DOI: 10.1002/stab.201800036

Wirklichkeitsnahe und vollständige Bemessung von Ankerplatten einschließlich der Befestigungsmittel – neue Bemessungssoftware auf Basis wirklichkeitsnaher Annahmen

Mario Fitz
Jörg Appl
Oliver Geibig

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung der geltenden Bemessungsvorschriften für Befestigungsmittel, die in Beton verankert werden, ist die Annahme einer biegesteifen Ankerplatte, wenn die Beanspruchung der Befestigungsmittel nach der Elastizitätstheorie bestimmt wird. Jedoch gibt es hierzu keine klaren Regelungen, ab wann eine Ankerplatte als ausreichend biegesteif anzusehen ist. Die notwendige Überprüfung dieser Annahme am Ende einer Bemessung erfolgt demzufolge in aller Regel nicht bzw. durch sehr aufwendige Berechnungen von Hand. In diesem Artikel wird die Thematik umfassend beleuchtet. Es werden die aktuellen Bemessungsvorschriften für Befestigungsmittel in Kombination mit flexiblen, d. h. nicht unendlich biegesteifen Ankerplatten näher betrachtet. Darüber hinaus werden Konsequenzen aufgezeigt, die bei einer als vermeintlich biegesteif angenommenen Ankerplatte entstehen können. Schließlich werden Lösungswege aufgezeigt, wie der komplette Fußpunkt einschließlich Profil, Schweißnähte, Steifen, Ankerplatte, Dübel und Beton gesamthaft modelliert werden kann. In der Folge kann der Fußpunkt vollständig bemessen und über unterschiedliche Parameter optimiert werden. Die Autoren bedienen sich dabei der komponentenbasierten FE-Methode. Wichtig ist, dass alle getroffenen Annahmen für die Bemessung der einzelnen Komponenten der vollständigen Verbindung sich nicht widersprechen dürfen. Hierzu war zum Teil weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit erforderlich.

Stichworte: Ankerplatte; starre Ankerplatte; Fußplatte; Dübelbemessung; Schweißnahtbemessung; Steifen

Design of fixtures and its anchorages based on realistic assumptions. *The usage of design rules for anchorages to concrete is based on the assumption of a rigid baseplate if the anchor loads induced by loads acting on the fixture are calculated by elastic theory. However, it is the opinion of the authors that no clear definition concerning this assumption is stated. Consequently, a final check of this basic requirement is needed but mostly not conducted at the end of a design process. In our article, this topic and its consequences are discussed comprehensively, taking account of existing and upcoming design regulations. In addition, the consequences of an as rigid assumed baseplate are pointed out. It's shown how to design a complete column base point with "one step" and one software taking account of the profile attached, welding seem, stiffeners, baseplate and its anchorages in concrete as well as the concrete itself. In addition, information is provided under which conditions a baseplate can be assumed as sufficient rigid. This approach can be achieved by using the component based FE model, included in the latest design software.*

Keywords: *base plate design; anchor design; fixture design*

1 Allgemeines

Die Bemessung von Ankerplatten und ihrer Befestigungsmittel, die in Beton verankert werden, ist für Planer und Anwender wichtig. Mit modernen Befestigungsmitteln lassen sich hohe Lasten sicher in Betonbauten einleiten. Es ist verständlich, dass diese sicherheitsrelevante Verbindung eine genaue Bemessung erfordert. Ferner ist der planende Ingenieur den Bauherren gegenüber verpflichtet, wirtschaftlich zu konstruieren, d. h., nach Verfahren zu bemessen, die eine möglichst optimale Ausnutzung der Befestigungselemente erlauben [1].

In den europäischen Normen [2], [3] ist der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der Bemessungswerte der Beanspruchung (Einwirkung) bzw. der Beanspruchbarkeit (Widerstand) einzuhalten ($E_d \leq C_d$ bzw. $E_d \leq R_d$).

1.1 Beanspruchung der Befestigungsmittel einer Gruppe

Die Beanspruchungen der Befestigungsmittel aus den an der Ankerplatte angreifenden Schnittkräften kann auf Basis des Eurocode 2, Teil 4 [4] nach der Elastizitätstheorie oder mit Verweis auf FprCEN/TR 17081 [5] nach der Plastizitätstheorie (Traglastverfahren) bestimmt werden.

Für die Berechnung der Zugkräfte in den Befestigungsmitteln einer Gruppe nach der Elastizitätstheorie ist eine wesentliche Annahme, dass die Ankerplatte unter den einwirkenden Schnittgrößen eben bleibt [4], was im Allgemeinen als „ausreichende biegesteife Ankerplatte" bezeichnet wird. Die Verteilung der Kräfte bei einer durch Biegemoment beanspruchten Befestigungsgruppe mit einer biegesteifen Ankerplatte ergibt sich schematisch gemäß Bild 1, wobei angenommen wird, dass die Steifigkeit aller Befestigungsmittel einer Gruppe gleich ist und sich aus dem E-Modul ($E_s = 210\,000$ N/mm^2) und dem Querschnitt des Stahls ergibt. Weiterhin wird angenommen, dass sich am äußeren Ende, unterhalb der Ankerplatte, ein dreiecksförmiger Betondruckspannungszustand ausbildet (Bild 1). Die Steifigkeit des Betons wird durch den E-Modul bzw. vereinfachend mit $E_c = 30\,000$ N/mm^2 charakterisiert [4]. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass in den druckbeanspruchten Bereichen unter der Ankerplatte die Befestigungsmittel keine Normalkräfte aufnehmen.

Eine einfache Variante der nichtlinearen Berechnung ist die Plastizitätstheorie, die für den Nachweis des Grenz-

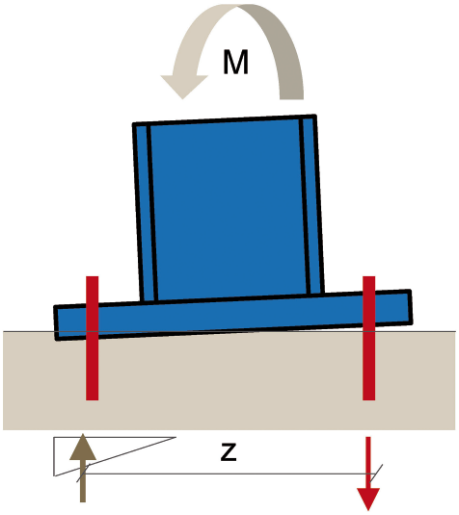

Bild 1. Verteilung der Kräfte bei einer durch Biegemoment beanspruchten Befestigungsgruppe
Fig. 1. Distribution of forces in an anchor group subjected to bending moment

zustands der Tragfähigkeit für eine Verankerung von Befestigungen in Beton als geeignet angesehen werden kann, wenn die Bedingungen von FprCEN/TR 17081 [5] berücksichtigt werden [4]. Dabei werden nur die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt und die Verträglichkeitsbedingungen vernachlässigt. Die Plastizitätstheorie setzt voraus, dass die Befestigungselemente eine ausreichende Duktilität unter Zug- und Querlast aufweisen [5]. Diese Bedingung ist nur bei Stahlversagen, duktilem Stahl, kleinem Lochspiel und Befestigungsmitteln mit über die Verankerungstiefe konstantem Querschnitt (z. B. Gewindestangen) gegeben [5]. Liegt kein konstanter Querschnitt des Befestigungsmittels vor, sind zusätzliche materialspezifische und geometrische Anforderungen einzuhalten. Diese Regelungen werden nicht von allen auf dem Markt befindlichen Befestigungsmitteln eingehalten. FprCEN/TR 17081 [5] berücksichtigt sowohl biegesteife als auch biegeweiche Ankerplatten. Bei einer biegesteifen Ankerplatte wird angenommen, dass sich Betondruckspannungen vom äußeren Ende der Ankerplatte ausgehend dreiecksförmig verteilen, wobei die Ankerplatte ausreichend dick sein muss, damit sie am Rand des aufgeschweißten Profils nicht fließt. Im Fall einer biegeweichen Ankerplatte kann vereinfachend angenommen werden, dass die resultierende Betondruckkraft entweder am Rand des aufgeschweißten Profils angreift oder ihre Lage mit der Lage der Druckkraft im aufgeschweißten Profil übereinstimmt [6]. Diese Annahmen liegen auf der sicheren Seite, im Besonderen bei relativ kleinen Anbauteilen im Vergleich zur Größe der Ankerplatte. Im Allgemeinen beschränkt sich [5] auf die Anwendung unter Zuglast und/oder Querlast mit einachsiger Biegung.

1.2 Widerstand der Befestigungsmittel

Die Berechnung bzw. der Nachweis der Widerstandsseite ist nur möglich, wenn bei der Bemessung sowohl nach Lastrichtung (Zuglast, Querlast, kombinierte Zug-Querlast) als auch nach Versagensarten unterschieden wird [1]. Im Jahr 1995 hat das CEB (Comite Euro-International du Beton) ein Bemessungsverfahren veröffentlicht [7], das diese Forderungen erfüllt. Das als CC-Verfahren (Concrete Capacity Method) bekannte Bemessungsverfahren ist Teil der derzeit gültigen ETAG 001 [8] sowie EOTA TR029 [9] und wird künftig auch Einzug in den Eurocode 2 als Teil 4 [4] halten.

Grundlegende Annahme des CC-Verfahrens ist, dass die Dübelschnittkräfte an der Betonoberfläche aus den an der Ankerplatte angreifenden Kräften und Momenten unter der Annahme eines linearen Werkstoffverhaltens von Beton und Dübel berechnet werden (Elastizitätstheorie) und dass die Ankerplatte unter den einwirkenden Schnittgrößen eben bleibt [1], [4]. Die Forderung einer ausreichend biegesteifen Ankerplatte im Hinblick auf den Bemessungswiderstand ist explizit im Geltungsbereich und implizit aus dem im CC-Verfahren verwendeten Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Exzentrizität der resultierenden Zuglast auf die Bruchlast von Gruppen ($\psi_{ec,N}$) enthalten.

Gemäß dem CC-Verfahren wird bei ungleichmäßiger Beanspruchung, z. B. bei an der Ankerplatte angreifenden Biegemomenten oder exzentrisch wirkenden Zuglasten, die Bruchlast der Gruppe nach [10] berechnet. Bei zentrischer Beanspruchung (Bild 2a) muss keine Exzentrizität berücksichtigt werden. Greift die resultierende Zugkraft an einem Dübel oder Kopfbolzen an (Bild 2c), entspricht die Bruchlast der Gruppe unabhängig vom Achsabstand dem Wert einer Einzelbefestigung. Bei beliebiger Lage der resultierenden Zugkraft innerhalb der Gruppe (Bild 2b) wird ein hyperbolischer Verlauf der Bruchlast der Ankergruppe zwischen den Grenzfällen angenommen. Dies wird im CC-Verfahren mit dem $\psi_{ec,N}$-Faktor berücksichtigt.

In [1] wird explizit darauf hingewiesen, dass die Gleichung für den Faktor $\psi_{ec,N}$ nicht gilt, wenn eine biegeweiche Ankerplatte verwendet oder die Verteilung der an der Ankerplatte angreifenden Last auf die einzelnen Befestigungselemente nicht nach der Elastizitätstheorie berechnet wird.

Erfolgt der rechnerische Nachweis der Widerstandsseite nach der Plastizitätstheorie bzw. dem Traglastverfahren [5], dann ausschließlich unter zahlreichen Einschränkungen. Neben Anforderung an die Duktilität der Befestigungsmittel wird u. a. rechnerisch gewährleistet, dass Stahlversagen auftritt, bevor der charakteristische Wider-

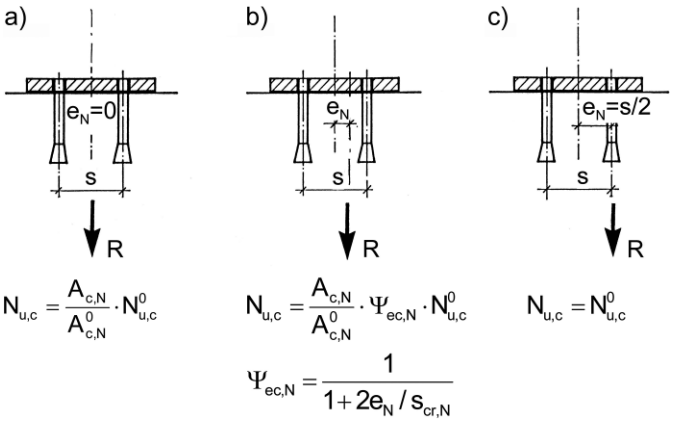

Bild 2. Berücksichtigung der Exzentrizität der äußeren Last beim CC-Verfahren [1]
Fig. 2. Accounting the eccentricity of the external load in the CC-Method [1]

stand für Herausziehen/Durchziehen, Betonausbruch, Spalten und Betonkantenbruch erreicht wird. Praktisch kann dies durch die Wahl einer ausreichend großen Verankerungslänge eingehalten werden. Aus diesem Grund erfordert dies in der Regel größere Randabstände, um einen Betonausbruch zu gewährleisten. In schmalen Bauteilen kann evtl. keine Befestigungslösung gefunden werden.

1.3 Was bedeutet „ausreichend biegesteif"?

Werden die an den Befestigungen angreifenden Schnittkräfte nach der Elastizitätstheorie bestimmt und soll der Nachweis der Befestigungsmittel nach gängigem Regelwerk [1], [4], [8], [9] erfolgen, so muss die Ankerplatte ausreichend biegesteif sein. Eine einheitliche und klar verbindliche Aussage, wie dies zu erfolgen hat, gibt es nach Meinung der Autoren bisher nicht.

- Um eine ausreichende Ankerplattensteifigkeit zu gewährleisten, wird von [11] vorgeschlagen, die Spannungen in der Ankerplatte zu begrenzen. Gemäß Bild 3 sollen Biegespannungen in der Ankerplatte über einem Bereich $2 \cdot t + s$ (t = Ankerplattendicke, s = Profilstegdicke) vor dem Anbauteil gemittelt werden. Ist die mittlere Biegespannung in der Stahlplatte geringer als die Fließgrenze, so kann davon ausgegangen werden, dass die Ankerplatte ausreichend steif ist [11].
- Numerische [12] und experimentell erhaltene Ergebnisse [13], [14], [15] zeigen, dass das Spannungskriterium [11] nicht allgemeingültig ist und unter Umständen zu deutlich höheren Ankerlasten führen kann als nach der Elastizitätstheorie berechnet.

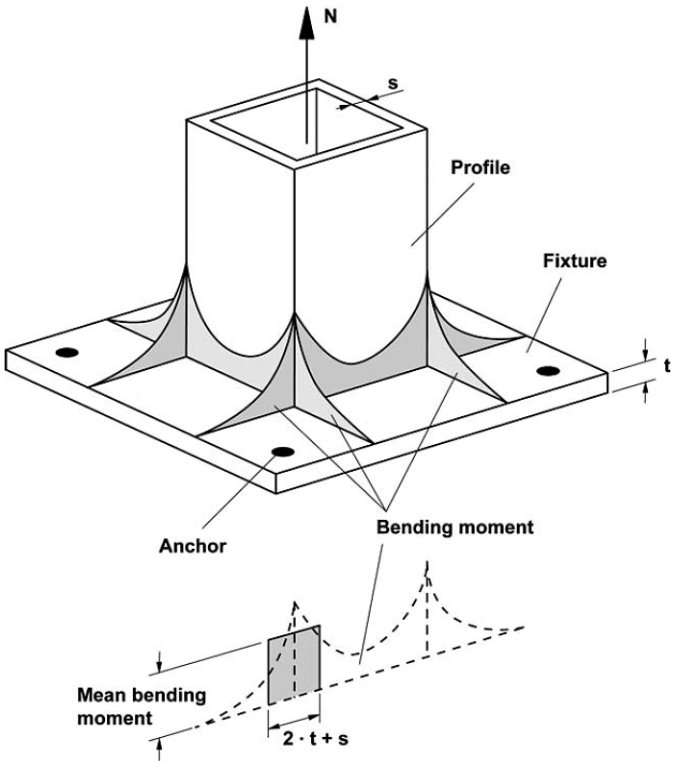

Bild 3. Einhaltung der „Biegestarren Ankerplatten"-Definition durch Begrenzung der Biegespannung, s = Profilstegdicke, t = Ankerplattendicke [11]
Fig. 3. Fulfilling the requirement of a "sufficient stiff baseplate" by limiting the bending stress, s = web-thickness of profile, t = thickness of plate [11]

- In [16] wird eine Aussage bezüglich einer „ausreichenden Steifigkeit" mithilfe des Verhältniswerts – Abstand Rand des Profils bis Plattenrand zur Ankerplattendicke – getroffen. Vermutlich soll dadurch das Auftreten von Abstützkräften verhindert werden.
- Eurocode 2, Teil 4 [4] weist darauf hin, dass die Verformung der Ankerplatte vernachlässigbar im Vergleich zu den axialen Verschiebungen der Befestigungsmittel sein sollte. Ist diese Anforderung nicht erfüllt, muss die Verformung der Ankerplatte berücksichtigt werden.
- Nach neuesten Untersuchungen [15] soll eine ausreichende Steifigkeit bzw. die Dicke der Ankerplatte nach zwei Kriterien bestimmt werden, einem Spannungskriterium und einem Verformungskriterium. Dies erfolgt mit der Spannungsbegrenzung nach [11]. Weiterhin muss die elastische Durchbiegung der Ankerplatte unter den Bemessungsschnittgrößen mit Berücksichtigung der Dübel-/Ankerverschiebung begrenzt werden. [15] weist darauf hin, dass die Verformung der Zugseite wesentlich von der Ankersteifigkeit des verwendeten Dübelsystems abhängt.

2 Realität vs. Praxis bzw. ideal steif vs. biegeweich und deren Auswirkung

2.1 Ankerplattendicken in der Praxis

Die Annahme, dass sich die Ankerplatte unter den auf Basis der Elastizitätstheorie ermittelten Einwirkungen nicht verformt, ist für die in der Praxis üblichen Ankerplattendicken nicht immer gewährleistet. Wie bereits diskutiert, wird bei einer biegesteifen Ankerplatte u. a. angenommen, dass die resultierende Betondruckkraft am äußeren Ende der Ankerplatte angreift und sich somit der innere Hebelarm z ergibt (Bild 4a oben).

Liegt jedoch im Gegensatz zur Annahme eine biegeweiche/flexible Ankerplatte vor, führt dies je nach Steifigkeit zu einer Reduzierung des Hebelarms der inneren Kräfte und damit zu höheren Lasten auf dem Befestigungsmittel. Im extremen Fall ist damit zu rechnen, dass sich ein plastisches Gelenk in der Ankerplatte am Rand des aufgeschweißten Profils bildet (Bild 4a unten). In diesem Fall wandert die resultierende Betondruckkraft zum Rand des Profils hin. Bildet sich ein plastisches Gelenk in der Ankerplatte auf der gezogenen Seite des Anschlusses, können sich bei großer Verformung der Ankerplatte die Plattenecken gegen den Beton abstützen, wodurch Abstützkräfte hervorgerufen werden, die zur Erhöhung der Zugkräfte in den Befestigungselementen führen. Diese Abstützkräfte können ebenfalls bei größeren Ankerplattenüberständen, biegeweicher Ankerplatte und überwiegender Zugbeanspruchung zustande kommen (Bild 4b). Durch die erheblichen Verformungen der belasteten Ankerplatte wird die lastverteilende Wirkung der Ankerplatte unterbunden. Dies kann zu einer erheblichen Überbelastung und einem vorzeitigen Versagen eines Befestigungsmittels innerhalb einer Gruppe führen (Bild 4c).

2.2 Ankerplattendicken in der Praxis

Bild 5 zeigt Bemessungsbeispiele einer Ankerplatte aus der Praxis. In diesem Anwendungsfall wurden die Anker-

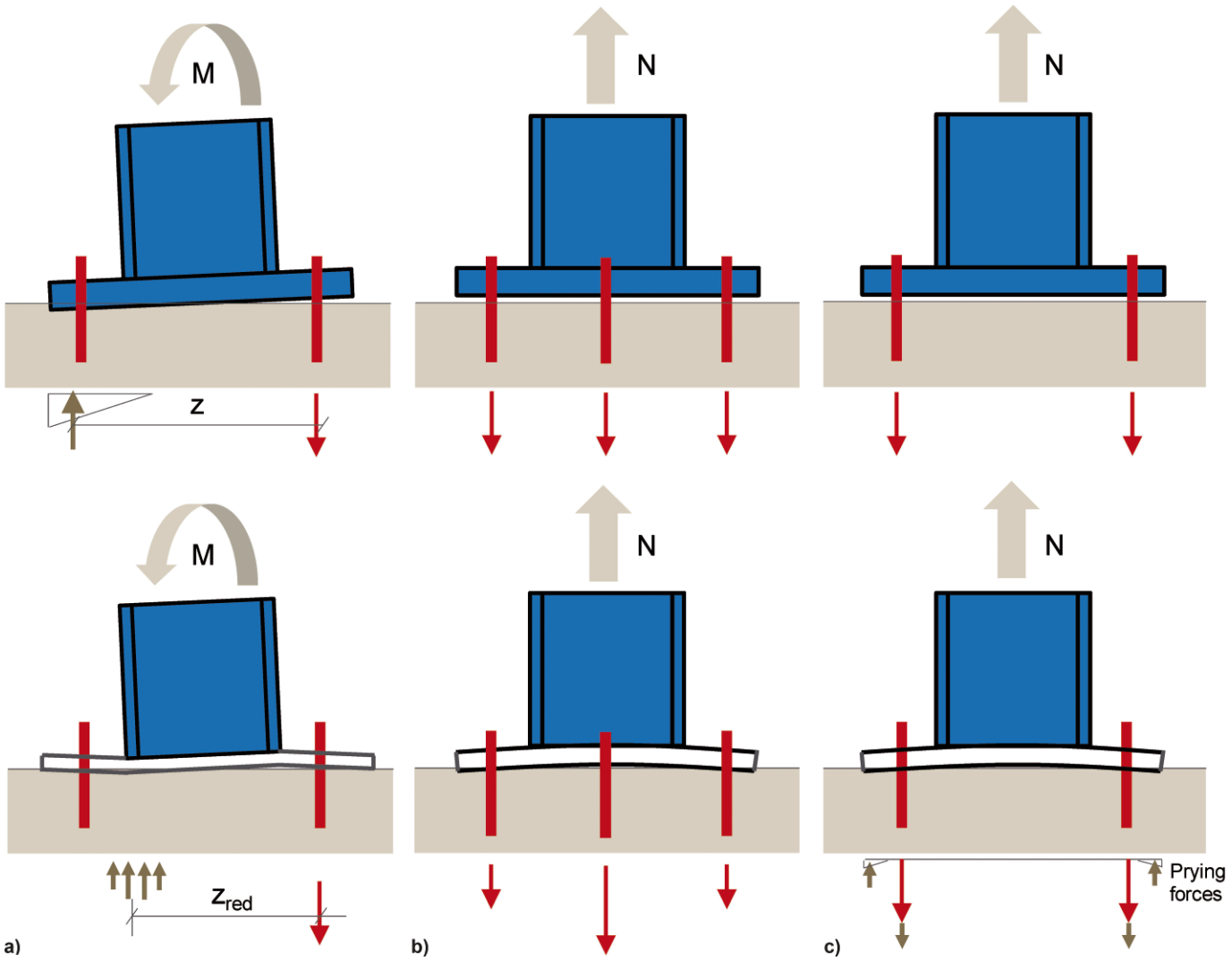

Bild 4. Vergrößerung der Ankerlasten (Einwirkung) in den Befestigungselementen bei biegeweicher Ankerplatte: a) Reduzierung des inneren Hebelarms, b) Abstützkräfte, c) eingeschränkte Lastverteilung
Fig. 4. Increase of anchor forces (action) associated with a flexible baseplate: a) reduction of inner lever arm, b) prying forces, c) limited equal load distribution

lasten mittels einer marktführenden Herstellersoftware vom verantwortlichen Ingenieur unter der Annahme einer biegesteifen Ankerplatte berechnet. Anschließend wurden die Ankerlasten der identischen Ankerplatte unter wirklichkeitsnahen Annahmen mithilfe nichtlinearer Verfahren vom verantwortlichen Prüfstatiker berechnet. Werden beide Ergebnisse verglichen, zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der maximalen Ankerzuglast des Einzeldübels einer Gruppe von bis zu 50 %. Das Ergebnis weist darauf hin, dass die vorhandene Ankerplatte nicht ausreichend steif ist. Wieso dieses Verhalten nicht schon in der ursprünglichen Bemessung berücksichtigt wurde, wird im kommenden Abschnitt näher erläutert.

3 Ein neuer Ansatz

3.1 Heutige Vorgehensweise

Üblicherweise werden heute Computerprogramme zur Bemessung von Befestigungen mit Dübeln verwendet. In der Regel führt die Bemessungssoftware basierend auf der Annahme der biegesteifen Ankerplatte – vereinfachend dargestellt – die Schritte in Bild 6 durch.

Im ersten Schritt werden unter der Annahme einer biegesteifen Ankerplatte die Betondruckkräfte unterhalb der Ankerplatte mit dreiecksförmiger Verteilung der Betondruckspannung und die Zugkräfte auf die Befestigungsmittel nach der Elastizitätstheorie ermittelt (Bild 6, Schritt 1). Je nach Hersteller wird dann die notwendige Ankerplattendicke auf Basis von Spannungskriterien bestimmt. Ist die mittlere Biegespannung in der Stahlplatte geringer als das angesetzte Spannungskriterium, wird davon ausgegangen, dass die Ankerplatte ausreichend biegesteif ist (basierend auf dem Konzept von [11]). Die Ermittlung der Biegespannung in der Fußplatte kann anschaulich durch einen Einfeld- oder Mehrfeldträger dargestellt werden, bei dem das Profil als Auflager und die Betondruckkraft und Ankerlasten als äußere Lasten (Bild 4, Schritt 2) angesetzt werden. Mit diesen Spannungen wird die erforderliche Plattendicke berechnet.

Der letzte und letztendlich notwendige Schritt zur Prüfung, ob sich die tatsächliche Ankerplatte unter den Bemessungslasten biegesteif verhält, ist bisher nicht bzw. nur mithilfe von spezieller Software auf Basis nichtlinearer FE-Analysen möglich. Es liegt somit in der Verantwortlichkeit des Ingenieurs, die ausreichende und nicht klar definierte Ankerplattensteifigkeit nachzuweisen.

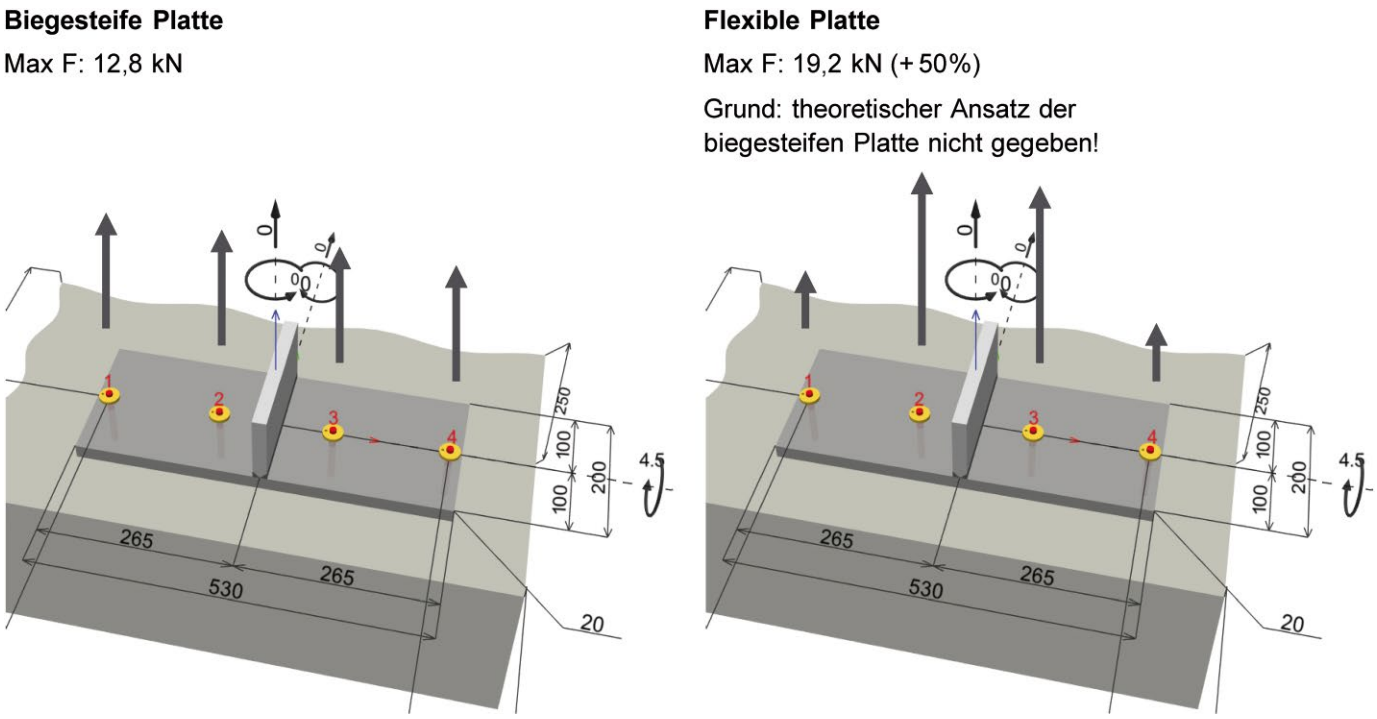

Bild 5. Unterschied der berechneten Ankerlasten nach Elastizitätstheorie im Vergleich zu den tatsächlichen Ankerlasten mithilfe nichtlinearer Methoden
Fig. 5. Difference of calculated anchor loads based of the theory of elasticity compared to the anchor forces calculated with the help of finite element method

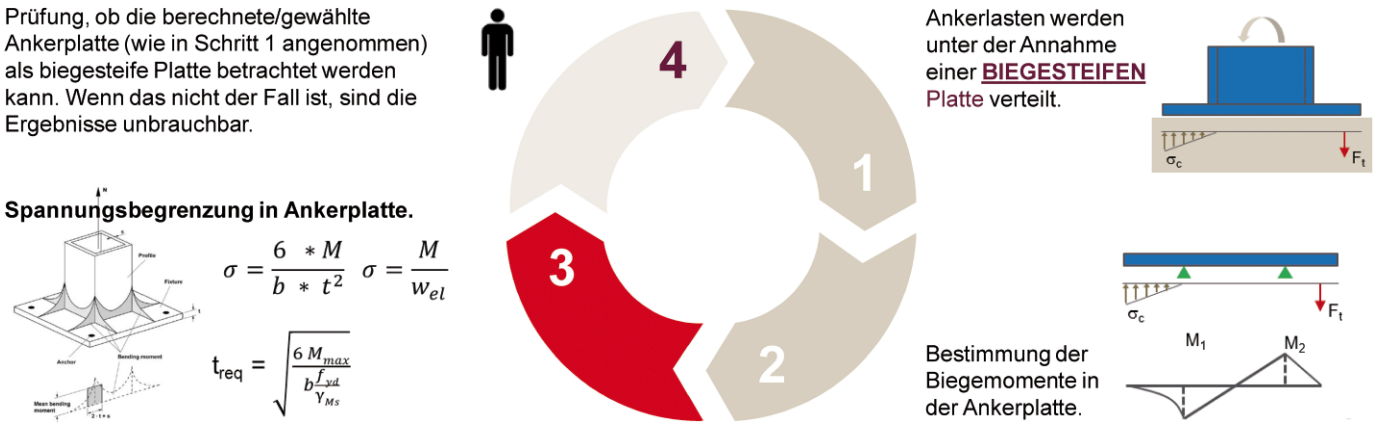

Bild 6. Durchgeführte (Schritte 1 bis 3) und notwendige Bemessungsschritte (Schritte 1 bis 4) zur Gewährleistung einer ausreichend starren Ankerplatte nach EC 2, Teil 4 [4]
Fig. 6. Realized (steps 1 to 3) and necessary design steps (steps 1 to 4) to ensure a sufficient stiffness as required in EC 2, part 4 [4]

Weiterhin müssen notwendige Annahmen, wie z. B. die Dübelsteifigkeit, die nach [15] einen wesentlichen Einfluss auf die Ankerlasten haben kann, abgeschätzt werden, da diese bisher nicht vorliegen.

Eine Verwendung der Verschiebungswerte auf Grundlage der Angaben in der entsprechenden ETA eines Befestigungsmittels ist nicht ausreichend und kann ebenfalls zu falschen Ankerlasten führen.

3.2 Komponentenbasierte Finite-Elemente-Methode (CBFEM)

Um die Beurteilung der tatsächlichen Steifigkeit der Ankerplatte, ihrer Befestigungsmittel, aber auch der Schweißnähte und des Anbauteils zu ermöglichen, ist es notwendig, wirklichkeitsnahe Annahmen über das Last-Verformungsverhalten der einzelnen Komponenten zu treffen und somit Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen zu berücksichtigen. Dies kann in Zukunft mit dem Hilti PROFIS Engineering Suite/Ankerplattenmodul [17] auf Basis der „Component Based Finite Element Model“(CBFEM)-Analyse erfolgen. Sie vereinigt die aus dem Stahlbau geläufige Komponentenmethode mit einer leistungsstarken Finite-Elemente-Berechnung und liefert präzise Nachweise aller Komponenten einer Verbindung. Dabei wird der Fußpunkt/Anschlusspunkt in einzelne Komponenten zerlegt. Die einzelnen Komponenten werden durch wirklichkeitsnahe Annahmen über das Last-Verformungsverhalten bzw. Spannungs-Dehnungslinien be-

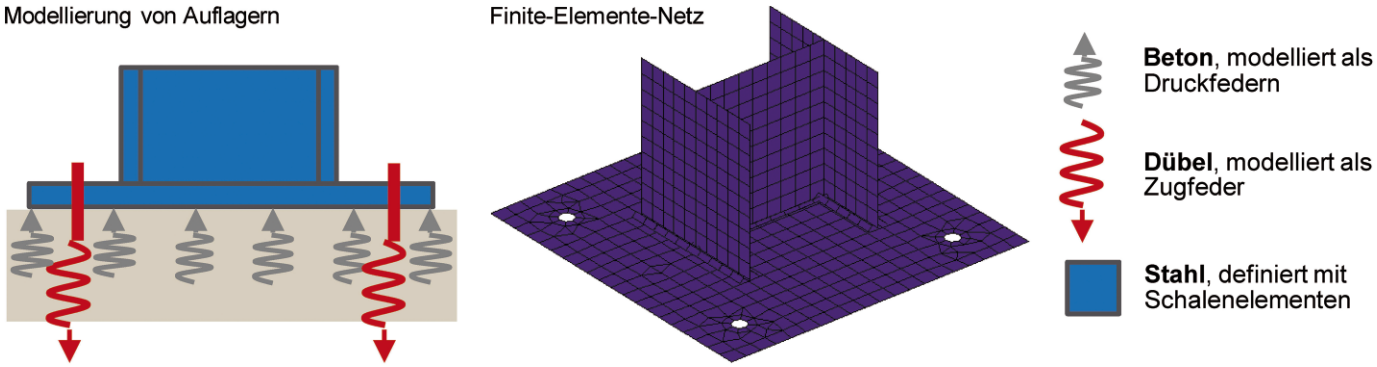

Bild 7. Berücksichtigte Komponenten des Hilti PROFIS Engineering Ankerplatten Moduls [17]
Fig. 7. Components taken into account by the Hilti PROFIS engineering baseplate module [17]

schrieben. Das Verhalten des Gesamtsystems kann folglich durch die wirklichkeitsnahen Annahmen und die Kraftverteilung beschrieben werden. In der o. a. Software sind die berücksichtigten Komponenten für den gesamten Fußpunkt (Bild 7) das Profil, die Steifen wenn vorhanden, die Ankerplatte, die Schweißnähte, das Befestigungsmittel und der Beton.

Die Ankerplatte, das angeschweißte Profil, die Steifen um die Schweißnähte werden unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften nach EN 1993-1-1 [3] bzw. EN 1993-1-5 [18] beschrieben, nach der FE-Methode modelliert und mit einem elastisch-plastischen (Schweißnähte) bzw. elastisch-plastischen, linear verfestigenden (Profil, Steifen und Ankerplatte) Materialgesetz versehen. Die Betonantwort wird auf Basis der Betoneigenschaften nach EN 1992-1-1 [2] formuliert, wobei die Federsteifigkeit des Betons nach dem *Winkler-Pasternak*-Modell erfolgt. Das Last-Verformungsverhalten der Dübel, das einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Abstützkräfte hat, wurde unter Berücksichtigung von Vorspannung, Material des Dübels und Reibungskoeffizient in einem Forschungsprojekt bei Hilti ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass die erhaltenen Ankersteifigkeiten teilweise wesentlich von den Werten in den zugehörigen Zulassungsdokumenten abweichen. Dies lässt sich damit erklären, dass die in den entsprechenden Dokumenten/Beurteilungen publizierten Verschiebungswerte des Befestigungsmittels unter einer anderen Philosophie ermittelt wurden (maximale Verschiebungswerte), als für die Ermittlung der Steifigkeit der Befestigungsmittel zur Bemessung der Ankerplatte (minimale Verschiebungswerte) notwendig ist.

3.3 Ist die Ankerplatte annähernd biegesteif? So prüfen Sie es nach

Während bisher keine Überprüfung der tatsächlichen Ankerplattensteifigkeit erfolgte, wird dies nun am Ende des Berechnungsprozesses mithilfe der oben bereits benannten Hilti-Software PROFIS Engineering [17] durchgeführt. Dabei werden die nach der Elastizitätstheorie berechneten Ankerlasten (Verfahren I) unter Annahme einer biegestarren Ankerplatte den Ankerlasten unter Berücksichtigung des Gleichgewichts und der Verträglichkeitsbedingungen auf Basis wirklichkeitsnaher Annahmen des Last-Verschiebungsverhaltens und der Spannungs-Dehnungslinien der einzelnen Komponenten (Verfahren II) gegenübergestellt (Bild 8). Durch einen Vergleich der Ankerlasten unter Berücksichtigung beider Verfahren kann der Abstand zwischen Theorie (biegestarre Ankerplatte) und Praxis innerhalb einer Software bestimmt werden.

Für die Ermittlung des Einflusses einer erhöhten Ankerlast auf die Gesamtbruchlast der Befestigungsgruppe wurden Versuchswerte mithilfe der Hilti-Bemessungssoftware in Verbindung mit dem Hilti-Ankerplattenmodul [17] nachgerechnet.

In Bild 9 sind experimentell ermittelte mittlere Bruchlasten von Gruppenbefestigung ($N_{u,test}$) [11], [13], [14], [15] bezogen auf die rechnerische Bruchlast der Gruppenbefestigung unter Berücksichtigung der Elastizitätstheorie auf der y-Achse sowie in Abhängigkeit von der Zuglast des höchstbelasteten Dübels (ermittelt auf Basis wirklichkeitsnaher Annahmen [17]) bezogen auf den rechnerischen Wert des höchstbelasteten Dübels (ermittelt auf Basis der Elastizitätstheorie [17]) auf der x-Achse dargestellt. Diese Versuche berücksichtigen Gruppenbefestigungen mit vier und neun Befestigungspunkten einer Gruppe unter einachsiger und zweiachsiger Biegung in ungerissenem Beton. In den Versuchen wurden einbetonierte Kopfbolzen und nachträglich montierte Befestigungsmittel verwendet. Als Plattendicken wurden die mittels Spannungskriterium von [11] berechneten, aber auch bewusst geringere Plattendicken verwendet. Die Darstellung in Bild 9 wurde gewählt, um abzuschätzen, inwieweit sich eine Abweichung des höchstbelasteten Dübels einer Gruppe von der Berechnung nach der Elastizitätstheorie auf die Gruppentraglast auswirkt. Auf Basis der vorhandenen Versuchswerte zeigt sich, dass bei einer Abweichung der Ankerlasten des höchstbelasteten Dübels einer Gruppe von ca. 10 % – zwischen Verfahren I und Verfahren II – die mittlere Bruchlast der Gruppenbefestigung im Mittel der Gruppenbruchlast berechnet nach Elastizitätstheorie entspricht. Das bedeutet, im Falle von ca. 10 % Abweichung in den Ankerlasten zwischen starrer Platte und flexibler Platte konnte in den Versuchen kein negativer Einfluss auf die Tragfähigkeit beobachtet werden.

Der Vergleich der biegesteifen und der realistischen Ankerplatte in Kombination mit den obigen Untersuchungen soll dem planenden Ingenieur helfen, eine Beurteilung zur vorhandenen Ankerplattendicke zu treffen, die nicht im Widerspruch zu den geltenden Richtlinien steht.

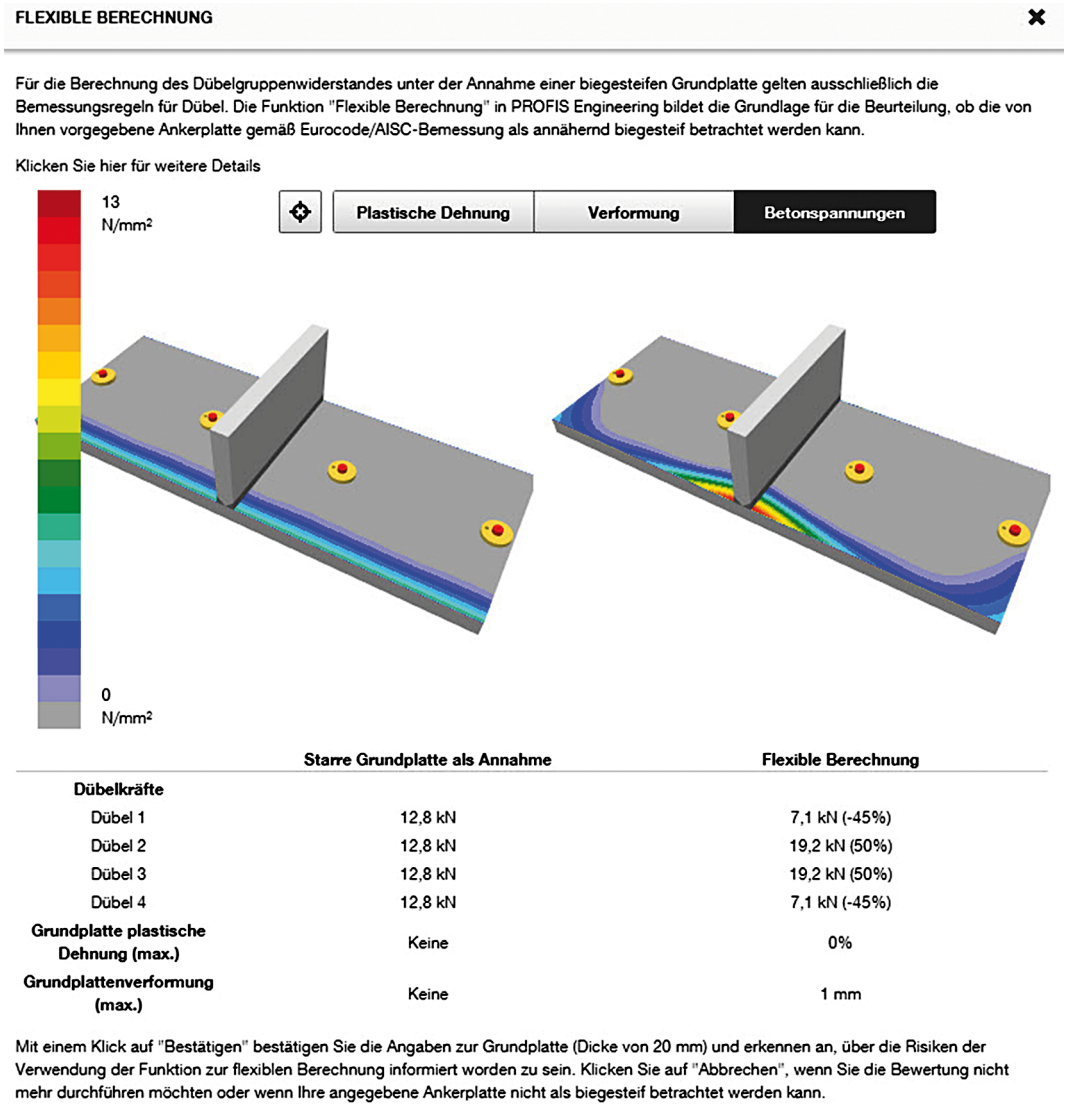

Bild 8. Gegenüberstellung der Ankerlasten berechnet nach Verfahren I (biegesteife Ankerplatte) und Verfahren II (wirklichkeitsnahe, flexible Ankerplatte)
Fig. 8. Comparison of loads on anchors, calculated according to method I (stiff baseplate) and method II (realistic assumption, flexible baseplate)

4 Der Berechnung zufolge ist meine Ankerplatte alles andere als biegesteif! Was kann ich tun?

Ist der Unterschied der ermittelten Ankerlasten nach Verfahren I (Elastizitätstheorie) im Vergleich zu Verfahren II (wirklichkeitsnahe Annahmen) erheblich, so ist die verwendete Ankerplatte biegeweich. In diesem Fall kann der Anwender zu verschiedenen Maßnahmen greifen, die ebenfalls mit der Software bzw. dem Ankerplattenmodul [17] berechnet werden können, um zu den gültigen Annahmen des Verfahrens I zu gelangen. Die zu treffenden Maßnahmen wären eine Vergrößerung des geschweißten Profils, um die Biegung in der Platte zu reduzieren, die Ankerplattenüberstände zu verringern, um die Abstützkräfte zu minimieren, die Dicke der Ankerplatte zu erhöhen oder Steifen/Stegbleche zu verwenden. Ebenso kann die Verwendung eines weicheren Dübelsystems die Ankerlasten reduzieren. Weiters kann der Ansatz verfolgt werden, dass Stahlversagen gewährleistet wird, bevor der charakteristische Widerstand für Herausziehen, Betonausbruch oder Spalten (betonbezogene Versagensarten) erreicht wird. Dies kann im Allgemeinen durch die Wahl einer ausreichenden Verankerungslänge erreicht werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurde die Herausforderung in der realistischen Annahme aller Randbedingungen für eine Ankerplattenbemessung umfassend beleuchtet. Es wurden die aktuellen Bemessungsvorschriften für Befestigungsmittel in Kombination mit flexiblen – d. h. nicht unendlich biegesteifen – Ankerplatten näher betrachtet. Darüber hinaus wurden Konsequenzen aufgezeigt, die bei einer als vermeintlich biegesteif angenommenen Ankerplatte entstehen können. Schließlich wurden Lösungswege aufgezeigt, wie der komplette Fußpunkt einschließlich Profil, Schweißnähte, Steifen, Ankerplatte, Dübel und Beton gesamthaft modelliert, bemessen und optimiert werden kann. Hierzu war zum Teil weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit erforderlich.

Damit geht Hilti den eingeschlagenen und im Markt etablierten Weg weiter, mit der PROFIS Engineering Suite

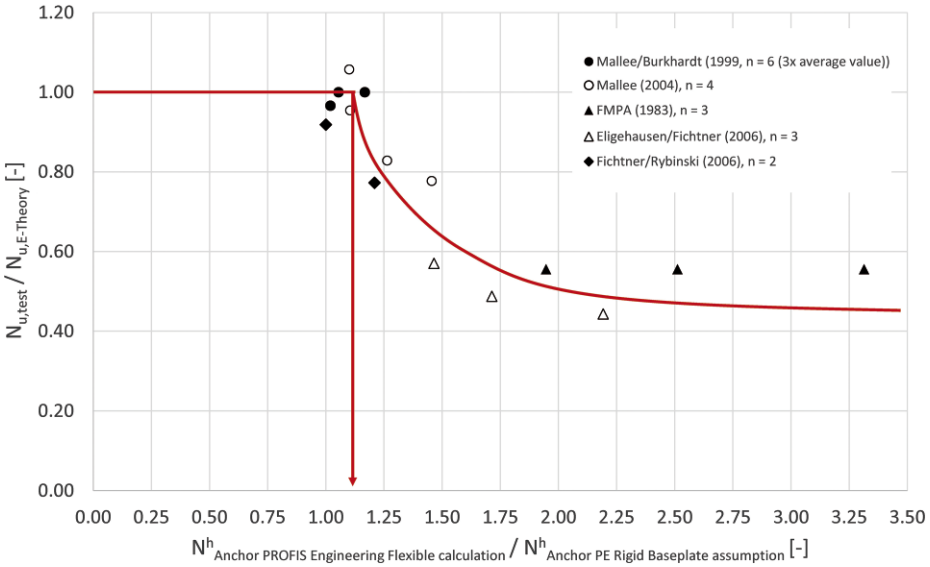

Bild 9. Quotient aus gemessener und rechnersicher Bruchlast nach der Elastizitätstheorie von Gruppenbefestigungen als Funktion des höchstbelasteten Dübels unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Annahmen zum höchstbelasteten Dübel nach E-Theorie (starre Ankerplatte)
Fig. 9. Increase of anchor forces (action) associated with a flexible baseplate: a) reduction of inner lever arm, b) prying forces, c) limited equal load distribution

für Planer und Kunden eine Software zu entwickeln, die – integriert in deren Arbeitsfluss und Softwareumgebung – neben Sicherheit auch zu deutlich erhöhter Transparenz führt. Darüber hinaus kann die Effizienz in der Ankerplattenbemessung signifikant gesteigert werden. Der Anspruch ist es, dass die Planer die Auflagerkräfte errechnen und die Hilti-Software sich um den vollständigen und prüffähigen Nachweis des Fußpunkts kümmert. Weitere Ideen für zusätzliche Features sind bereits in der Planung.

Literatur

[1] *Eligehausen, R., Mallée, R., Silva, J.*: Anchorage to concrete construction. Berlin: Ernst & Sohn, 2006.
[2] Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
[3] Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009.
[4] Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton; Deutsche Fassung prEN 1992-4:2013.
[5] European Committee for Standardization: Bemessung der Verankerungen von Befestigungen im Beton – Traglastverfahren für Befestigung von Kopfbolzen und Dübeln, Deutsche Fassung FprCEN/TR 17081: 2016.
[6] Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009.
[7] Comite Euro-International du Beton (CEB): Design of fastenings in Concrete. CEB Bulletin 226, Lausanne, 1995, pp. 1–144.
[8] ETAG 001, Annex C: Design methods for anchorages (3rd amendment). European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Brussels, 2010.
[9] EOTA TR 029: Design of bonded anchors (amendment Sept. 2010), European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Brussels, 2010.
[10] *Riemann, H.*: Das erweiterte k-Verfahren für Befestigungsmittel, Bemessung an Beispielen von Kopfbolzenverankerungen. Betonwerk + Fertigteiltechnik (1985), H. 12, S. 808–815.
[11] *Mallée, R., Riemann, H.*: Ankerplattenbefestigungen mit Hinterschnittdübeln. Bauingenieur 65 (1990), S. 49–57.
[12] *Schneider, H.*: Zum Einfluss der Ankerplattensteifigkeit auf die Ermittlung der Dübelkräfte bei Mehrfachbefestigungen. Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Landesstelle für Bautechnik, 1999.
[13] Forschungs- und Materialprüfungsanstalt (FMPA): Belastungsversuche an einbetonierten Kopfbolzengruppen. Universität Stuttgart, 1983.
[14] *Mallée, R.*: Versuche mit Ankerplatten und unterschiedlichen Dübeln. Fischerwerke, 2004.
[15] *Fichtner, S.*: Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht. Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart, 2011.
[16] Tennesse Valley Authority: TVA Civil Design Standard DS-C1.7.1. Knoxville, 1984, p. 25.
[17] Hilti PROFIS Engineering mit Add-On: Ankerplattenmodul [Software]. https://profisengineering.hilti.com/
[18] Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009.

Autoren dieses Beitrages:
DI Mario Fitz B.Sc.
Feldkircherstrasse 100
9494 Schaan, Liechtenstein
mario.fitz@hilti.com

Dr. Jörg Appl
Hiltistraße 6
86916 Kaufering
joerg.appl@hilti.com

Dr. Oliver Geibig
Hiltistraße 2
86916 Kaufering
oliver.geibig@hilti.com