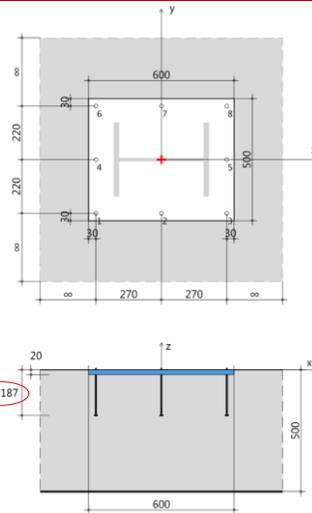
Bemessung mit elastischen Ankerplatten



Zusatznachweis elastischer Ankerplatte



Bemessungsbeispiel 1 mit elastischer Ankerplatte



Einwirkungen:
Zentrische Zuglast
 $N_{Ed} = 120 \text{ kN}$

Untergrund:
• Gerissener Beton, Bauteildicke $h=500\text{mm}$
Festigkeitsklasse C20/25, $f_{ck,cube}=25,0\text{N/mm}^2$

Ankerplatte:
• S 235 (St 37), $E=210000\text{N/mm}^2$
 $f_{yk}=235\text{N/mm}^2$, $\gamma_s=1,5$
• Angenommen: elastische Ankerplatte
• Verwendete Dicke: 20,0mm
 $\sigma/f_{yd} = 112,4/156,7=71,7\%$

Profil:
• HEA Reihe: HEA 400
 $H \times W \times T \times FT$ [mm]: 390 x 300 x 11,0 x 19,0

Gewählte Anker:
• Kopfbolzen d16 x 175

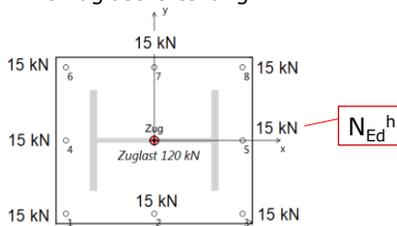
Bemessungsbeispiel 1 mit elastischer Ankerplatte



Kopfbolzen d16x175 mit $h_{ef} = 187 \text{ mm}$, Ankersteifigkeit 119,4 kN/mm

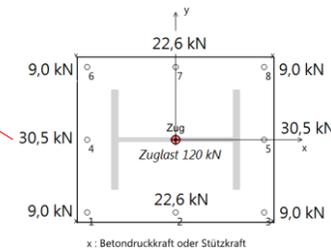
Vorgang und Ergebnisse bei meisten aktuellen Softwares

- Ankerzuglastverteilung:



Bei elastischem Ankerplatten-Modell

- Ankerzuglastverteilung wird bei der Berechnung der Ankerplattendicke t_{fix} ermittelt. Ankerzuglasten bei $t_{fix}=20\text{mm}$:



- Gruppenwiderstand des Betons: Auslastung $\beta_c = 46 \%$
- Empfehlung der Ankerplattendicke $t_{fix} = 19 \text{ mm}$

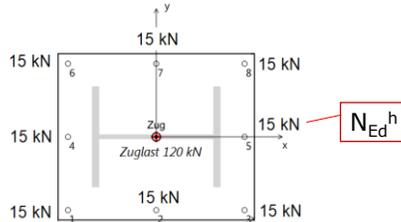
- Gruppenwiderstand des Betons: Auslastung $\beta_c = 96\%$

Bemessungsbeispiel 1 mit elastischer Ankerplatte

Verbundanker M12 mit $h_{ef} = 70$ mm, gerissener Beton C30/37

Vorgang und Ergebnisse bei einer aktuellen Software

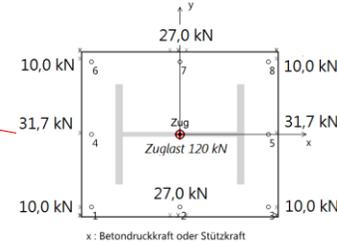
- Ankerzuglastverteilung:



- Widerstand des kombi-Versagens: Auslastung $\beta_{NP} = 97\% < 100\%$
- Empfehlung der Ankerplattendicke $t_{fix} = 19$ mm

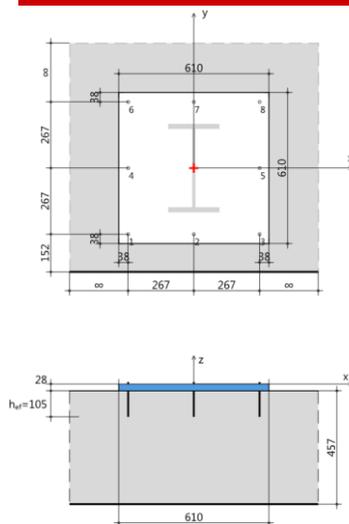
Bei elastischem Ankerplatten-Modell

- Ankerzuglastverteilung bei der Ankerplattendicke $t_{fix} = 20$ mm:



- Widerstand des kombi-Versagens: Auslastung $\beta_{NP} = 205\% > 100\%$
- Für sichere Befestigung $\beta_{NP} < 100\%$ => erforderlich: M12, $h_{ef} = 180$ mm

Bemessungsbeispiel 2 mit elastischer Ankerplatte



Einwirkungen:

$M_{Ed, x} = 40,7$ kNm

Anschluss-Profil:

AISC W14x53

Untergrund:

- Gerissener Beton, Bauteildicke $h = 457$ mm
- Festigkeit benutzerdefiniert, $f_{ck, cube} = 38,3$ N/mm²

Ankerplatte:

- S 235 (St 37), $E = 210000$ N/mm²
- $f_{yk} = 235$ N/mm², $\gamma_s = 1,5$
- Angenommen: elastische Ankerplatte
- Verwendete Dicke: 28,0 mm
- $\sigma/f_{yd} = 145,1/156,7 = 92,6\%$

Gewählte Anker:

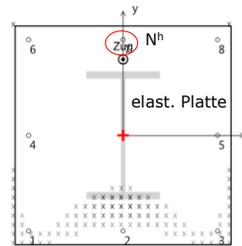
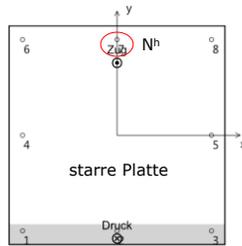
Verbundanker M12 mit ETA,
 $h_{ef} = 105$ mm

Bemessungsbeispiel 2 mit elastischer Ankerplatte

Vergleich der Bemessungen zw. starrer und elastischer Ankerplatte

Ankerzugkräfte in [kN]		
Anker-Nr.	starr	elastisch
1	0,000	0,002
2	0,000	0,000
3	0,000	0,002
4	10,108	10,916
5	10,108	10,916
6	20,963	13,334
7	20,963	57,551
8	20,963	13,334

Starre Ankerplatte unterschätzt die höchste Ankerzugkraft um 2,7 fache.



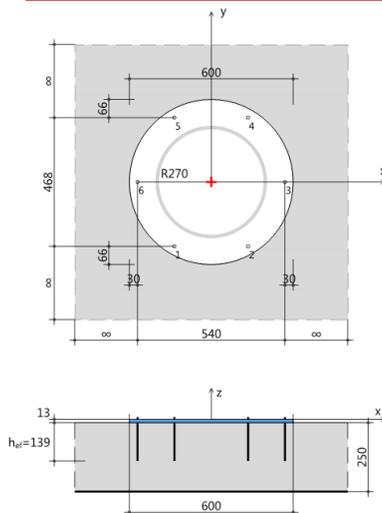
Ergebnisse starrer Ankerplatte

- Eine aktuelle Software empfiehlt:
- Verbundanker M12, $h_{ef} = 105$ mm
- Auslastung des kombi-Versagens:
 $\beta_{NP} = 100\%$
- min. Ankerplattendicke
 $t_{fix} = 28$ mm

Ergebnisse elastischer Ankerplatte

- Ankerplattendicke $t_{fix} = 28$ mm, o.k.
- Verbundanker M12, $h_{ef} = 105$ mm
- Auslastung des kombi-Versagens:
 $\beta_{NP} = 283\% >> 100\%$
- für sichere Befestigung $\beta_{NP} < 100\%$
=> erforderlich: M20, $h_{ef} = 280$ mm

Bemessungsbeispiel 3 mit elastischer Ankerplatte



Einwirkungen:

- $N_{Ed} = 8$ kN,
- $M_{Ed, x} = 8$ kNm
- $M_{Ed, y} = 10$ kNm

Untergrund: • Gerissener Beton, Bauteildicke $h = 250$ mm
Festigkeitsklasse C20/25, $f_{t,cube} = 25,0$ N/mm²

Ankerplatte: • S 235 (St 37), $E = 210000$ N/mm²
 $f_{yk} = 235$ N/mm², $\gamma_s = 1,5$
• Angenommen: elastische Ankerplatte
• Verwendete Dicke: 13,0 mm
 $\sigma/f_{yd} = 127,8/156,7 = 81,6\%$

Profil: • Rohr: Geometrie benutzerdefiniert
 $H \times W \times T \times FT$ [mm]: 406 x 406 x 10,0

Gewählte Anker:
Verbundanker M12 mit ETA,
 $h_{ef} = 139$ mm

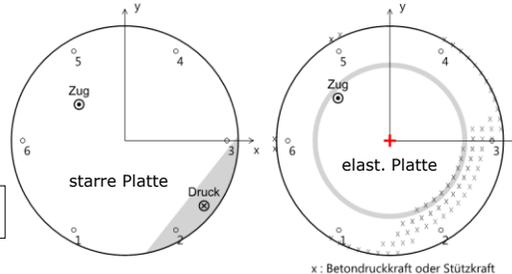
Bemessungsbeispiel 3 mit elastischer Ankerplatte



Vergleich der Bemessungen zw. starrer und elastischer Ankerplatte

Anker-Nr.	starr	elastisch
1	4,744	4,381
2	0,000	0,132
3	0,397	0,000
4	6,820	8,770
5	12,205	21,033
6	11,168	18,701

Starre Ankerplatte unterschätzt die höchste Ankerzugkraft um 1,7 fache.



Ergebnisse starrer Ankerplatte

- Eine aktuelle Software empfiehlt:
- Verbundanker M12, $h_{ef} = 139$ mm
 - Auslastung des kombi-Versagens:
 $\beta_{NP} = 100\%$
 - min. Ankerplattendicke
 $t_{fix} = 13$ mm

Ergebnisse elastischer Ankerplatte

- Ankerplattendicke $t_{fix} = 13$ mm, o.k.
- Verbundanker M12, $h_{ef} = 139$ mm
- Auslastung des kombi-Versagens:
 $\beta_{NP} = 197\% >> 100\%$
- für sichere Befestigung $\beta_{NP} < 100\%$
=> erforderlich: M16, $h_{ef} = 135$ mm

Zusammenfassung und Schlussfolgerung



1. Die Bemessung von Befestigungen unter der Annahme der biegestarren Ankerplatten ist für die praktischen Anwendungen unrealistisch, weil die erforderliche Biegesteifigkeit für eine äquivalente biegestarre Ankerplatte nicht mit der üblichen Ankerplattendicke realisiert werden kann. Die aktuelle Regelung für die biegestarre Ankerplatte ohne bzw. mit nicht umsetzbarer Steifigkeitsbedingung führt dazu, dass die Ankerplatte biegestarr angenommen aber tatsächlich „biegeweich“ eingesetzt wird. Dadurch entstehen die Sicherheitsdefizite in der aktuellen Praxis.
2. Um die Sicherheitslücke zu schließen ist die zusätzliche Regelung zur Bemessung der Ankerplattendicke dringend erforderlich.
3. Für die praxisrelevanten Ankerplattendicken ist das elastische Ankerplattenmodell unverzichtbar. Dafür ist das Bemessungsmodell in den bisherigen Regelungen anzupassen. Die Ankersteifigkeit im Gebrauchszustand ist in der Zulassung (ETA) zu spezifizieren.