

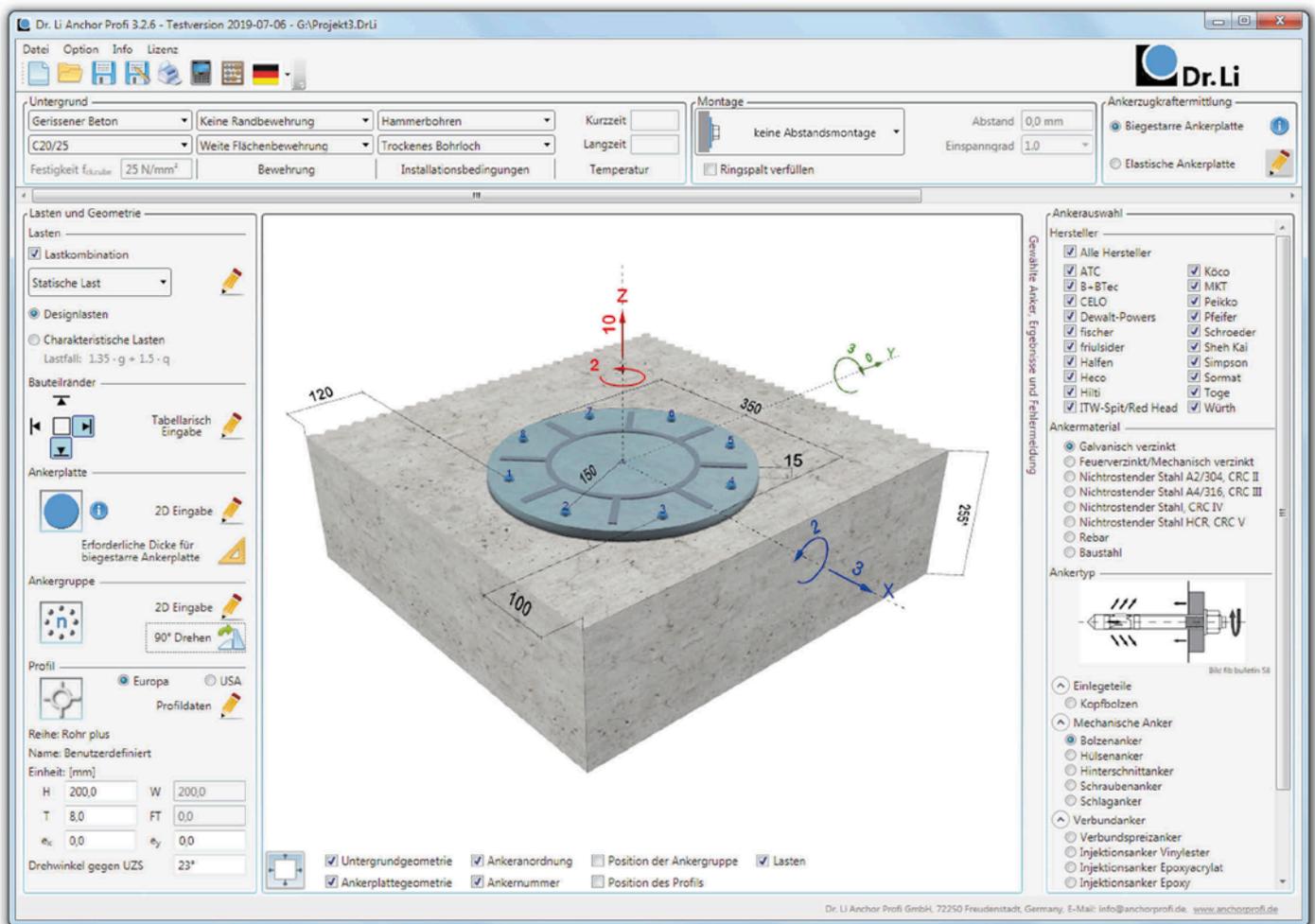


Bemessung von Befestigungen mit elastischen Ankerplatten unter Zug- und Biegebeanspruchung

Dr. Longfei Li

Die Software für herstellerunabhängige Ankerbemessung

- Auswahl und Bemessung von Dübeln und Kopfbolzen verschiedener Hersteller
- Modellierung mit realitätsnahen elastischen Ankerplatten
- Steifigkeitsnachweis für die angenommenen starren Ankerplatten
- Ankerbemessung unter statischer, seismischer und ermüdungsrelevanter Last
- Frei wählbare Ankeranordnung
- Frei wählbare Ankerplattengeometrie



Weitere Informationen:

Dr. Li Anchor Profi GmbH

Gustav-Stoll-Weg 7, 72250 Freudenstadt

Tel.: 07441 4073833, Fax: 07441 4077139

Internet: www.anchorprofi.de, E-Mail: info@anchorprofi.de

Bemessung von Befestigungen mit elastischen Ankerplatten unter Zug- und Biegebeanspruchung

Die Bemessung von Befestigungen mit Ankerplatten unter Zug- und Biegebeanspruchung nach FprEN 1992-4 (EC2, Teil 4) [1] setzt voraus, dass die Ankerzugkräfte von der Ankerplatte auf Beton eben verteilt werden. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, müssen die Ankerplatten ausreichend steif bzw. biegestarr sein. Die Bedingung für eine biegestarre Ankerplatte ist seit Jahrzehnten ohne zufriedenstellende Lösung untersucht und diskutiert worden. Die neuesten Untersuchungen zeigen, dass die erforderliche Dicke für die biegestarre Ankerplatte in vielen Anwendungsfällen so groß sein kann, dass sie für die Praxis kaum mehr Bedeutung hat. Dies bestätigt die Aussagen von *Schneider* von 1999 und 2014 [2, 3], dass die Annahme der biegestarren Ankerplatten für die Berechnung der Ankerzugkräfte bei normalen Plattendicken unbrauchbar zu sein scheint. Das heißt, es ist unverzichtbar, dass die elastischen Ankerplatten mit normalen Dicken in der Praxis verwendet werden und die Ankerplatten-Biegeverformungen in der Bemessung berücksichtigt werden müssen.

Im vorliegenden Aufsatz werden die Vorschriften nach FprEN 1992-4 [1] zur Ankerzugkraftermittlung analysiert. Die Besonderheiten für die Bemessung von Befestigungen mit elastischen Ankerplatten werden durch Rechenbeispiele mit einer herstellerunabhängigen Bemessungssoftware für Kopfbolzen und Dübel [4] erläutert und diskutiert.

Keywords Ankerplattensteifigkeit; Balkentheorie; biegestarre Ankerplatte; elastische Ankerplatte; Dübelbemessung; Ankerplattenbemessung

1 Einleitung und Problemstellung

Die Ableitung von Lastenwirkungen auf die Anker wird in FprEN 1992-4 [1] Abschnitt 6.1 wie folgt allgemein geregelt.

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

6.1 (4) ... Abstützeffekte müssen explizit bei der Bemessung von Befestigungen berücksichtigt werden (Bild 1). Stützkkräfte C_{pr} können mit der Verformung der Ankerplatte und der Verschiebung des Ankers entstehen.

Design of anchor fastenings with elastic base plates – subjected to tension and bending

For the design of anchor fastenings with base plates under the combined loadings of tension and bending, FprEN 1992-4 (EC2, part 4) [1] dictates that the anchor tension forces are distributed in a linear fashion assuming that the base plate remains flat. To fulfill this condition, the base plate must be sufficiently stiff or rigid so that relative deformation caused by bending is negligibly small. The condition for a rigid base plate has been studied and discussed for decades without a satisfactory solution. The latest investigations show that the required thickness for the rigid base plate can be so great in many application cases that it cannot be used in practice. This is confirmed by *Schneider's* statements of 1999 and 2014 [2, 3] that the assumption of rigid base plates seems to be useless for the calculation of anchor tension forces for plates with normal thicknesses. That means, for base plates of normal thicknesses, the bending deformations of the base plate must be considered in the design and an elastic base plate model must be used in practice. In this paper, the regulations in FprEN 1992-4 for the calculation of anchor tension force are analyzed. The special features for the design of anchor fastenings with elastic base plates are explained and discussed by calculation examples using a third-party anchor design software for headed studs and post-installed anchors [4].

Keywords base plate stiffness; beam theory; rigid base plate; elastic base plate; anchor design; base plate design

6.1 (5) Im Allgemeinen darf die Verteilung der Lasten auf die einzelnen Anker nach der Elastizitätstheorie berechnet werden; das gilt für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

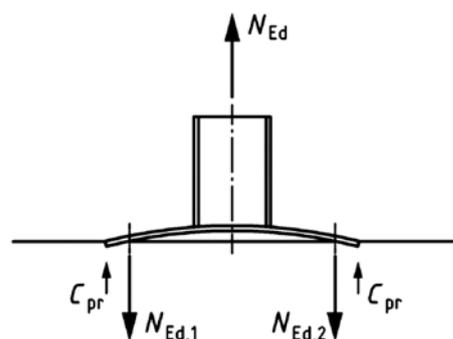


Bild 1 Beispiel für Stützkraft [1]
Example for prying force [1]

*) Corresponding author: longfei.li@anchorprofi.de
Submitted for review: 05 January 2019
Accepted for publication: 22 May 2019

FprEN 1992-4 [1] in Abschnitt 6.2.1 erlaubt die Berechnung der Ankerzugkräfte jedoch mit der Stahlbeton-Balkentheorie (Bild 2) bzw. analog zur Bernoulli'schen Hypothese unter der Annahme einer linearen Dehnungsverteilung entlang der Ankerplatte und einer linearen Spannungs-Dehnungsbeziehung, wenn die Ankerplatte ausreichend steif ist. Die Bedingung einer ausreichenden Ankerplattensteifigkeit definiert FprEN 1992-4 in 6.2.1 (2) wie folgt:

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

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

Aus den oben angeführten Regelungen entstehen die folgenden Fragen:

- 1) Wie genau muss ein Rechenmodell oder eine Rechenannahme sein, damit die berechneten Ankerzugkräfte im Vergleich zu den realen Ankerzugkräften in Ankerplatten nach [1] Abschnitt 6.1 (2) als äquivalent behandelt werden können?
- 2) Wie können die Abstützeffekte in der Ankerbemessung berücksichtigt werden?
- 3) Entspricht die Balkentheorie in [1] Abschnitt 6.2.1 der vorgeschriebenen Elastizitätstheorie in [1] Abschnitt 6.1?
- 4) Wie weist man nach [1] eine ausreichende Ankerplattensteifigkeit nach, sodass die Balkentheorie für die Berechnung der Ankerzugkräfte verwendet werden darf?
- 5) Wenn man die ausreichende Ankerplattensteifigkeit nach [1] Abschnitt 6.2.1(2) nicht nachweist oder nicht nachweisen kann, wie berücksichtigt man die elastischen Ankerplatten-Biegeverformungen bei der Ermittlung der Ankerzugkräfte?
- 6) Wenn die Ankerzugkräfte unter Berücksichtigung der elastischen Biegeverformungen der Ankerplatten ermittelt werden, können die Ankerwiderstände nach [1] berechnet werden? Das heißt, gilt [1] für elastische Ankerplatten?

Diese Fragen werden in folgenden Abschnitten mit Rechenbeispielen aus [4] untersucht, diskutiert und beantwortet.

Definition:

- Die biegestarke Ankerplatte wird hier als fiktive Ankerplatte bezeichnet. Damit ergibt sich unter der Zug- und Biegebeanspruchung eine Ankerzugkraftverteilung wie aus der Balkentheorie (Bild 2).
- Als elastische Ankerplatte wird eine Ankerplatte bezeichnet, wenn sie sich linear elastisch verhält.

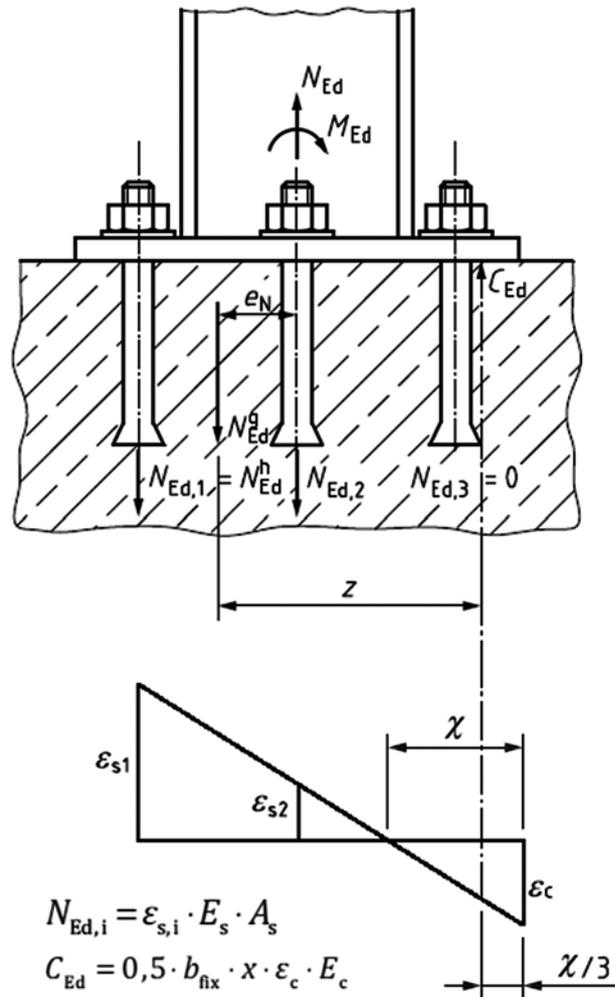


Bild 2 Befestigung mit einer biegestarren Ankerplatte, wobei die Ankerzugkräfte nach Balkentheorie berechnet werden dürfen [1]
Fastening with a rigid base plate in which the anchor tension forces are calculated by beam theory [1]

2 Aktuelle Situation zur Bemessung der Ankerplattendicke

2.1 Allgemeines

In Europa gibt es seit 1997 Richtlinien bzw. Spezifikationen [5–8] für die Bemessung der Befestigungen mit Ankerplatten. Diese sollen zu einer europäischen Norm [1] überführt werden. Für die Ermittlung der Ankerzugkräfte in Ankerplatten wird die Balkentheorie vorgeschrieben, mit der Voraussetzung, dass die Ankerplatten ausreichend steif sein müssen. Für den Nachweis der ausreichenden Ankerplattensteifigkeit forschen und diskutieren Fachleute schon jahrzehntelang ohne Konsens [2, 3, 9–11]. Dies führte zu der aktuell sehr unterschiedlichen Bemessung der Ankerplattendicke, was mit folgenden zwei Rechenbeispielen erläutert wird.

2.2 Rechenbeispiel 1 zur Bemessung der Ankerplattendicke

In Bild 3 ist eine Befestigung mittels Vierergruppe dargestellt. Die Einwirkungen aus Zuglast und Biegemomenten

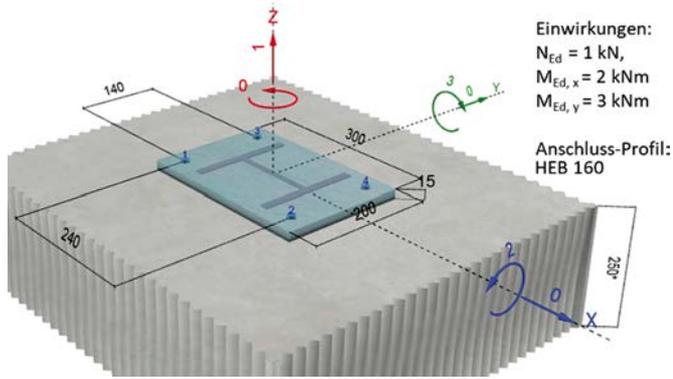


Bild 3 Rechenbeispiel 1 mit Befestigung mittels Vierergruppe
Calculation example 1 for an anchor group with four anchors

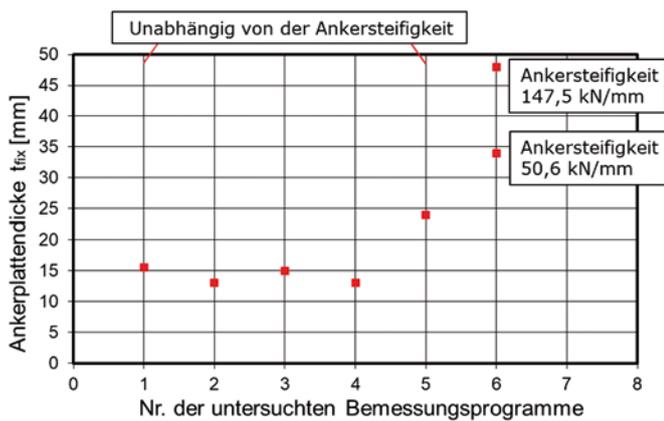


Bild 4 Empfohlene Ankerplattendicken für eine biegestarre Ankerplatte von verschiedenen Softwares in der aktuellen Praxis, Rechenbeispiel 1
Recommended base plate thicknesses for a rigid base plate produced by different programs widely adopted in the industry, calculation example 1

in x- und y-Richtung werden durch ein Anschlussprofil HE 160 B auf der Ankerplatte über vier Anker in den Beton abgeleitet. Das Profil wird auf der Ankerplatte verschweißt.

Zwei Ankersysteme wurden dabei untersucht. Ein System mit einer Ankersteifigkeit unter Gebrauchslast von

50,6 kN/mm simuliert einen mechanischen Dübel M12. Ein anderes System mit einer Ankersteifigkeit unter Gebrauchslast von 147,5 kN/mm simuliert einen Verbundanker M12 mit durchgehend metrischer Gewindestange. Mit diesem Beispiel wurden sechs Bemessungsprogramme aus der Praxis verglichen. Die erforderlichen Dicken für eine äquivalente biegestarre Ankerplatte aus den untersuchten Programmen sind in Bild 4 dargestellt. Diese variieren von 13–48 mm.

In Bild 5 sind die ermittelten höchsten Ankerzugkräfte (Anker Nr. 3, Bild 3) in Abhängigkeit von der Ankerplattendicke dargestellt. Bei der Balkentheorie wird die Ankerplatte als biegestarr angenommen und die so berechnete höchste Ankerzugkraft ist deshalb unabhängig von der Ankerplattendicke.

Bei der elastischen Ankerplatte [4], deren Rechenmodell in [10] beschrieben wird, nimmt die höchste Ankerzugkraft mit steigender Ankerplattendicke ab. Weiterhin hängt die Ankerzugkraft vom inneren Hebelarm ab, der aus dem Zusammenspiel von Plattensteifigkeit und Ankersteifigkeit beeinflusst wird. Bei einer Ankerplattendicke von ca. 34 mm ergibt sich für die Anker mit der Ankersteifigkeit von 50,6 kN/mm die gleiche höchste Ankerzugkraft einer elastischen Ankerplatte wie bei einer biegestarren Ankerplatte. Für die Anker mit der Ankersteifigkeit von 147,5 kN/mm ist eine Ankerplattendicke von ca. 49 mm erforderlich, um die äquivalente höchste Ankerzugkraft der biegestarren Ankerplatte zu erreichen. Bei der Ankerplattendicke von 15 mm betragen die Differenzen der höchsten Ankerzugkräfte zwischen der elastischen und biegestarren Ankerplatte jeweils ca. 30% bei einer Ankersteifigkeit von 50,6 kN/mm und ca. 35% bei einer Ankersteifigkeit von 147,5 kN/mm.

In Bild 6 wird die Verteilung der Ankerzug- und Betondruckkräfte zwischen elastischer Ankerplatte ($t_{\text{fix}} = 15$ mm) und biegestarrer Ankerplatte (Balkentheorie) verglichen. Bei der elastischen Ankerplatte ist der innere Hebelarm deutlich kleiner als bei der biegestarren Anker-

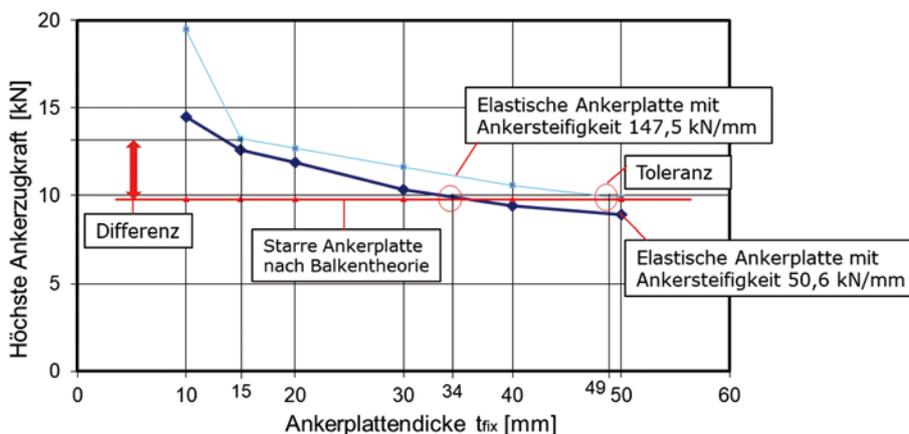
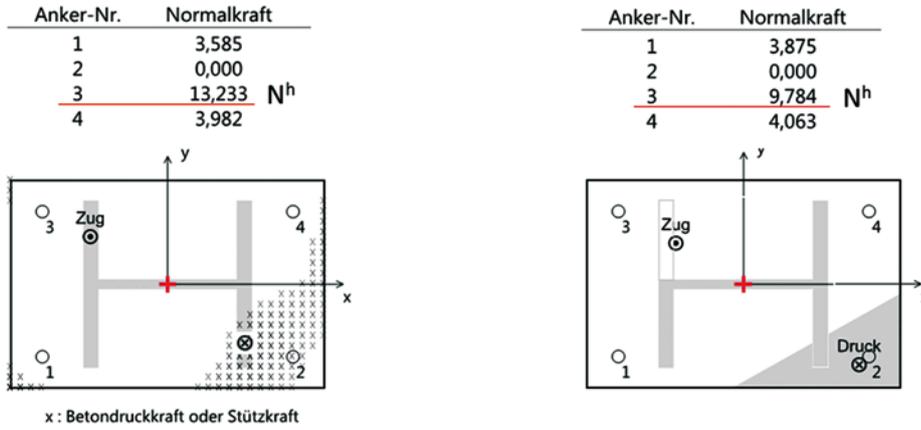


Bild 5 Berechnete höchste Ankerzugkraft am Anker Nr. 3 in der Gruppe in Abhängigkeit von Ankerplattendicke und Ankersteifigkeit (bei starrer Ankerplatte bei allen Programm-Nr. 1–6, mit elastischer Ankerplatte bei Programm-Nr. 6 [4])
Calculated highest anchor tension force at anchor No. 3 in the group as a function of base plate thickness and anchor stiffness (rigid base plate from all programs No. 1–6, and elastic base plate from program No. 6 [4])



resultierende Zugkraft in $(x/y=-74,1/45,9)$: 20,800 [kN]
 resultierende Druckkraft in $(x/y=73,7/-52,8)$: 19,800 [kN]

resultierende Zugkraft in $(x/y=-65,0/39,4)$: 17,722 [kN]
 resultierende Druckkraft in $(x/y=110,5/-77,9)$: 16,722 [kN]

a) Elastische Ankerplatte ($t_{fix} = 15$ mm)

b) Biegestarre Ankerplatte (Balkentheorie)

Bild 6 Vergleich der Ankerzug- und Betondruckkräfte zwischen elastischer Ankerplatte ($t_{fix} = 15$ mm, Ankersteifigkeit 147,5 kN/mm) und biegestarrer Ankerplatte (Balkentheorie) [4]

Comparison of anchor tension and concrete compression forces between elastic base plate ($t_{fix} = 15$ mm, anchor stiffness 147.5 kN/mm) and rigid base plate (beam theory) [4]

platte. Dadurch entsteht die Differenz bei der ermittelten höchsten Ankerzugkraft.

Um zu klären, warum die berechneten Ankerplattendicken (Bild 4) so unterschiedlich sind, gehen wir auf die unterschiedlichen Berechnungsmethoden ein.

Die Ankerplattendicke bei den Softwares Nr. 1–5 wird mittels Spannungsbedingung [12] wie folgt berechnet.

1) Die Ankerzug- und die Betondruckkräfte werden zuerst mit der Annahme einer linearen Dehnungsverteilung entlang der Ankerplatte nach Balkentheorie berechnet (Bild 2).

2) Diese so berechneten Ankerzug- und Betondruckkräfte wirken als äußere Lasten auf der Ankerplatte ein. Dabei wird die Ankerplatte, die auf dem Profil fest gelagert wird, mittels Finite-Elemente-Methode analysiert. Die Ankerplatte selbst soll im elastischen Bereich bleiben.

3) Mit der Bedingung, dass die max. Spannung in der Ankerplatte aus 2) die Streckgrenze der Ankerplatte nicht überschreitet, wird die Ankerplattendicke bestimmt.

In dieser Berechnung werden die Ankerverschiebung, die Beton- und Ankerplattenverformungen und die Kompatibilität dieser Verformungen (zwischen Rechenschritt 1

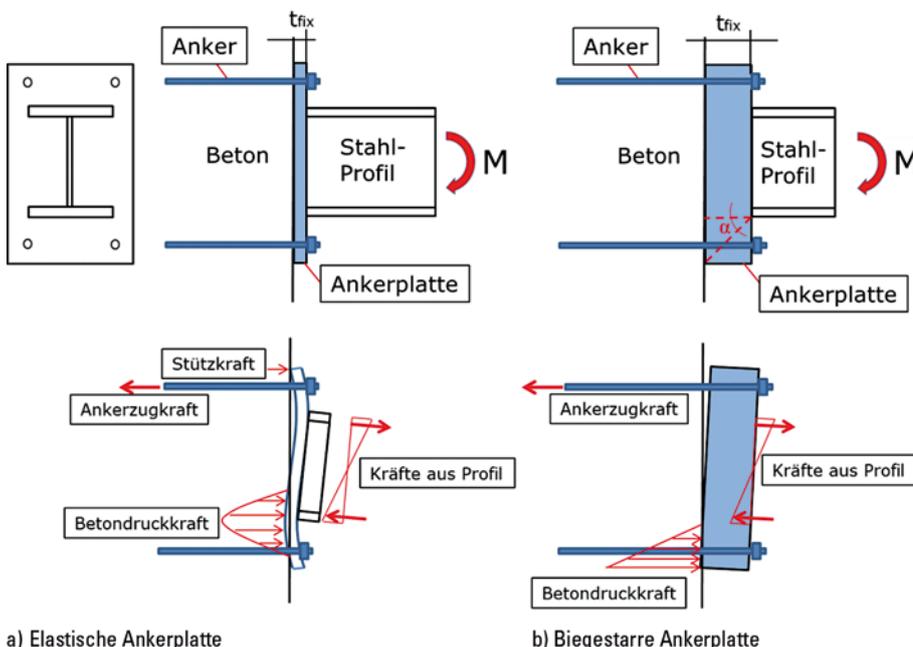


Bild 7 Vergleich des Tragverhaltens zwischen elastischer und starrer Ankerplatte

Comparison of behaviors between elastic and rigid base plate

und 2) nicht berücksichtigt. Deshalb widerspricht diese Vorgehensweise eindeutig der Elastizitätstheorie des untersuchten Gesamtsystems mit Beton, Anker, Ankerplatte und Stahlprofil. Die so ermittelte Ankerplattendicke t_{fix} ist relativ dünn. Damit kann keine Ankerzugkraftverteilung wie aus der Balkentheorie erzeugt werden. Die äquivalente Ankerzugkraftverteilung wie aus der Balkentheorie kann nur für hinreichend große Ankerplattendicken wie ein Balkenabschnitt mit einem konstanten Querschnitt über eine bestimmte Länge t_{fix} , z. B. mit einem Lastausbreitungswinkel α von ca. 45° (Bild 7b, oben), entstehen.

Bei der Software Nr. 6 [4] wird die Ankerplattendicke mit der Steifigkeitsbedingung nach [10] bestimmt. Danach wird die Ankerplattendicke so ermittelt, dass die Differenz der höchsten Ankerzugkräfte, die mit der Balkentheorie und mit dem elastischen Ankerplattenmodell berechnet werden, unter einer Toleranz von 3% liegt (s. Bild 5). Wenn das elastische Ankerplattenmodell [10] die Ankerzugkräfte in der Ankerplatte wirklichkeitsnahe darstellt, soll die Toleranz unter 5% erforderlich sein, weil bei der Ankerbemessung die Versagensart Herausziehen maßgebend sein kann und somit die Unterschätzung der höchsten Ankerzugkraft zum realen Wert direkt die Sicherheit der Verankerung beeinflusst.

Bei dem elastischen Ankerplattenmodell (Bild 7a) [10, 4] wird angenommen, dass die Ankerplatte auf dem Beton elastisch gebettet wird. Jeder Anker wird durch eine Feder an der Ankerplatte simuliert, die nur Zugkraft aufnimmt. Die Kräfte aus dem Stahlprofil werden mit Balkentheorie berechnet und auf die Ankerplatte gesetzt. Mit den folgenden Parametern der Teilkomponenten von

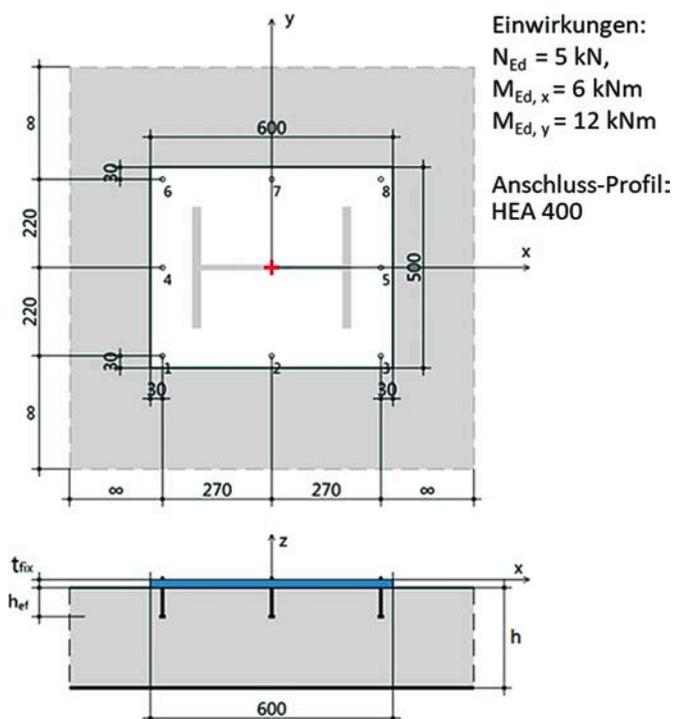


Bild 8 Rechenbeispiel 2 mit acht Anker
 Calculation example 2 with eight anchors

Ankerplatte, Anker und Beton wird das gesamte Verankerungssystem mittels der Kirchhoff'schen Plattentheorie berechnet [10].

- 1) Ankerplattendicke t_{fix} und zugehöriger E-Modul
- 2) Ankerfederkonstante bzw. Ankersteifigkeit unter Gebrauchslast
- 3) Betonbettungsziffer $[N/mm^3]$, angenommen nach [10], mit $15f_{c, \text{cube}}$ z. B. 375 N/mm^3 für C20/25

Bei der Berechnung werden das Gleichgewicht, das Last-Verformungsverhalten und die Kompatibilität der Verformungen der Teilkomponenten berücksichtigt. Die Untersuchungen in [10] zeigten, dass dieses auf Beton elastisch gebettete Plattenmodell die Ankerzugkräfte sehr genau simulieren kann. Dieses Modell entspricht der in [1] vorgeschriebenen Elastizitätstheorie besser als die Balkentheorie. Allerdings wird die Steifigkeit des Anschlussprofils auf der Ankerplatte bei der Berechnung vernachlässigt. Dies soll für die ermittelte höchste Ankerzugkraft konservativ sein. Die berechnete max. Spannung in der Ankerplatte kann jedoch dadurch unterschätzt werden, weil die mögliche Spannungskonzentration am Profilrand durch Steifigkeitssprung nicht erfasst wird. Die mögliche Unterschätzung der max. Spannung in der Ankerplatte soll durch einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 1,35 zusammen zur Berücksichtigung der Streuung der Ankersteifigkeit abgedeckt werden [4].

2.3 Rechenbeispiel 2 zur Bemessung der Ankerplattendicke

In Bild 8 ist eine Achtfachbefestigung mit Ankerplatte dargestellt. Die Einwirkungen aus Zuglast und Biegemomenten in x- und y-Richtung werden durch ein Anschlussprofil HE 400 A in die Ankerplatte und von dort über die acht Anker in den Beton abgeleitet. Das Profil ist auf der Ankerplatte verschweißt.

Das o. g. dargestellte System weist eine Ankersteifigkeit unter Gebrauchslast von $50,8 \text{ kN/mm}$ auf und simuliert

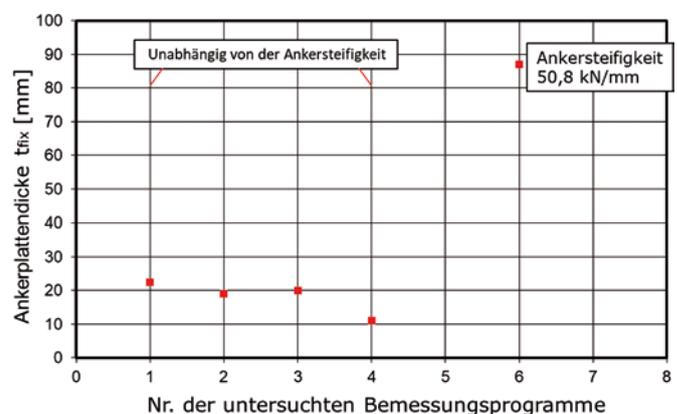


Bild 9 Empfohlene Ankerplattendicke für eine biegestarke Ankerplatte von verschiedenen Softwares aus der aktuellen Praxis, Rechenbeispiel 2
 Recommended base plate thickness for a rigid base plate from different software of current practice, calculation example 2

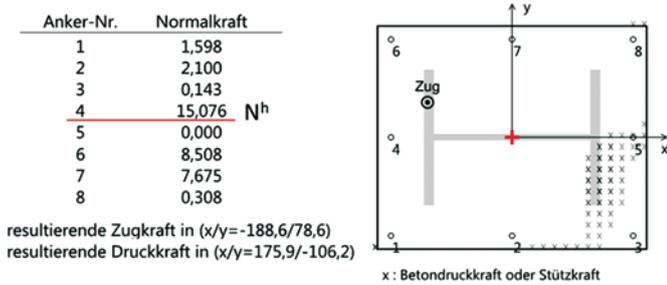


Bild 10 Berechnete Ankerzugkraft- und Betondruckkraftverteilung bei einer Ankerplattendicke von 20 mm [4]
Calculated distribution of anchor and concrete forces for a plate thickness of 20 mm [4]

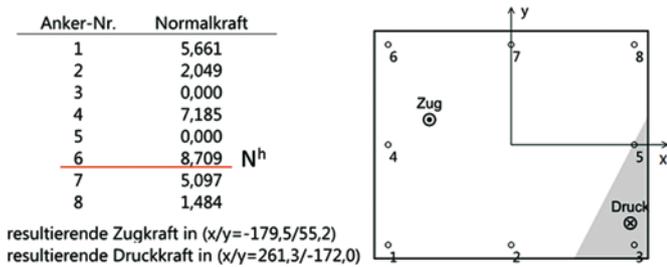


Bild 11 Ermittelte Ankerzugkraft- und Betondruckkraftverteilung nach der Balkentheorie [4]
Calculated distribution of anchor tension and concrete compression forces according to the beam theory approach [4]

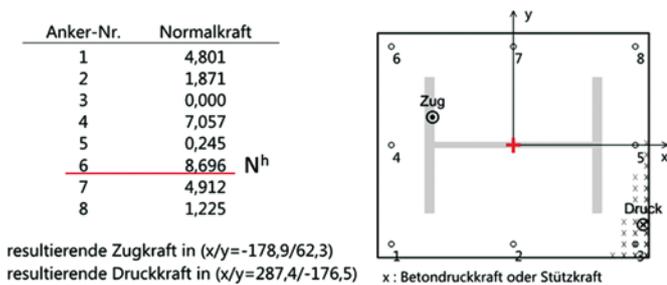


Bild 12 Ermittelte Ankerzugkraft- und Betondruckkraftverteilung mittels elastischer Ankerplatte bei einer Dicke von 87 mm [4]
Calculated distribution of anchor tension and concrete compression forces at a base plate thickness of 87 mm using elastic base plate model [4]

den Kopfbolzendübel M12 mit der Verankerungstiefe von $h_{ef} = 72$ mm. Mit diesem Beispiel wurden fünf Bemessungsprogramme aus der Praxis verglichen. Die erforderlichen Dicken für eine biegestarke Ankerplatte aus den untersuchten Programmen sind in Bild 9 dargestellt. Sie variieren von 11–87 mm.

Mit der Ankerplattendicke von 20 mm, die von den meisten untersuchten Programmen (Bild 9, Nr. 1–3) in diesem Beispiel empfohlen wird, wird die Ankerzug- und Betondruckkraftverteilung mit dem Modell der elastischen Ankerplatte [4] nachvollzogen. Vergleicht man die Ankerzugkraftverteilung zwischen der elastischen Ankerplatte mit der Dicke von 20 mm (Bild 10) und der angenommenen biegestarren Ankerplatte (Bild 11), ist der Unterschied, wie folgt, sehr deutlich.

- Die höchste Ankerzugkraft liegt bei der Ankerplattendicke von 20 mm nicht wie bei der biegestarren An-

kerplatte bei Anker Nr. 6, sondern bei Anker Nr. 4 (Bild 10).

- Die Annahme der biegestarren Ankerplatte unterschätzt die höchste Ankerzugkraft um 73,6% ($= 100 \times (15,1 - 8,7)/8,7$).

Diese Differenz zeigt auch bei diesem Beispiel, dass die Annahme der Balkentheorie für die empfohlene Ankerplattendicke von 20 mm keine äquivalente Ankerzugkraftverteilung liefert.

Wird die Ankerplattendicke auf 87 mm erhöht, ergeben sich die Ergebnisse aus [4] wie folgt.

- Die höchste Ankerzugkraft liegt jetzt auch hier bei Anker-Nr. 6 (Bild 12).
- Die Differenz der höchsten Ankerzugkräfte zwischen der biegestarren Ankerplatte (Bild 11) und der elastischen Ankerplatte beträgt $-0,15\% < 3\%$ ($= 100 \times (8,696 - 8,709)/8,709$).

Damit ist die Steifigkeitsbedingung nach [10] erfüllt.

2.4 Fazit der aktuellen Situation zur Bemessung der Ankerplattendicke

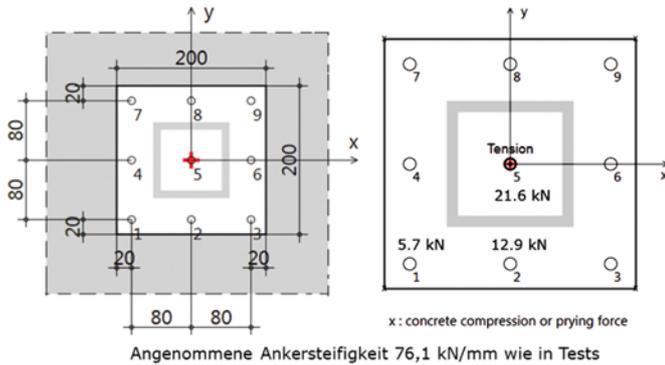
Aus den Rechenbeispielen 1 und 2 werden die folgenden Punkte deutlich.

- Die aktuell mit der Spannungsbedingung nach [12] bestimmten Ankerplattendicken liegen eindeutig auf der unsicheren Seite (siehe die ermittelten Ankerplattendicken der Programm-Nr. 1–5 im Bild 4 und der Programm-Nr. 1–4 im Bild 9). Der Grund hierfür ist, dass die mit der Balkentheorie berechnete Verteilung der Ankerzug- und Betondruckkräfte mit der von den Programmen empfohlenen Ankerplattendicke nicht zusammenpasst; d. h., es gibt keine hinreichende Kompatibilität der Verschiebungen.
- Um eine äquivalente Verteilung der Ankerzug- und Betondruckkräfte wie aus der Balkentheorie zu erreichen, werden die Ankerplattendicken bei diesen üblichen Anwendungsbeispielen unrealistisch groß (siehe die ermittelten Ankerplattendicken der Programm-Nr. 6 [4] in den Bildern 4, 9).

Die Untersuchung mit den Rechenbeispielen zeigt, dass die Balkentheorie für die Ermittlung der Ankerzugkraftverteilung nicht generell verwendbar ist. Um die üblichen Ankerplattendicken zu verwenden, müssen die Biegeverformungen der Ankerplatten in der Berechnung berücksichtigt werden (s. Abschn. 3).

3 Bemessung mit elastischen Ankerplatten

Wie das Rechenbeispiel 2 in Abschn. 2 zeigt, verteilen sich die Ankerzugkräfte bei einer Achtfachbefestigung mit einer üblichen Ankerplattendicke je nach Profilan-



$$f_{c,150} = 43,4 \text{ N/mm}^2, h_{ef} = 65 \text{ mm}, t_{fix} = 15 \text{ mm}$$

Bild 13 Ermittelte Ankerzugkraftverteilung einer Neunfachbefestigung [10]
Calculated anchor tension force distribution in an anchor group with nine anchors [10]

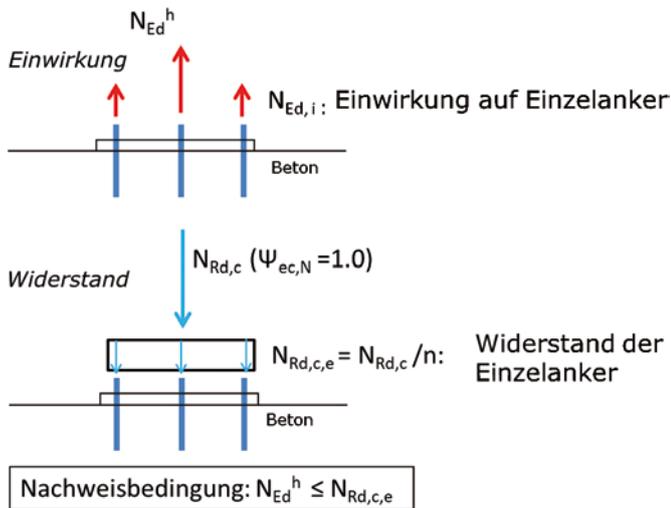


Bild 14 Anschauliche Darstellung des zusätzlichen Nachweises für elastische Ankerplatten [10]
Illustrative representation of the additional proof for elastic base plates [10]

ordnung generell nicht eben. Dafür kann das Bemessungsmodell in FprEN 1992-4 [1] für die Berechnung des Widerstands beim Betonversagen der Ankergruppe nicht verwendet werden, weil der Faktor $\psi_{ec,N}$ ([1], Abschnitt 7.2.1.4, (6), Gl. (7.6)) zur Berücksichtigung des Einflusses der Lastexzentrizität für die nicht eben verteilten Ankerzugkräfte nicht anwendbar ist [13].

Bild 13 zeigt eine Versuchsnachrechnung aus [10]. Die Neunfach-Kopfbolzenbefestigung [14] wurde mit einer Ankerplatte ($t_{fix} = 15 \text{ mm}$) durch eine zentrische Zuglast bis zum Bruch getestet. Die rechnerische Betonversagenslast bei biegestarrer Ankerplatte sollte ca. 136 kN betragen. Im Versuch versagte die Gruppe jedoch bereits bei einer Zuglast von ca. 94 kN, da der Anker in der Mitte durch die höhere Last als bei biegestarrer Ankerplatte früher versagte (Bild 13, rechts).

Wird die getestete Gruppe nach [1] bemessen, ergibt sich ein Bemessungswiderstand von 90,7 kN beim Betonversagen der Gruppe. Der vorhandene Teilsicherheitsfaktor beträgt $\gamma_{Mc} = 94/90,7 = 1,04$. Dies ist wesentlich kleiner als der mindestens erforderliche von $\gamma_{Mc} = 1,5$. Der

Grund dafür ist, dass der Einfluss der ungleichmäßigen Ankerzugkraftverteilung in der Ankergruppe durch den Abminderungsfaktor $\psi_{ec,N}$ nach [1] nicht erfasst werden kann. In diesem Fall weist der Schwerpunkt der Ankerzugkräfte keinen Abstand (Exzentrizität) zum Schwerpunkt der mit Zuglast beanspruchten Anker auf. Der Abminderungsfaktor ergibt sich zu $\psi_{ec,N} = 1,0$.

Deshalb schlägt [10] analog zu [5] für die elastischen Ankerplatten einen zusätzlichen Nachweis für Beton- bzw. Kombiversagen der Ankergruppe wie folgt vor (Bild 14).

$$\psi_{ec,N} = 1,0 \quad (1)$$

$$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,c} / n \quad (2)$$

mit

- N_{Ed}^h höchste Ankerzugkraft in der Gruppe
- $N_{Rd,c}$ Bemessungswiderstand der Ankergruppe beim Betonversagen mit $\psi_{ec,N} = 1,0$
- n Anzahl der mit Zug beanspruchten Anker in der Gruppe

Die Versuchsnachrechnungen zeigen, dass der vorgeschlagene Zusatznachweis konservativ ist [10].

Die Bemessung bei elastischen Ankerplatten mit diesem Zusatznachweis wird im Abschn. 4 mit Bemessungsbeispielen detailliert erläutert.

4 Bemessungsbeispiele mit elastischen Ankerplatten

4.1 Achtfachbefestigung unter zentrischer Zuglast

Die in Bild 8 (Abschn. 2.3) dargestellte Befestigungsanordnung wird unter einer Zuglast N_{Ed} von 120 kN über das Anschlussprofil beansprucht (Bild 15). Bei den meisten aktuellen Softwares wird die Bemessung wie folgt geführt.

- Die Ankerzugkraft wird unter der Annahme der biegestarren Ankerplatten berechnet mit $N_{Ed,i} = 120/8 = 15 \text{ kN}$ pro Anker ohne Last-Exzentrizität in der Gruppe.
- Mit diesen ermittelten Ankerzugkräften wird der Widerstand der Gruppe berechnet.
- Die Ankerplattendicke wird dann nach [12] mit den Ankerzugkräften von 15 kN pro Anker auf der Ankerplatte, die auf dem Profil fest gelagert wird, mit FEM unter der Spannungsbedingung, dass die max. Spannung in der Ankerplatte ihre Streckgrenze nicht überschreitet, berechnet. Die erforderliche Dicke ergibt sich zu ca. 19 mm.

Dieses Beispiel wurde mit elastischer Ankerplatte ($t_{fix} = 20 \text{ mm}$) und mit Kopfbolzen $d16 \times 175$ (Bild 15) wie folgt neu bemessen [4]. Die Ankersteifigkeit von 119,4 kN/mm wurde mit der Ankerlänge, dem Schaftquerschnitt, der

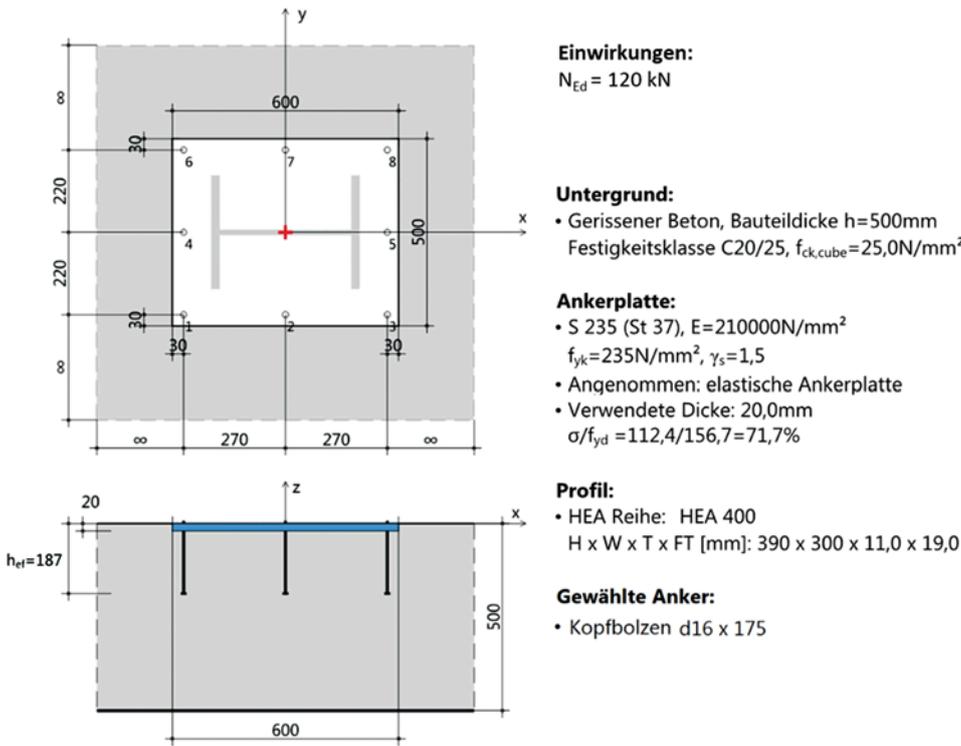


Bild 15 Randbedingungen des Bemessungsbeispiels in Tab. 1
Boundary condition of the design example in Tab. 1

Schulterfläche des Kopfbolzens und der Betonbettungsziffer nach [10] berechnet.

Die berechnete Ankerzugkraftverteilung ist in Bild 16 dargestellt. Es ist naheliegend, dass die Ankerzugkraft in der Ankerplatte durch die Steifigkeit der Ankerposition in der Ankerplatte verteilt wird. Die Anker Nr. 4 und 5 befinden sich am nächsten zu den Stegen des Anschlussprofils und erhalten so die höchste Zugkraft in der Gruppe. Diese Ankerzugkraft von 30,5 kN ist mehr als doppelt so hoch wie die nach der Balkentheorie (d. h. biegestarre Ankerplatte).

Die detaillierte Berechnung des Gruppenwiderstands bei Betonversagen ist in den Tab. 1, 2 wiedergegeben. Mit der biegestarren Ankerplatte hat die Ankergruppe eine Auslastung von $100 \times 120/253,7 = 47\%$ (Tab. 1, bei $N_{sd} = 142,141$ kN abzüglich der Stützkraft von 22,141 kN). Mit

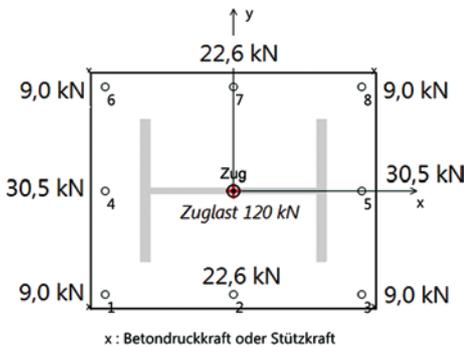


Bild 16 Berechnete Ankerzugkraftverteilung der Achtfachbefestigung in Bild 15 [4]
Calculated anchor tension force distribution of the anchor group with eight anchors in Fig. 15 [4]

der elastischen Ankerplatte beträgt die Auslastung 56% ohne Berücksichtigung der Lastexzentrizität (Tab. 1) und von 96% mit Zusatznachweis (Tab. 2).

Für die Ankeranordnung des Bemessungsbeispiels aus Tab. 1 empfiehlt eine aktuelle Bemessungssoftware eines Dübelherstellers für einen Verbundanker M12 mit ETA (European Technical Assessment) im gerissenen Beton C30/37 bei der Auslastung von 97% (< 100%) mit folgenden Parametern:

- Verankerungstiefe von 70 mm,
- erforderliche minimale Ankerplattendicke von 19 mm.

Eine Vergleichsrechnung mit elastischer Ankerplatte mit $h_{ef} = 70$ mm und $t_{fix} = 19$ mm [4] mit dem gleichen Produkt ergibt jedoch die in Bild 17 dargestellte Ankerzugkraftverteilung. Die so ermittelte höchste Ankerzugkraft



Bild 17 Berechnete Ankerzugkraftverteilung mit $h_{ef} = 70$ mm und $t_{fix} = 19$ mm [4]
Calculated anchor tension force distribution with $h_{ef} = 70$ mm and $t_{fix} = 19$ mm [4]

Tab. 1 Berechnung des Gruppenwiderstands beim Betonversagen bei elastischer Ankerplatte ohne Berücksichtigung der unebenen Zugkraftverteilung [4]
Calculation of the group resistance in the case of concrete cone failure with an elastic base plate without consideration of uneven tension force distribution [4]

Betonausbruch

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \quad N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot (f_{ck,cube})^{0,5} \cdot h_{ef}^{1,5} \text{ [N]} \quad \psi_{A,N} = A_{c,N} / A_{c,N}^0 \quad N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$$

Grundkennwerte für den Nachweis des Betonausbruchs:

h_{ef} [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$c_{cr,N}$ [mm]	k_1	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]	γ_{Mc}
187,0	561,0	280,5	8,5	25,0	1,50

Alle zu beanspruchten Anker (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) sind in einer Gruppe ($s \leq s_{cr,N}$).

$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$\psi_{A,N}$	h_{ef} [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$c_{cr,N}$ [mm]	c_{-x} [mm]	c_{+x} [mm]	c_{-y} [mm]	c_{+y} [mm]
108,680	112 101	314 721	3,502	187,0	561,0	280,5	–	–	–	–
$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$e_{N,x}$ [mm]	$e_{N,y}$ [mm]	$\psi_{ec,N,x}$	$\psi_{ec,N,y}$	$\psi_{ec,N}$	$N_{Rk,c}$ [kN]	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{sd} [kN]	$\beta_{N,c}$
1,000	1,000	0,0	0,0	1,000	1,000	1,000	380,581	253,271	142,141	0,560

Tab. 2 Zusätzlicher Nachweis bei elastischer Ankerplatte [4]
Additional proof for elastic anchor plate [4]

Betonausbruch auf Einzeldübel (Zusätzlicher Nachweis bei elastischer Ankerplatte analog zu ETAG 001 Anhang C Gl. (5.2f))

$$N_{Rk,ec}^0 = N_{Rk,c} / \psi_{ec,N} \quad N_{Rk,ec} = N_{Rk,ec}^0 / n \quad N_{Rd,ec} = N_{Rk,ec} / \gamma_{Mc} \quad \gamma_{Mc} = 1,50$$

Anker-Nr.	$N_{Rk,c}$ [kN]	$\psi_{ec,N}$	$N_{Rk,ec}^0$ [kN]	$N_{Rk,ec}$ [kN]	$N_{Rd,ec}$ [kN]	N_{sd} [kN]	$\beta_{N,ec}$
4	380,581	1,000	380,581	47,573	31,715	30,450	0,960
5	380,581	1,000	380,581	47,573	31,715	30,450	0,960

ist mehr als doppelt so hoch wie bei starrer Ankerplatte. Da der vorhandene Achsabstand $s = 220 \text{ mm}$ ($> 3h_{ef} = 210 \text{ mm}$) ist, ergibt sich die Auslastung bei der elastischen Ankerplatte $31,7/15 \times 97 = 205\% \gg 100\%$. Für eine sichere Befestigung mit der Ankerplattendicke von 20 mm wäre stattdessen eine Verankerungstiefe von 180 mm mit dem o. g. Produkt erforderlich [4].

Im Bemessungsbeispiel aus Tab. 1 kann eine Sicherheitslücke mit einem Faktor 2 bei der aktuellen Bemessung der Ankerplattendicke mit Spannungsbedingungen (Programm-Nr. 1–5, Bilder 4, 9) festgestellt werden. Gründe dafür sind:

- Die Ankerzugkraftverteilung aus der biegestarren Ankerplatte ist nicht korrekt für die empfohlene Ankerplattendicke von 20 mm. Bei dieser Ankerplattendicke beträgt die Stützkraft bereits mehr als 22 kN.
- Die beim Modell der elastischen Ankerplatte mit $t_{fix} = 20 \text{ mm}$ hervorgerufenen, nicht eben verteilten Ankerzugkräfte werden nicht berücksichtigt.

4.2 Achtfachbefestigung unter Biegebeanspruchung

In ACI 355.3R-11 [15] gibt es ein Bemessungsbeispiel mit Achtfachbefestigung unter Biegemoment- und Querlastbeanspruchung. Dieses Beispiel wird hier mit Belastung

durch ein Biegemoment untersucht (Bild 18). Aus einer aktuellen Bemessungssoftware eines Dübelherstellers wäre diese Befestigung mit folgenden Parametern bei der Auslastung von 100% zu realisieren:

- Verbundanker M12 mit ETA und einer optimierten Verankerungstiefe von 105 mm,
- erforderliche Ankerplattendicke von mindestens 28 mm.

Die mit biegestarrer Ankerplatte berechnete höchste Ankerzugkraft beträgt 21,1 kN.

Bei Vergleichsrechnung mit [4] ergibt sich jedoch die in Bild 19 dargestellte Ankerzugkraftverteilung. Die so ermittelte höchste Ankerzugkraft ist mehr als doppelt so hoch wie bei biegestarrer Ankerplatte. Die Auslastung bei der elastischen Ankerplatte beträgt 283% $\gg 100\%$. Für eine sichere Befestigung bei der Auslastung von 96% wäre stattdessen der Verbundanker M20 mit der Verankerungstiefe von 280 mm erforderlich.

4.3 Sechsfachbefestigung mit runder Ankerplatte unter Biegebeanspruchung

In Bild 20 sind die Randbedingungen des Beispiels angegeben. Aus einer aktuellen Bemessungssoftware eines

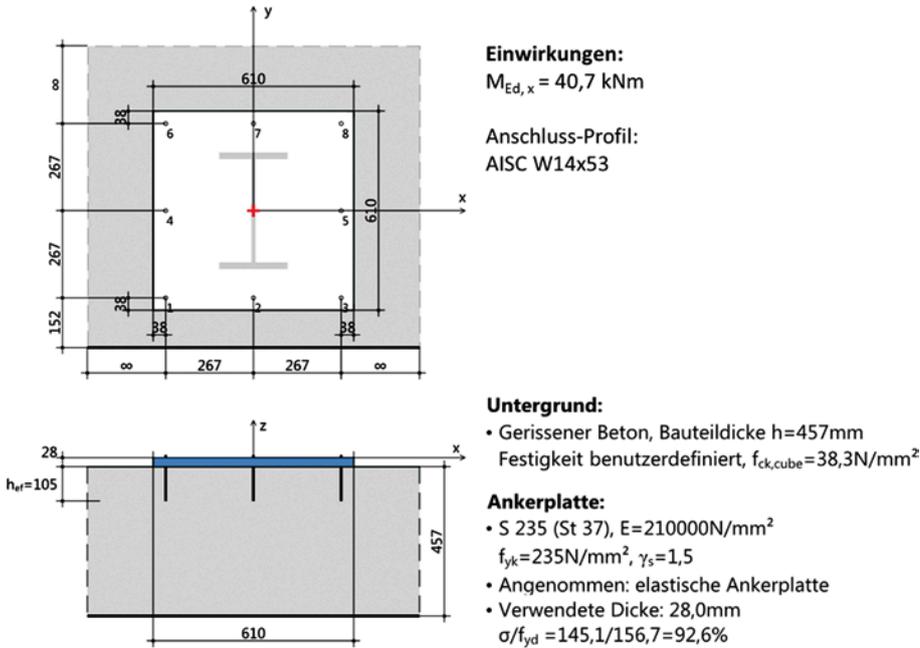


Bild 18 Randbedingungen des Bemessungsbeispiels in Tab. 3
 Boundary condition of the design example in Tab. 3

Anker-Nr.	Normalkraft
1	0,002
2	0,000
3	0,002
4	10,916
5	10,916
6	13,334
7	57,551
8	13,334

N^h

resultierende Zugkraft in $(x/y=0,0/211,8)$
 resultierende Druckkraft in $(x/y=0,0/-172,9)$

Angenommen: Ankersteifigkeitsfaktor 1,00
 → Ankerfederkonstante $C_g = 133,1 \text{ kN/mm}$

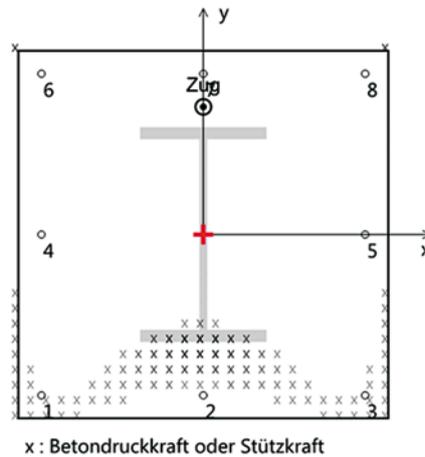


Bild 19 Berechnete Ankerzugkraftverteilung mit $h_{ef}=105 \text{ mm}$ und $t_{fix}=28 \text{ mm}$ [4]
 Calculated anchor tension force distribution with $h_{ef}=105 \text{ mm}$ and $t_{fix}=28 \text{ mm}$ [4]

Dübelherstellers wäre diese Befestigung mit folgenden Parametern bei einer Auslastung von 100% zu realisieren:

- Verbundanker M12 mit ETA und der optimierten Verankerungstiefe von 139 mm,
- erforderliche Ankerplattendicke von mindestens 13 mm.

Die mittels biegestarrer Ankerplatte berechnete höchste Ankerzugkraft beträgt 12,2 kN (Bild 21).

Eine Vergleichsrechnung mit der elastischen Ankerplatte [4] ergibt jedoch die in Bild 22 dargestellte Ankerzugkraftverteilung. Die so ermittelte höchste Ankerzugkraft beträgt 21 kN. Die Auslastung bei der elastischen Ankerplatte beträgt somit 197% >> 100% (Tab. 4).

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Bemessung von Befestigungen mit Ankerplatten ist in FprEN 1992-4 [1] allgemein geregelt. Dazu entstehen bei der Anwendung diverse Fragen. Diese Fragen wurden im vorliegenden Beitrag mit Bemessungsbeispielen untersucht und diskutiert. Die Untersuchungen ergeben die folgenden Ergebnisse und Schlussfolgerungen.

Die Rechenannahme der linearen Dehnungsverteilung entlang der Ankerplatte (Balkentheorie) in [1] Abschnitt 6.2.1 (1) für die Berechnung der Ankerzugkraftverteilung ist nicht allgemein verwendbar, weil eine unrealistische Ankerplattendicke benötigt wird, um eine äquivalente Ankerzugkraftverteilung wie aus der Balkentheorie zu erreichen. Dies kann man leicht nachvollziehen, weil die Balkentheorie nur für Balken mit konstantem Quer-

Tab. 3 Berechnung des Gruppenwiderstands beim Kombiversagen mit elastischer Ankerplatte [4]
Calculation of the group resistance at combined pullout and concrete cone failure with elastic base plate [4]

Kombiversagen (durch Herausziehen und Betonausbruch)

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \psi_{A,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,Np} \quad N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot l_b \cdot \tau_{Rk} \cdot \psi_c \quad \psi_{A,Np} = A_{p,N} / A_{p,N}^0 \quad N_{Rd,Np} = N_{Rk,Np} / \gamma_{Mp}$$

$$s_{cr,Np} = 20 \cdot d \cdot (\tau_{Rk,ucr} / 7,5)^{0,5} \leq 3 \cdot l_b \quad \psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s_m / s_{cr,Np})^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,0$$

l_b = Verbundlänge, h_{ef} = Effektive Verankerungstiefe. Grundkennwerte für den Nachweis des Kombiversagens:

τ_{Rk} [N/mm ²]	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm ²]	ψ_c	d [mm]	h_{ef} [mm]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	l_b [mm]	k	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]	γ_{Mp}
8,5	18,0	1,05	12,0	105,0	315,0	157,5	105,0	2,3	38,3	1,50

Alle zugbeanspruchten Anker (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8) sind in einer Gruppe ($s \leq s_{cr,Np}$).

$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\psi_{A,Np}$	$\psi_{s,Np}$	h_{ef} [mm]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	l_b [mm]	c_{-x} [mm]	c_{+x} [mm]	c_{-y} [mm]	c_{+y} [mm]
35,329	600 233	99 225	6,049	0,990	105,0	315,0	157,5	105,0	-	-	152,4	-

$\psi_{g,Np}^0$	s_m [mm]	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$e_{Np,x}$ [mm]	$e_{Np,y}$ [mm]	$\psi_{ec,Np,x}$	$\psi_{ec,Np,y}$	$\psi_{ec,Np}$	$N_{Rk,Np}$ [kN]	$N_{Rd,Np}$ [kN]	N_{sd} [kN]	$\beta_{N,p}$
1,610	304,8	1,010	1,000	0,0	173,7	1,000	0,476	0,476	101,648	67,766	106,055	1,565

Kombiversagen auf Einzeldübel (Zusätzlicher Nachweis bei elastischer Ankerplatte analog zu ETAG 001 Anhang C Gl. (5.2f))

$$N_{Rk,ep} = N_{Rk,Np} / \psi_{ec,Np} \quad N_{Rk,ep} = N_{Rk,ep}^0 / n \quad N_{Rd,ep} = N_{Rk,ep} / \gamma_{Mp} \quad \gamma_{Mp} = 1,50$$

Anker-Nr.	$N_{Rk,Np}$ [kN]	$\psi_{ec,Np}$	$N_{Rk,ep}^0$ [kN]	$N_{Rk,ep}$ [kN]	$N_{Rd,ep}$ [kN]	N_{sd} [kN]	$\beta_{N,ep}$
7	101,648	0,476	213,741	30,534	20,356	57,551	2,827

schnitt in Längsrichtung gilt und diese Bedingung bei der Ankerplatte mit Profilanschluss mit Querschnittsprung generell nicht existiert.

Bei üblichen Ankerplattendicken kann die reale höchste Ankerzugkraft viel höher sein als die aus der Balkentheorie. Dies liegt eindeutig auf der unsicheren Seite. Diese Ergebnisse stimmen mit dem Hinweis von ACI 355 [16] überein.

Um die geregelte Sicherheit der Befestigungen bei der Bemessung einzuhalten, soll das Rechenmodell oder die Rechenannahme für die Ankerzugkraftermittlung in An-

kerplatten mit einer Genauigkeit mit der Toleranz < 5% erforderlich sein, weil bei der Ankerbemessung die Versagensart Herausziehen maßgebend sein kann und somit die Abweichung der berechneten höchsten Ankerzugkraft zum realen Wert in der Ankerplatte direkt die Sicherheit der Verankerung beeinflusst.

Die Rechenannahme der Balkentheorie in [1] Abschnitt 6.2.1 (1) steht mit der Elastizitätstheorie in [1] Abschnitt 6.1 (5) in Widerspruch, weil dabei die Verformungen von Ankerplatten und Ankern sowie ihre Kompatibilität nicht berücksichtigt sind.

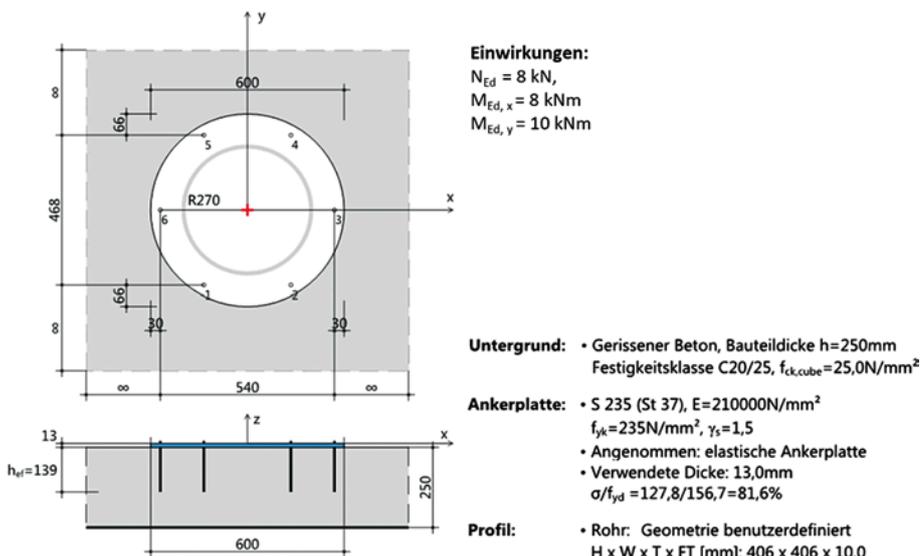


Bild 20 Randbedingungen des Bemessungsbeispiels in Tab. 4
Boundary condition of the design example in Tab. 4

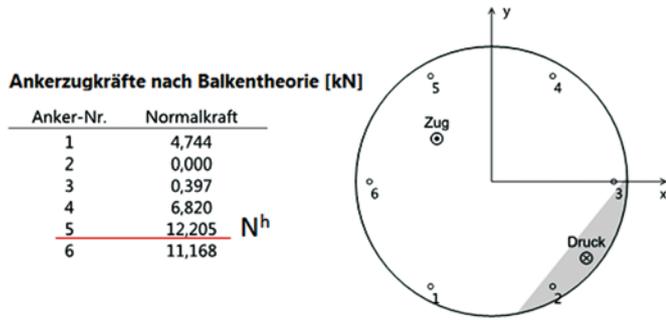


Bild 21 Berechnete Ankerzugkraftverteilung mit M12 und biegestarrer Ankerplatte [4]
Calculated anchor tension force distribution with M12 and rigid base plate [4]

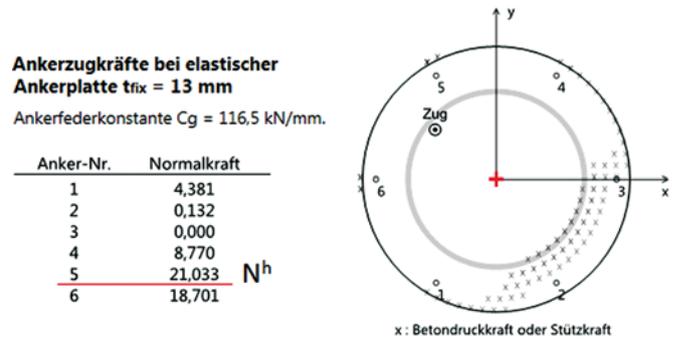


Bild 22 Ermittelte Ankerzugkraftverteilung mit M12 und elastischer Ankerplatte ($t_{fix} = 13 \text{ mm}$) [4]
Calculated anchor tension forces with M12 and elastic base plate ($t_{fix} = 13 \text{ mm}$) [4]

Die Abstützeffekte können mit der Balkentheorie nicht erfasst werden. Das elastische Ankerplattenmodell berücksichtigt die Abstützkräfte an der Ankerplatte.

Die Steifigkeitsbedingung in [1] Abschnitt 6.2.1 (2) ist technisch fraglich und zurzeit nicht mit ETA konform anwendbar, weil die Biegeverformungen der Ankerplatte und die axiale Ankerverschiebung nur unter ihrer Verformungskompatibilität ermittelt werden können und dafür die Ankersteifigkeit unter der Gebrauchslast benötigt wird. Diese Ankersteifigkeit wird zurzeit in den ETA nicht angegeben.

Aus den o. g. Gründen kann eine ausreichend steife bzw. biegestarre Ankerplatte nach [1] Abschnitt 6.2.1 (2) nicht nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass bei der Bemessung die elastischen Ankerplatten-Biegeverformungen be-

rücksichtigt werden müssen. Dies ist aber zurzeit nach [1] nicht möglich, weil die für die Berechnung benötigte Ankersteifigkeit nicht spezifiziert ist. Zudem ist das Bemessungsmodell in [1] für die Ankerwiderstände nicht für die elastischen Ankerplatten geeignet, weil die Tragfähigkeit der Ankergruppe beim Betonversagen unter uneben verteilten Ankerzugkräften nicht berechnet werden kann [13].

Die o. g. Situation zeigt, dass die Regelungen zu den Ankerplatten in [1] zur Ankerzuglastermittlung widersprüchlich sind und nicht in die Praxis umgesetzt werden können. Diese Situation wird dazu führen, dass keine Steifigkeitsbedingung für die Ankerplatten nach [1] in die Bemessungspraxis eingeführt werden kann und die Ankerplattendicke wie bisher nach Spannungsbedingung bestimmt wird. Dadurch bestehen die Sicherheitslücken

Tab. 4 Berechnung des Gruppenwiderstands beim Kombiversagen bei elastischer Ankerplatte [4]
Calculation of the group resistance at combined pullout and concrete cone failure with elastic base plate [4]

Kombiversagen (durch Herausziehen und Betonausbruch)

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \psi_{A,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,Np} \quad N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot l_b \cdot \tau_{Rk} \cdot \psi_c \quad \psi_{A,Np} = A_{p,N} / A_{p,N}^0 \quad N_{Rd,Np} = N_{Rk,Np} / \gamma_{Mp}$$

$$s_{cr,Np} = 20 \cdot d \cdot (\tau_{Rk,ucr} / 7,5)^{0,5} \leq 3 \cdot l_b \quad \psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s_m / s_{cr,Np})^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,0$$

l_b = Verbundlänge, h_{ef} = Effektive Verankerungstiefe. Grundkennwerte für den Nachweis des Kombiversagens:

τ_{Rk} [N/mm ²]	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm ²]	ψ_c	d [mm]	h_{ef} [mm]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	l_b [mm]	k	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]	γ_{Mp}
5,5	12,0	1,00	12,0	139,0	303,6	151,8	139,0	2,3	25,0	1,80

Alle zugbeanspruchten Anker (1, 2, 4, 5, 6) sind in einer Gruppe ($s \leq s_{cr,Np}$):

$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\psi_{A,Np}$	$\psi_{s,Np}$	h_{ef} [mm]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	l_b [mm]	c_{-x} [mm]	c_{+x} [mm]	c_{-y} [mm]	c_{+y} [mm]
28,821	416 721	92 160	4,522	1,000	139,0	303,6	151,8	139,0	-	-	-	-

$\psi_{g,Np}^0$	s_m [mm]	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$e_{Np,x}$ [mm]	$e_{Np,y}$ [mm]	$\psi_{ec,Np,x}$	$\psi_{ec,Np,y}$	$\psi_{ec,Np}$	$N_{Rk,Np}$ [kN]	$N_{Rd,Np}$ [kN]	N_{sd} [kN]	$\beta_{N,p}$
1,816	309,5	1,000	1,000	83,3	111,5	0,646	0,576	0,372	48,505	26,947	53,016	1,967

Kombiversagen auf Einzeldübel (Zusätzlicher Nachweis bei elastischer Ankerplatte analog zu ETAG 001 Anhang C Gl. (5.2f))

$$N_{Rk,ep} = N_{Rk,Np} / \psi_{ec,Np} \quad N_{Rk,ep} = N_{Rk,ep}^0 / n \quad N_{Rd,ep} = N_{Rk,ep} / \gamma_{Mp} \quad \gamma_{Mp} = 1,80$$

Anker-Nr.	$N_{Rk,Np}$ [kN]	$\psi_{ec,Np}$	$N_{Rk,ep}^0$ [kN]	$N_{Rk,ep}$ [kN]	$N_{Rd,ep}$ [kN]	N_{sd} [kN]	$\beta_{N,ep}$
5	48,505	0,372	130,320	26,064	14,480	21,033	1,453

in der Praxis der Ankerbemessung. Um diese Sicherheitslücken zu schließen, sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Ergänzung der Ankersteifigkeit unter der Gebrauchslast in der Ankerspezifikation ETA, wie z. B. analog zu ACI 355.2 [17],
- Ergänzung zur Berechnung der Ankerwiderstände für elastische Ankerplatten in [1].

Damit kann die Ankerzugkraftverteilung mit der Elastizitätstheorie berechnet und die Bemessung von Befestigungen allgemein mit elastischen Ankerplatten durchgeführt werden.

Dank

Die Forschung an elastischen Ankerplatten wurde vom Land Baden-Württemberg mit Innovationsgutschein B Hightech 2015 gefördert. An dieser Stelle sei dafür herzlich gedankt.

Literatur

- [1] FprEN 1992-4 Eurocode 2 (2016) Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete, CEN/TC 250 N 1454. Ausgabe März 2016.
- [2] *Schneider, H.* (1999) Zum Einfluss der Ankerplattensteifigkeit auf die Ermittlung der Dübelkräfte bei Mehrfachbefestigungen. Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Landesstelle für Baustatik.
- [3] *Schneider, H.* (2014) „Ich glaube mit der Annahme, dass man die Ankerplatten nur ausreichend steif machen muss, um die postulierte lineare Pressungsverteilung (... diese Annahme hat im Übrigen nicht im Entferntesten etwas mit „Elastizitätstheorie“ zu tun!) zu bekommen, wird man keinen Erfolg haben.“ [E-Mail 5. Juni 2014, unveröffentlicht]. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Referat 45 Bautechnik, Bauökologie.
- [4] Dr. Li Anchor Profi GmbH [Hrsg.] Anchor Profi 3.1.0 [Software]. Mai 2017.
- [5] ETAG 001 (2001) Annex C: Design Methods for Anchorages. EOTA. Ausgabe Okt. 2001.
- [6] EOTA TR029 (2007) Design of Bonded Anchors. EOTA. Ausgabe Juni 2007, Änderung Sept. 2010.
- [7] Technical specification CEN/TS 1992-4 (2009) Design of Fastenings for Use in Concrete. European Committee for Standardization.
- [8] fib bulletin 58 (2011) Design of anchorages in concrete. Ausgabe Juli 2011. ISSN 1562-3610
- [9] *Fichtner, S.* (2011) Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht [Dissertation]. Universität Stuttgart.
- [10] *Li, L.* (2018) Required Thickness of Flexurally Rigid Base-plate for Anchor Fastenings. In: Proceedings of fib Symposium Maastricht 2017, High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet. Basel: Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59471-2_109
- [11] *Li, L.* (2016) Erforderliche Dicke für die biegesteife Ankerplatte. Stellungnahme zu CEN/TC 250 N 1454, Abschnitt 6.2.1 Tension loads [an DIN, NA 005-07-01-01 AK].
- [12] *Mallée, R.; Riemann, H.* (1990) Ankerplattenbefestigungen mit Hinterschnittdübel. In: Bauingenieur 65, S. 49–57.
- [13] *Li, L.* (2015) “Chair Eligehausen noted that our current predictive expression for breakout does not allow for non-uniform anchor load distribution.” [Auszug, unveröffentlicht]. 4.8 Report on progress in WP 8 Required Stiffness of Base-plates; Draft Minutes of fib TG 2.9 meeting “Fastenings to structural concrete and masonry” (formerly SAG 4). TU Dresden, 26./27. Okt. 2015.
- [14] FMPA Stuttgart (1983) Bericht über Belastungsversuche an einbetonierten Kopfbolzensgruppen, Bericht II.4–14 151. 16. Mai 1983 [unveröffentlicht].
- [15] ACI 355.3R-11 (2011) Guide for Design of Anchorage to Concrete: Examples Using ACI 318 Appendix D. Ausgabe Mai 2011. ISBN 978-0-87031-425-4
- [16] *Cook, R. A.* (2017) “Base Plate Flexibility, what needs to be considered 1st – plane sections do not remain plane beam theory is not correct.” [E-Mail-Annex, 6. Apr. 2017]. In: ACI 355 Seminar “Anchorage to Concrete”, p. 163.
- [17] ACI 355.2 Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete and Commentary. ACI 355.2-07, Section 5.5.2. ISBN 978-0-87031-247-2

Autor

Longfei Li
Dr. Li Anchor Profi GmbH
Gustav-Stoll-Weg 7
72250 Freudenstadt
longfei.li@anchorprofi.de

Alleinstellungsmerkmale der Software *Anchor Profi*

1. Herstellerübergreifende Ankerbemessung

Anchor Profi ermöglicht es Ihnen, Schwerlastanker und Kopfbolzen der wichtigsten europäischen und amerikanischen Hersteller unter statischer, seismischer und ermüdungsrelevanter Beanspruchung unabhängig zu bemessen, transparent zu vergleichen und neutral auszuwählen. Zurzeit werden 20 Hersteller mit 156 ETAs/ICC-ESRs unterstützt.

2. Sichere Bemessung der Ankerplatten

In Anchor Profi sind spezielle Rechenmodule für die Modellierung der elastischen und starren Ankerplatten integriert. Mit diesen können die Sicherheitsrisiken, welche von der Annahme starrer Ankerplatten ohne Nachweis ihrer Steifigkeit bei der Bemessung von Befestigungen entstehen, vermieden werden.

3. Gewinnen Sie Zeit

Mit Anchor Profi brauchen Sie nur noch eine Software zu installieren und zu verwalten. Sie ersparen sich unnötige Administrationskosten und wiederholte Einarbeitung in herstellerspezifische Software mit unterschiedlichsten Benutzerschnittstellen.

4. Einfach zu benutzen

Die selbsterklärende Benutzeroberfläche kann ohne Vorkenntnisse einfach bedient werden. Die Verankerungsdaten sind auf der Bedienungs Oberfläche übersichtlich dargestellt. So vermeiden Sie die langwierige Suchen nach den gewünschten Funktionen.

5. Hohe Flexibilität

Mit Anchor Profi sind frei wählbare Anker- und Langloch-anordnung mit beliebiger Ankerplattengeometrie flexibel

kombinierbar. Damit haben Sie weit mehr Möglichkeiten für die Ankerbemessung.

6. Professionelles Werkzeug

Die Definition und Eingabe der Verankerungsstruktur erfolgt über eine interaktive 3D-Modellaufbereitung. Zur Detailsausarbeitung komplexer Ankerplattengeometrien und Ankeranordnungen sind zusätzlich 2D-Design-Werkzeuge integriert.

7. Vorsprung durch perfekte Details

Die Nachweise der Anker-Tragfähigkeit bei allen Versagensarten sind ankerbezogen. Dies ermöglicht die exakte Identifikation des kritischen Ankers in der nachgewiesenen Verankerung.

8. Bemessungsbericht nach Ihrem Bedarf

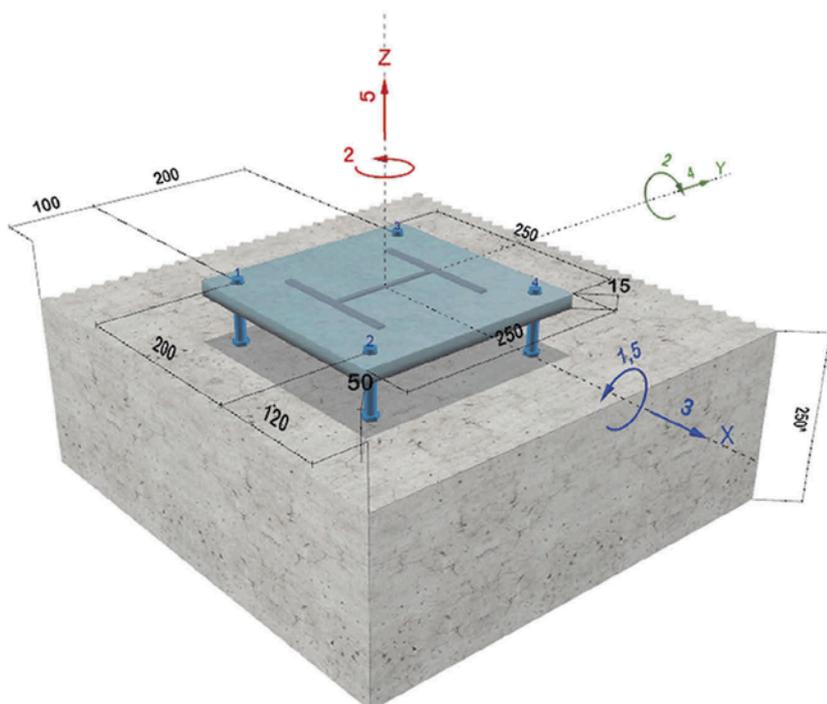
Anchor Profi stellt Ihnen vier Formen der Bemessungsberichte zur Auswahl. Herstellerübergreifende Ankervergleichslisten, zusammenfassende, erweiterte und detaillierte Berichte können entsprechend der Planungsphasen gedruckt werden.

9. Einfache Plausibilitätsprüfung

Zusätzlich zu der Verankerungsstruktur werden die Ankerquerkräfte und die bezogene Mitwirkungsfläche bei Pryout-Versagen im Bemessungsbericht grafisch dargestellt. Dies ermöglicht es Ihnen, einen schnellen Überblick über die Bemessungsergebnisse zu gewinnen.

10. Try before buy

Sie können Anchor Profi in der Demoversion unverbindlich testen. Sie kaufen Anchor Profi nur, wenn Sie damit zufrieden sind.



Dr. Li Anchor Profi GmbH

Gustav-Stoll-Weg 7

72250 Freudenstadt

Tel.: 07441 407 3833

Fax: 07441 407 7139

E-Mail: info@anchorprofi.de

Internet: www.anchorprofi.de