

# Federmodelle für die realitätsnahe Bemessung von Verankerungen in Beton.

Whitepaper  
für Planer und Statiker.



# Inhalt.

## Whitepaper „Federmodelle für die realitätsnahe Bemessung von Verankerungen in Beton“

---

### CC-Verfahren

Ein globales Erfolgsmodell.

03

### Ankerplattensteifigkeit

Diverse Verfahren im Fokus.

06

### Federmodelle in der Befestigungstechnik

Eine Einführung.

07

### Lineares Federmodell

Berechnung der Kraftverteilung einer Gruppenbefestigung.

10

### Nicht-lineares Federmodell

- Für die Versagensart Betonausbruch.
- Vorteile anhand eines Beispiels.

11

13

### fischer Fixperience

Mit dem C-Fix-Modul der Bemessungssoftware Fixperience wird Sicherheit berechenbar.

16

### fischer Services

Alles aus einer Hand.

18

### Zusammenfassung Whitepaper

19

---

**Herausgeber Whitepaper:** fischerwerke GmbH & Co. KG, Klaus-Fischer-Straße 1, 72178 Waldachtal, Deutschland, T + 49 74 43 12 - 0, info@fischer.de **Konzeption, Produktion & Layout:** Kresse & Discher GmbH, Content Marketing, Offenburg; Marcus Stradinger (Objektleitung), Astrid Paz (Grafik Design). **Text:** Dr. Thilo Pregartner, Boglárka Bokor (fischer), Dennis Müller und Marcus Stradinger (Kresse & Discher). **Fotos & technische Zeichnungen:** fischer (13), Lewis Tse Pui Lung / Adobe Stock (S. 14), Jakob Studnar (S. 3 (1), S. 18 (1)), Johannes Zrenner (S. 5), Benjamin Gaukler (S. 16), Adobe Stock (S. 4), Boglárka Bokor (S. 6 (3), S. 9 (1), S. 11 (1)), Akanshu Sharma (S. 15), ty / Adobe Stock (S. 18). **Veröffentlichung Whitepaper:** 2021

# CC-Verfahren

## Ein globales Erfolgsmodell.

Im Jahr 1995 wurde vom CEB (Comité Européen du Béton) das sogenannte Concrete Capacity-Verfahren (CC-Verfahren) zur Bemessung von Befestigungen in Beton veröffentlicht. Mit dem CC-Verfahren können Planer und Statiker eine sichere und zugleich wirtschaftliche Bemessung von Verankerungen realisieren. Oder anders formuliert: Mithilfe des CC-Verfahrens können Betonbruchlasten von Befestigungen berechnet werden.

### Internationaler Standard

Das CC-Verfahren ist ein semiempirisches Verfahren, das anhand zahlreicher Versuche abgeleitet und verifiziert wurde. 1997 übernahm die EOTA (damals European Organisation for Technical Approvals) das CC-Verfahren in die Leitlinie ETAG 001, Anhang C. Seitdem wurde das Verfahren ständig weiterentwickelt und ist heute international anerkannt. Grundsätzlich berücksichtigt das

etablierte CC-Verfahren unterschiedliche Betonzustände (gerissen oder ungerissen), Lastrichtungen (Zug-, Querlast und Interaktion) sowie verschiedene Versagensarten und findet außerhalb Europas ebenfalls in aktuellen Normen und Richtlinien als gültiges Bemessungsverfahren Berücksichtigung. Zwei Beispiele für Normen zur Bemessung von Verankerungen in Beton sind die europäische Norm **EN 1992-4** und ihr amerikanisches Pendant **ACI 318**.

### Europäische Norm: EN 1992-4

Mit der im Frühjahr 2019 veröffentlichten Norm EN 1992-4 (siehe hierzu **Whitepaper „EN 1992-4“**) wurden erstmals europaweit einheitliche Bemessungsstandards von Befestigungen in Beton im Rahmen einer Norm definiert. Als zentrales Dokument soll EN 1992-4 stufenweise alle bislang gültigen Bemessungsrichtlinien für Befestigungen in Be-

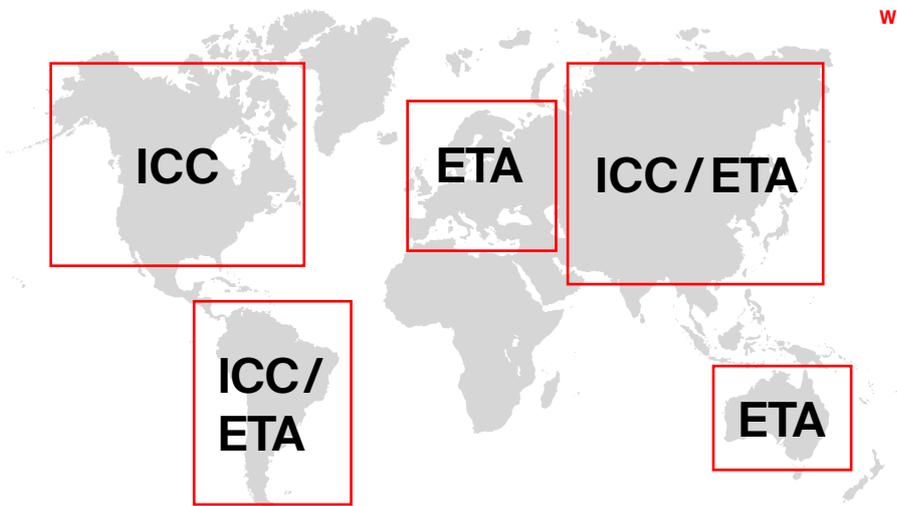
### Global anerkanntes Erfolgsmodell

Das CC-Verfahren wurde in Europa an der Universität Stuttgart entwickelt und hat sich seither weltweit in vielen Ländern als Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton etabliert. Es wurde bereits 1997 in Europa als Bemessungsverfahren für Befestigungen in Beton eingeführt.

### Zum Weiterlesen:

EN 1992-4, Eurocode 2:  
Design of concrete structures –  
Part 4, Brussels, Edition 2018





Überblick über die Verbreitung der international anerkannten Nachweis- und Qualifizierungsverfahren für Befestigungen ETA (EN 1992-4) und ICC (ACI 318).

ton ersetzen. Ein Plus: Die Norm gilt gleichermaßen für die Bemessung von Einlegeteilen (Ankerschienen und Kopfbolzen) als auch für die Bemessung von nachträglichen Befestigungen (Metallspreizdübel, Hinterschnittdübel, Betonschrauben, Verbunddübel und Verbundspreizdübel). Generell basieren Bemessungen nach EN 1992-4 auf einem dreigliedrigen System aus Bemessungsnorm, **Europäischen Technischen Bewertungen (ETA)** und den zugehörigen Europäischen Bewertungsdokumenten (EAD).

### Amerikanische Norm: ACI 318

Analog dazu existiert für den nordamerikanischen Raum die **Bemessungsnorm für Stahlbeton ACI 318**. Diese wird vom American Concrete Institute (ACI) herausgegeben. Die aktuelle Fassung der Norm ist die ACI 318-19 aus dem Jahre 2019. Die Dübelbemessung wird dabei in Kapitel 17 „Anchoring to Concrete“ behandelt. 2002 wurde die Dübelbemessung erstmals nach dem CC-Verfahren in die ACI 318-Regeln aufgenommen. Ein Meilenstein in der Bemessung.

### Grenzen aktueller Normen

Keine Frage: Die neuen Normen erhöhen die Sicherheit und Transparenz bei der Bemessung von Befestigungen. Gleichwohl weist die

Bemessung von zugbeanspruchten Befestigungen in Beton nach den aktuellen Normen und Richtlinien einige grundlegende Einschränkungen zur Anwendung der Konzepte auf. Hinsichtlich Ankerplattengeometrien bleibt sie beispielsweise auf **rechteckige Dübelanordnungen für bis zu neun Dübel mit 3x3-Konfiguration** beschränkt. Die zweite wesentliche Einschränkung bei der Bemessung mit dem CC-Verfahren betrifft die Forderung nach der **Verwendung einer ausreichend steifen Ankerplatte**. Praxisrelevante Definitionen und Regelungen zur Bestimmung einer ausreichend steifen Ankerplatte sind in den derzeit gültigen Vorschriften jedoch nicht enthalten.

Der erste Schritt bei der Dübelbemessung ist stets die Ermittlung der inneren Kräfte und inneren Exzentrizität einer Dübelgruppe. Dieser Schritt ist nötig, da das CC-Verfahren Einwirkung und Widerstandsermittlung nicht trennt. Aufgrund von technischen, funktionellen oder baulichen Anforderungen werden jedoch auch solche Befestigungen in der Baupraxis bemessen, für die die Bemessung durch die aktuellen Vorschriften nicht abgedeckt ist. Grundsätzlich wird die Überprüfung der Ankerplattensteifigkeit bei der Bemessung häufig vernachlässigt.

### Wofür stehen die Kürzel „ETA“ und „ICC“?

**ETA** steht für Europäische Technische Bewertung und ist ein Produktleistungsnachweis für Bauprodukte, der zur CE-Kennzeichnung führt. **ICC** ist die Abkürzung für International Code Council. Die amerikanische Vereinigung veröffentlicht seit dem Jahr 1994 Qualifikationsrichtlinien und Zulassungen als ICC-ESR (ICC Evaluation Service Report).

### Zum Weiterlesen:

ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. ACI Committee 318-19, American Concrete Institute, Edition 2019

**I** Alles Wissenswerte rund um EN 1992-4 können Sie auch ganz bequem im **fischer Whitepaper „EN 1992-4“** nachlesen.

Dr. Thilo Pregartner beschäftigt sich seit vielen Jahren mit dem Thema Bemessung von Befestigungen in Beton.



**» Speziell bei der Geometrie von Ankerplatten stoßen Normen wie EN 1992-4 an Grenzen. Federmodelle spielen in der Befestigungstechnik daher künftig eine große Rolle.«**

**Dr. Thilo Pregartner**

Leitung Kompetenzteam Gremienarbeit  
und Technologietransfer bei fischer

# Ankerplattensteifigkeit

## Diverse Verfahren im Fokus.

Bereits seit vielen Jahren arbeiten Fachleute daran, praxistaugliche Verfahren für den Nachweis einer ausreichend steifen Ankerplatte bereitzustellen. Wie bereits erwähnt, fordert EN 1992-4 eine ausreichend steife Ankerplatte, ohne die Vorgehensweise beim **Nachweis der Ankerplattensteifigkeit** praxistauglich zu spezifizieren. Diese Anforderung ist nötig, da bei der Berechnung der Einzelkräfte einer Dübelgruppe eine lineare Dehnungsverteilung angenommen wird (siehe Bild unten rechts).

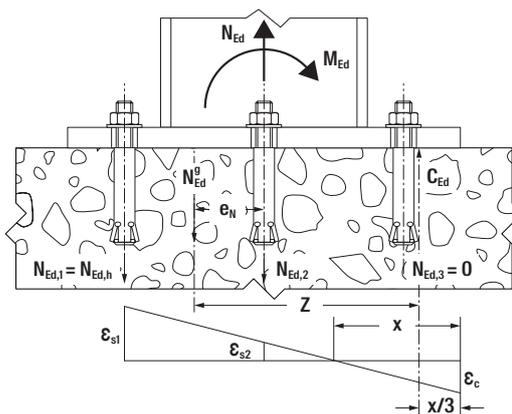
Darüber hinaus beeinflussen Hebelkräfte bei dünnen Ankerplatten wesentlich die interne Kraftverteilung und müssen in der Bemessung nach EN 1992-4 berücksichtigt werden (siehe Bild unten rechts).

### Was die Wissenschaft sagt

Zum Nachweis, dass eine Ankerplatte steif genug ist, gibt es in der Literatur beziehungsweise aus der Praxis weitere Ansätze. So etwa das Verfahren nach Mallée/Burkhardt (1999). Hierin wird ein Fließkriterium für die Ankerplatte verwendet. Allerdings bleibt die Anwendung auf 4er-Dübelgruppen mit maximal 2x2-Anordnung und einachsiger Biegung beschränkt. Fichtner (2011) indes beschreibt in seiner Dissertation ein Verformungskriterium. In neueren Veröffentlichungen und in einigen Programmen von Befestigungsmittelherstellern werden **Federmodelle** beschrieben. Letztere stellen nach aktuellem Stand die beste Möglichkeit dar, um praxisnahe Dübelbemessungen unter Berücksichtigung nachgiebiger Ankerplatten zu führen.

#### Zum Weiterlesen:

- Mallée R., Burkhardt F.: „Befestigungen von Ankerplatten mit Dübeln: Ein Beitrag zur erforderlichen Ankerplattendicke“, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999), Heft 12, S. 502-509, Berlin
- Fichtner S.: „Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht“, Dissertation, Universität Stuttgart, 2011



Immer wieder sehen sich Planer und Statiker in der Praxis mit Dübelanordnungen konfrontiert, die über den Anwendungsbereich von EN 1992-4 hinausgehen.

Der Ansatz einer linearen Dehnungsverteilungen und damit die Annahme eines steifen Anbauteils ist die Basis der Ermittlung der internen Kraftverteilung einer Dübelgruppe.

Quelle: EN 1992-4

# Federmodelle in der Befestigungstechnik Eine Einführung.

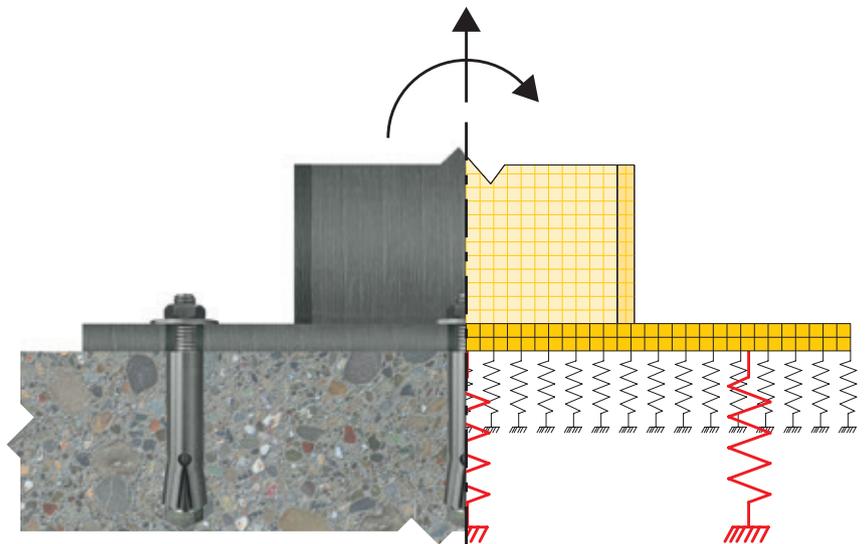
Die Anwendung von Federmodellen in statischen Berechnungen ist nicht neu – dieser Ansatz ist bereits seit Jahren aus dem Stahl- und Verbundbau bekannt. Gleichwohl sorgen in letzter Zeit Veröffentlichungen für Aufmerksamkeit, die speziell für Befestigungen in Beton mögliche Verfahren erörtern (vgl. Bokor et al., 2019).

## Federmodellbasierter Ansatz

Durch die Verwendung eines Federmodells, das das Verhalten von Gruppenbefestigungen unter **Zugbelastung** bei der Versagensart Betonbruch realistisch berücksichtigt, können die wesentlichen Einschränkungen der bestehenden Ansätze beseitigt werden (siehe S.4, „Grenzen aktueller Normen“).

Das Konzept eines Federmodells in der Berechnung von Befestigungen basiert auf der Annahme, dass innerhalb einer Gruppenbefestigung die Zugkräfte von den Dübeln aufgenommen werden, während die Druckkräfte direkt durch die Ankerplatte in den Beton eingeleitet werden. Die

Befestigungspunkte werden durch reine Zugfedern ersetzt, während der Ankerplattenkontakt zum Beton durch Druckfedern modelliert wird. Die Ankerplatten und das Anschlussprofil werden mit finiten Elementen modelliert. Um eine Berechnung durchzuführen, wird in der Regel die



Die Idee eines FE-Modells besteht darin, ein System in viele kleine Teile von endlicher Größe (finite Elemente) zu unterteilen. In diesem Beispiel werden die Ankerplatte und das angeschlossene Profil in ein FE-Netz überführt, die Befestigungen sowie der Kontakt durch Federn modelliert und das Ganze innerhalb einer FE-Berechnung vereinigt.

## Prof. Akanshu Sharma (Universität Stuttgart): „**Mehr Sicherheit und Zuverlässigkeit**“

„Einer der bedeutendsten Fortschritte im konstruktiven Ingenieurbau der vergangenen Jahrzehnte ist der Übergang von den traditionellen, kraftbasierten Ansätzen zu performancebasierten Ansätzen. Die Fokussierung auf die vollständige Performance des Tragwerks statt nur auf die Tragfähigkeit führt zu einem viel besseren Verständnis des Tragwerksverhaltens und verbessert die Sicherheit und Zuverlässigkeit erheblich. Nichtsdestotrotz wird die Bemessung von Verankerungen immer noch nach

empirischen, kraftbasierten Verfahren durchgeführt, die ihren Anwendungsbereich wesentlich einschränken und dem Planer keine innovativen Möglichkeiten der Bemessung bieten. Ein verschiebungsbasierter Ansatz ist unerlässlich, um die derzeitigen Einschränkungen der aktuellen Bemessungsverfahren zu beseitigen und den Anwendungsbereich für die Bemessung von Verankerungen zu erweitern und somit die Sicherheit und Zuverlässigkeit durch ein performancebasiertes Konzept zu erhöhen.“

FEM (Finite-Elemente-Methode) verwendet. Die Kombination des Federmodellansatzes mit der FE-Berechnung wird zur Lösung des Problems angewendet. So lassen sich Verformungen und Spannungen in der Ankerplatte unter Kräfteinfluss berechnen und gleichzeitig die Ankerkräfte der einzelnen Befestigungen innerhalb der Gruppe bestimmen. Dadurch kann das Verhalten des Gesamtsystems beschrieben werden. Prinzipiell kann die Methode der Federmodelle zur realistischen Beurteilung der Steifigkeit von Ankerplatten sowie zur Bewertung der Lastverteilung und ggf. Lastumlagerungen zwischen Befestigungen verwendet werden.

### Federcharakteristika

Bei der Verwendung eines FE-Modells für die Bemessung von Befestigungen in Beton können je nach Ansatz und Berechnungsfokus **lineare** oder **nicht-lineare Dübelfedern** zur Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens des Gesamtsystems oder der Kraftverteilung innerhalb von Dübelgruppen herangezogen werden.

Ein wesentlicher Punkt bei der Modellierung von Dübeln im Rahmen von Federmodellen ist die Frage, wie

sich **Federeigenschaften** für einzelne Befestigungspunkte ermitteln lassen und welchen Einfluss die Modellierung bzw. Beschreibung des Dübelverhaltens auf das Berechnungsergebnis hat.

### Last-Verformungskurven

Befestigungen zeigen in Beton bei **zentrischer Zugbelastung** (Abb. unten links) ein nicht-lineares **Last-Verformungsverhalten** (Abb. unten rechts). Dieses ist durch einen ersten linearen Anstieg der Last-Verformungskurve, eine Maximallast sowie einen Nachbruchbereich gekennzeichnet. Prinzipiell bilden Last-Verformungskurven die Grundlage zur Ermittlung von Reaktionskräften und Verschiebungen von Dübelfedern.

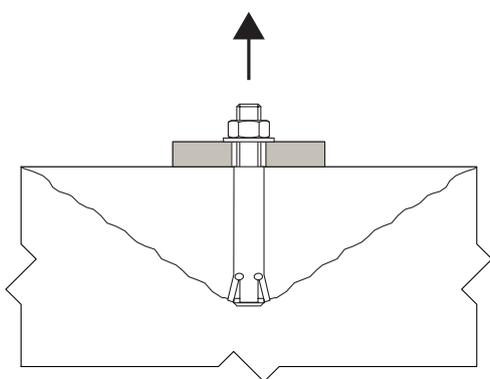
Steifigkeiten dienen dabei zur Beschreibung und Idealisierung der Federcharakteristik. Sie gilt es in der Folge aus der Last-Verformungskurve abzuleiten. Hierbei stellt sich die Frage, wie Steifigkeiten im Detail abgebildet werden sollen. In der Folge werden die einzelnen Federmodellansätze sowie deren Besonderheiten präsentiert. Ziel ist die Berechnung von Widerständen von Befestigungsgruppen unter Einbezug der jeweiligen Dübelcharakteristik.

**i** Das **Last-Verschiebungsverhalten** einer Befestigung hängt sowohl vom Dübeltyp als auch von der Versagensart ab.

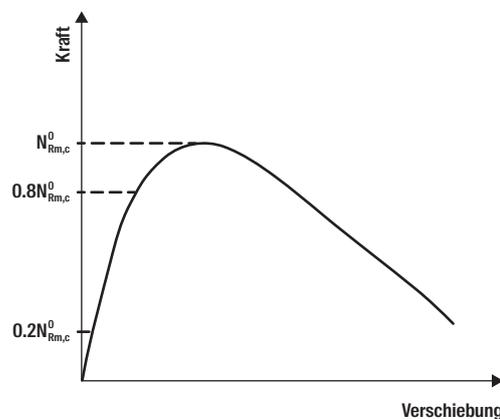
#### Versagensarten in Beton

Bei zugbeanspruchten Befestigungen in Beton kann es zu folgenden Versagensarten kommen:

- Stahlversagen
- Betonausbruch
- Spalten
- Herausziehen
- Verbunddübel: kombiniertes Versagen aus Betonausbruch und Herausziehen



Das reale Dübelverhalten wird über Versuche mit zentrischer Zugbelastung ermittelt.



Als Ergebnis der Ausziehversuche am Dübel resultiert eine Last-Verformungskurve.

Boglárka Bokor befasst sich seit 5 Jahren mit der Entwicklung von innovativen Ansätzen für die Dübelbemessung und hat 2020 ihre Dissertation zum nicht-linearen Federmodell für die Berechnung von Gruppenbefestigungen in Beton an der Universität Stuttgart eingereicht.



**»Für uns ist es wesentlich, unser Wissen in Publikationen weiterzugeben. Im Dialog mit Experten und Endnutzern gewinnen wir Erkenntnisse zur Realisierung innovativer Ansätze in der Dübelbemessung und im Bauwesen.«**

**Dipl.-Ing. Boglárka Bokor**

Senior-Expertin Kompetenzteam Technologietransfer und Gremienarbeit bei fischer

# Lineares Federmodell

## Berechnung der Kraftverteilung einer Gruppenbefestigung.

Die Verwendung eines **linearen Federmodells** in Kombination mit einer Finite-Element-Berechnung ermöglicht die Bestimmung der Kraftverteilung innerhalb einer Gruppenbefestigung. Dies erlaubt den Vergleich von Dübelkräften zwischen einer realitätsnahen Berechnung und der Berechnung nach der Elastizitätstheorie (lineare Dehnungsverteilung = unendlich steife Ankerplatte) innerhalb des CC-Verfahrens. Der Vergleich der Ankerkräfte unter Annahme einer biegesteifen Ankerplatte mit den berechneten Kräften soll Planern dabei helfen, die Nachweise nach den geltenden Normen zu führen. Zugleich soll diese Verwendung einer realitätsnahen Modellierung der Ankerplatte durch finite Elemente weitere Maßnahmen ermöglichen, um die Kriterien einer biegesteifen Ankerplatte zu erfüllen. Bei linearen Federmodellen wird lediglich der lineare Lastanstieg der Last-Verformungskurve berücksichtigt. Die **Dübelkennlinie**, die das Last-Verschiebungsverhalten abbildet, wird dabei zumeist durch eine mittlere Anfangssteifigkeit des Befestigungsmittels definiert (Bild unten: rote Gerade).

In linearen Federmodellen wird angenommen, dass sich benachbarte Dübel nicht gegenseitig beeinflussen. Alle Dübel einer Befestigungsgruppe erhalten also dieselbe, lineare Federcharakteristik. Etwaige Rand- und Gruppeneinflüsse werden in der Finite-Elemente-Berechnung hingegen nicht berücksichtigt. Die Berechnung wird bei linearen Federmodellen stets **kraftgesteuert** durchgeführt. Die angreifenden Kräfte und Momente werden in wenigen Belastungsschritten in der Berechnung aufgebracht. Ge-

nerell geht die Berechnung bei linearen Federmodellen durchaus schnell, da der Berechnung ein lineares Finite-Elemente-Problem zugrunde liegt. Nachteil linearer Federmodelle ist, dass sich lediglich die Kraftverteilung in der Befestigungsgruppe berechnen lässt.

### Linearer Berechnungsansatz

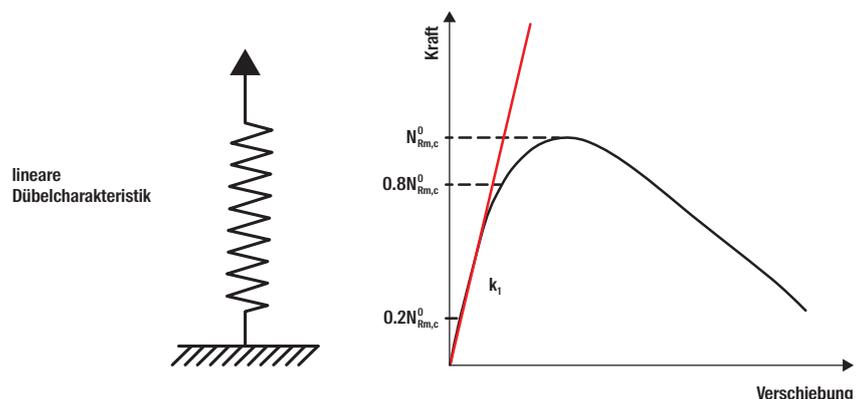
Bei der Berechnung mit einem linearen Federmodell können also in erster Linie Einzelkräfte der Dübel innerhalb einer Gruppe ermittelt werden. Von diesen lässt sich auf die resultierende Gesamtkraft des Systems schließen. Letztere kann aufgrund von Druckkräften (Hebelkräfte) unter weichen Ankerplatten von der äußeren angreifenden Kraft verschieden sein. Durch Vergleiche mit der Kraftverteilung auf Basis des CC-Verfahrens kann letztlich eine Aussage zur Ankerplattensteifigkeit getroffen werden. In Berechnungen mit linearen Federn sind durch den kraftkontrollierten Ansatz **keine Lastumlagerungen** zwischen einzelnen Befestigungspunkten möglich. Das Verfahren ist gut geeignet, um die Ankerplattensteifigkeit zu optimieren – es liefert jedoch kein direktes realitätsnahes Bemessungsergebnis.

### Gut zu wissen:

Mithilfe des linearen Federmodells kann eine Bemessungssituation so optimiert werden, dass die Voraussetzung (Annahme einer steifen Ankerplatte) überprüft und erfüllt werden kann. Häufige Maßnahmen zur Optimierung der Befestigung sind:

- die Erhöhung der Ankerplattendicke
- das Vergrößern des angeschlossenen Profils
- das Aufschweißen von Steifen
- die Wahl eines weichen Dübelsystems zur Optimierung der Kraftverteilung

So sieht eine typische Last-Verformungskurve einer Einzelbefestigung bei Betonversagen aus. Die lineare Dübelcharakteristik wird über die Anfangssteifigkeit der Kurve (rote Linie unten) idealisiert.



# Nicht-lineares Federmodell für Versagensart Betonausbruch.



Befestigungsgruppe nach Zugversuch



Betonausbruchkegel einer 3er-Gruppe am Rand

Bei nicht-linearen Federmodellen werden die Befestigungen, die Ankerplatte sowie der Kontakt zwischen Beton und Ankerplatte realitätsnah modelliert (siehe Grafik FE-Modell auf Seite 7). Hierbei wird das nicht-lineare Last-Verschiebungsverhalten der Befestigungen durch idealisierte Last-Verschiebungskurven im **penta-linearen Format** vereinfacht. Dazu werden fünf (griechisch: penta) Geradenabschnitte zur Idealisierung der Kurve herangezogen.

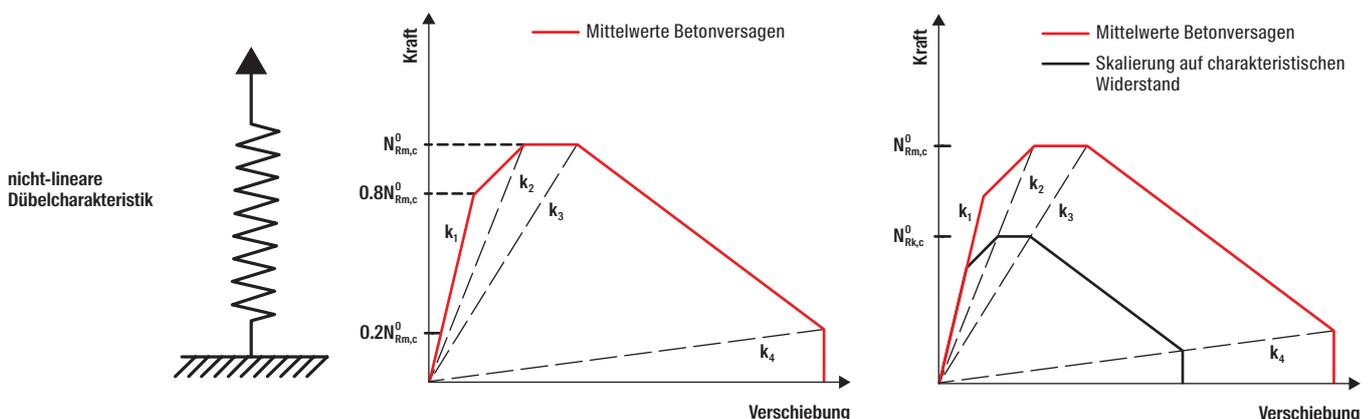
Die Beschreibung der Last-Verschiebungskurve erfolgt dabei über vier Steifigkeitswerte, eine Maximallast sowie eine prozentuale Definition der Knickpunkte. Die Dübelkennlinie beginnt im Nullpunkt und ist in der Maximallast und der maximalen Verschiebung begrenzt. Grundsätzlich lassen

sich multi-lineare Last-Verschiebungskurven auf **Mittelwertniveau** an das reale Dübelverhalten im Zugversuch anpassen. Generell werden Steifigkeitswerte und Knickpunkte durch den Dübelhersteller auf Basis von Ausziehversuchen in gerissenem und ungerissenem Beton bestimmt. Es ist zu beachten, dass unterschiedliche Befestigungssysteme ein unterschiedliches Last-Verschiebungsverhalten zeigen können. Daher erfolgt die Idealisierung produktspezifisch.

Um die Federkennlinien in dem für die Bemessung von Befestigungen charakteristischen Lastniveau durchzuführen, werden die Last-Verformungskurven auf das **charakteristische Lastniveau** der jeweiligen Versagensart unter Beibehaltung der Steifigkeiten skaliert (siehe unten). Die

## Zum Weiterlesen:

- Bokor, B.; Sharma, A.; Hofmann, J.: „Spring modelling approach for evaluation and design of tension loaded anchor groups in case of concrete cone failure.“ In: Engineering Structures, Vol. 197 (2019), 109414
- Bokor, B., Pregartner, T., Sharma, A., Hofmann, J.: „Bemessung von zugbeanspruchten Befestigungen in Beton mit einem nicht-linearen Federmodell.“ In: Bauingenieur BD94, 2019, Nr. 9



Im nicht-linearen Federmodell wird die Last-Verschiebungskurve eines Einzeldübels idealisiert. Die Dübelkennlinie ist dabei in der Maximallast und der maximalen Verschiebung begrenzt.

Steifigkeiten werden dabei konstant gehalten. Außerdem wird durch die Verwendung mittlerer Steifigkeitswerte das Verhältnis zwischen Ankerplattensteifigkeit und Dübelsteifigkeit in der Berechnung realitätsnah erfasst.

### Ansatz projizierter Flächen

Das CC-Verfahren wendet bei betonbasierten Versagensarten unter Zugbelastung Ansätze mit projizierten Flächen an (siehe **Whitepaper EN 1992-4**). Basierend auf der idealisierten Fläche des Einzeldübel ( $A_{c,N}^0$ ) werden hierbei Gruppeneffekte über das Verhältnis der projizierten Flächen berücksichtigt. Der Ausbruchkegel wird durch eine Pyramide idealisiert. Allerdings wird anstelle des Volumens die Grundfläche der Pyramide betrachtet. Um die Einflüsse mehrerer Dübel (Gruppen Tragfähigkeit) erfassen zu können, wird über Flächenverhältnisse die Gesamttragfähigkeit beurteilt. Überdies fließen beim CC-Verfahren diverse **Korrekturfaktoren** für verschiedene Anwendungsfälle wie etwa exzentrische Belastungen, Anwendungen am Rand oder dichte Bewehrungen in die Berechnung ein. Im nicht-linearen Federmodell nach Bokor et al. (2019) wird ebenfalls ein

Ansatz mit projizierten Flächen angewendet und anhand zahlreicher Ausziehversuche verifiziert. Allerdings wird anstelle der Betrachtung der Gesamtgruppe eine **Betrachtung der einzelnen Dübel** und deren **projizierter Flächen** durchgeführt. Jedem Einzeldübel einer Gruppe wird demnach ein individueller **charakteristischer Einzelwiderstand**  $N_{Rk,c}^i$  proportional zu seiner projizierten Fläche  $A_{c,N}^i$  zugewiesen. Hierbei werden die gewohnten charakteristischen Abstände des CC-Verfahrens für Betonversagen angewendet. Nach Ermittlung der einem i-ten Dübel zugeordneten projizierten Fläche können die Federeigenschaften für die Dübel durch Skalierung in der Gleichung (Kasten rechts) bestimmt werden.

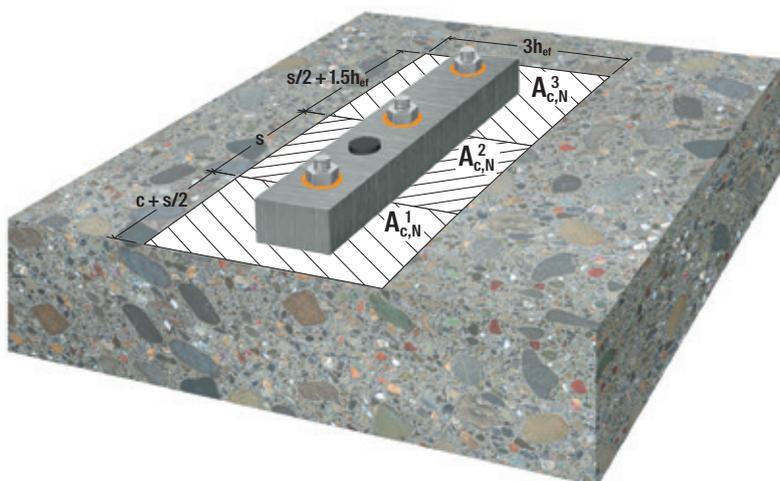
### Nicht-lineare Berechnung

Um eine genaue Kraftverteilung zwischen den Ankern der Gruppe sowie Verformungen der Ankerplatte zu berücksichtigen, wird eine verschiebungskontrollierte nicht-lineare Analyse durchgeführt. Der nicht-lineare Ansatz liefert dabei direkt den realitätsnah berechneten Widerstand der Gruppenbefestigung in Form einer Last-Verformungskurve.

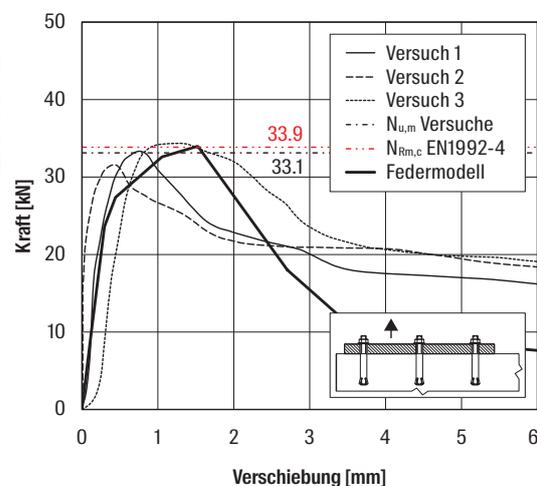
#### Ansatz Skalierung der Federkennlinien mithilfe projizierter Flächen:

Mit dieser Gleichung lässt sich der charakteristische Widerstand des Einzeldübel bei Betonversagen im Rahmen des nicht-linearen Federmodells berechnen:

$$N_{Rk,c}^i = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}^i}{A_{c,N}^0}$$



Beim nicht-linearen Federmodell wird die Systematik projizierter Flächen auf Einzeldübel einer Gruppe angewendet. Die bekannten Korrekturfaktoren des CC-Verfahrens sind dabei grundsätzlich nicht erforderlich.



Das nicht-lineare Federmodell wurde anhand zahlreicher Ausziehversuche mit Gruppenbefestigungen in Beton im Rahmen der Dissertation von B. Bokor an der Universität Stuttgart verifiziert.

#### Zum Weiterlesen:

Bokor, B.; Sharma, A.; Hofmann, J.: Experimental investigations on concrete cone failure of rectangular and non-rectangular anchor groups. In: Engineering Structures, Vol.188 (2019), pp. 202–217

# Nicht-lineares Federmodell

## Vorteile anhand eines Beispiels.

Am Beispiel einer exzentrisch belasteten 4er-Dübelgruppe werden im Folgenden die zentralen Vorzüge des nicht-linearen Federmodells für Anwender verdeutlicht. Die Dübel sind hierbei in einer Reihe angeordnet (siehe Abb. unten links). Für diesen Berechnungsfall liegen zwar bereits Versuchsergebnisse vor, allerdings ist die Dübelanordnung **nicht** durch das bisherige CC-Verfahren nach EN 1992-4 abgedeckt. Das nicht-lineare Federmodell kann infolgedessen zur Optimierung dieser **speziellen Bemessungssituation** eingesetzt werden, für die sonst keine Bemessungsregeln existieren.

### Exzentrischer Belastungsfall

Die Ankerplattendicke wurde im Anwendungsbeispiel auf variable 5 mm bis 60 mm definiert. Ein Bereich, in dem elastische Einflüsse auf das Tragverhalten der Befestigungsgruppe zu erwarten sind. Als Befestigungsmittel wurden chemische Dübel mit hoher Verbundspannung und einer

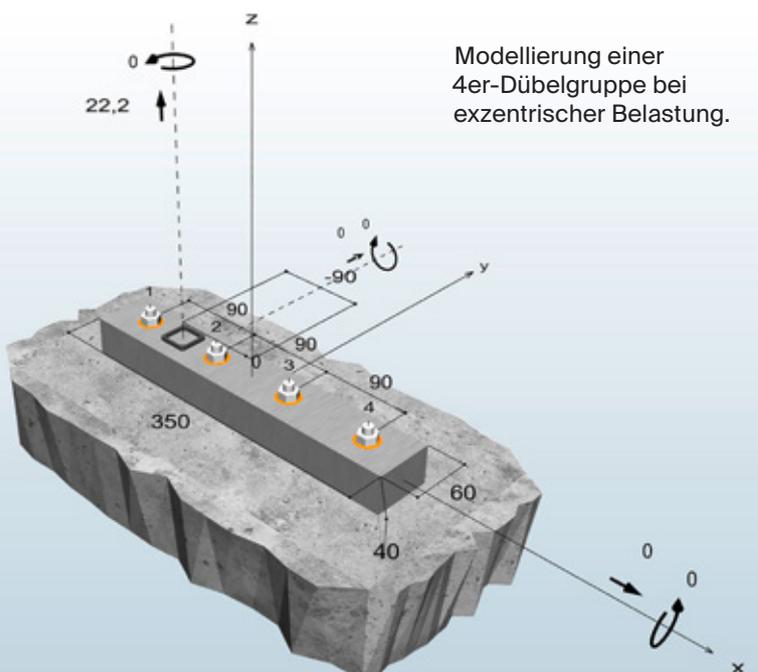
geringen Verankerungstiefe von 60 mm gewählt, um so ein Betonversagen zu provozieren. Der Achsabstand wurde mit 90 mm kleiner als der charakteristische Achsabstand (liegt bei 180 mm) gewählt. So lässt sich eine Befestigungssituation untersuchen, die sich durch überlappende, projizierte Flächen auszeichnet. Die **Exzentrizität** der äußeren Kräfte wird mit 90 mm angesetzt, sodass die Kraft genau in der Mitte zwischen den beiden äußeren Dübeln angreift.

### Einfluss Ankerplattendicke

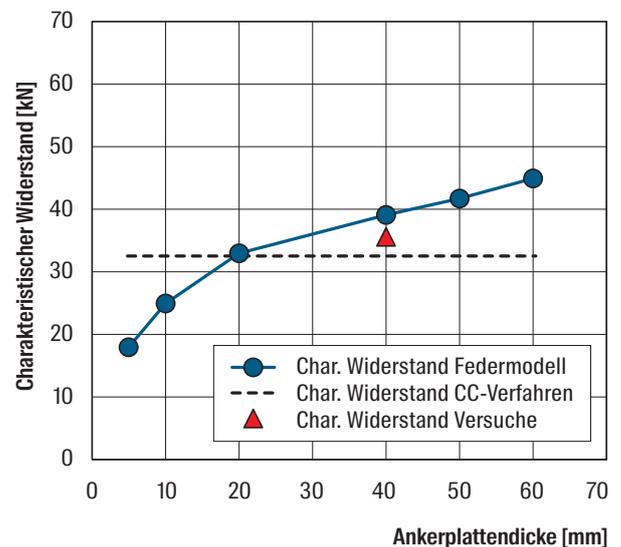
Das Diagramm unten rechts zeigt den **Einfluss der Ankerplattendicke** auf das Berechnungsergebnis mit dem nicht-linearen Federmodell im Vergleich zum Ergebnis basierend auf dem CC-Verfahren. Auffällig ist, dass der im Beispielfall mit dem Modellansatz berechnete **charakteristische Widerstand** mit zunehmender Ankerplattendicke ansteigt. Der Anstieg basiert darauf, dass bei dickeren Ankerplatten die Aktivierung der

#### Zum Weiterlesen:

Bokor, B., Pregartner, T., Sharma, A., Hofmann, J.: „Bemessung von zugbeanspruchten Befestigungen in Beton mit einem nicht-linearen Federmodell.“ In: Bauingenieur BD94, 2019, Nr. 9



Unten: Einfluss der Ankerplattendicke auf den charakteristischen Widerstand bei einer exzentrischen Bemessungssituation nach dem nicht-linearen Federmodell-Ansatz sowie nach CC-Verfahren.



vier Dübel gleichmäßiger beobachtet werden kann als bei dünneren Platten. Der errechnete Wert auf Basis des CC-Verfahrens ist hingegen unabhängig von der Ankerplattendicke. Im Fall der exzentrischen Belastung ergibt die realistische Berechnung bei einer Ankerplattendicke von 10 mm mit dem Federmodell demnach etwa 30 Prozent geringere Lasten gegenüber dem CC-Verfahren. Bei einer Plattendicke von 60 mm werden indes 30 Prozent größere Lasten berechnet. Dies verdeutlicht die zentralen Vorteile von Federmodellen sowie der damit einhergehenden realitätsnahen Berechnung.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die beschriebenen Effekte maßgeblich von der Dübelsteifigkeit abhängen. Demnach können bei einer im Vergleich zu Verbunddübeln weicheren Verankerung diese Effekte weniger stark auftreten.

### Alle Vorteile auf einen Blick

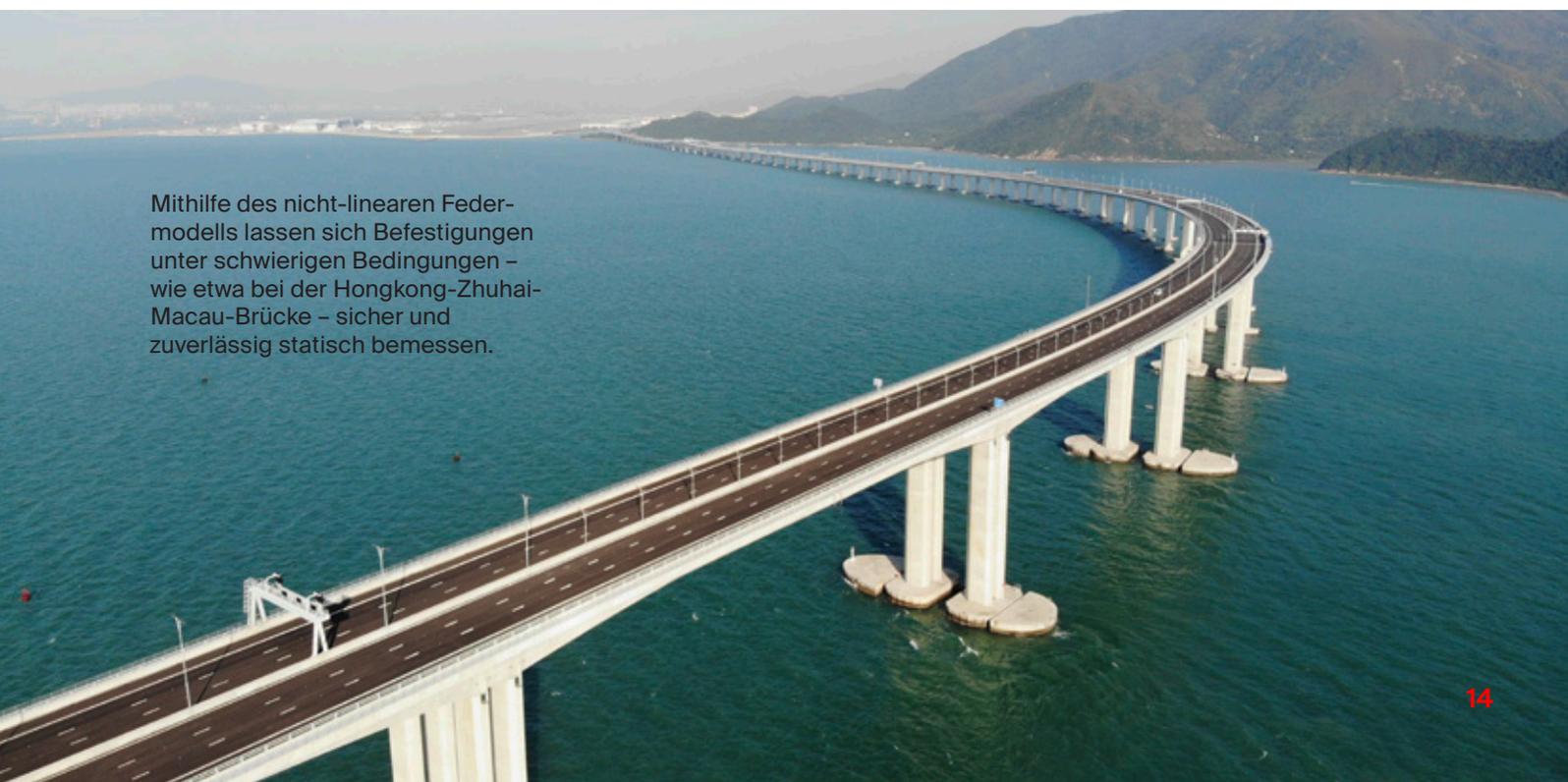
Wie der exzentrische Beispielfall verdeutlicht, kann der Federmodell-Ansatz unter Berücksichtigung des gesamten nicht-linearen Verhaltens von Befestigungen eingesetzt werden. Das Federmodell zeigt hierbei

anschaulich die Kräfteverteilung sowie Kräfteumlagerungen zwischen den einzelnen Befestigungsmitteln innerhalb einer Gruppenbefestigung. Das Modell erfordert keine Definition einer steifen Ankerplatte, sondern ermittelt automatisch den Widerstand der Gruppe in Abhängigkeit der vorhandenen Ankerplatten- und Dübelsteifigkeit. Die Regeln für die Modellierung und die Ableitung der Federn sind zudem klar und objektiv formuliert und in wissenschaftlichen Ausarbeitungen transparent dargestellt. Speziell bei Bemessungssituationen außerhalb der Normen und Richtlinien berücksichtigt der Federmodell-Ansatz zusätzlich zu den übertragbaren Kräften auch Verschiebungen und Verformungen bei einer Verankerung. Dieses **performancebasierte Konzept** ermöglicht eine bessere Beurteilung des Gesamtsystems und bezieht sich nicht nur auf dessen Tragfähigkeit.

**Für Anwender ergibt sich dadurch ein entscheidender Vorteil:** Sie können mit dem nicht-linearen Federmodell die Bemessungsregeln in Bezug auf Dübelkonfiguration, Ankerplattendicke sowie Belastung realitätsnah berücksichtigen.

**i** Durch den nicht linearen Federmodell-Ansatz wird die **Entkopplung von Widerstand und Einwirkung** möglich. So lässt sich der Widerstand von Ankergruppen auf Basis der Einzeldübel innerhalb einer Gruppe berechnen.

Mithilfe des nicht-linearen Federmodells lassen sich Befestigungen unter schwierigen Bedingungen – wie etwa bei der Hongkong-Zhuhai-Macau-Brücke – sicher und zuverlässig statisch bemessen.



Prof. Akanshu Sharma hat langjährige Erfahrung im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus mit Fokus auf Verstärkungsmethoden mit Befestigungsmitteln.



**» Es ist ein wichtiger Schritt vorwärts, verformungsbasierte, nicht-lineare Analysen mit Federmodellen zu verbinden. Ingenieure haben dadurch unbegrenzte Möglichkeiten für eine sichere Bemessung von Verankerungen.«**

**Prof. Akanshu Sharma**

Junior-Professor Innovative Verstärkungsmethoden mit Befestigungen & Abteilungsleiter Materialprüfungsanstalt Brandschutz an der Universität Stuttgart

# fischer Fixperience

## Mit dem C-Fix-Modul der Bemessungssoftware Fixperience wird Sicherheit berechenbar.

Um das Versagen einer Verankerung zu verhindern, muss ein Nachweis erbracht werden, dass das ausgewählte Produkt für die vorliegende Beanspruchung geeignet ist. Deshalb ist eine komfortable Bemessungssoftware für Planer und Statiker unerlässlich.

### Bemessen mit C-Fix

Die kostenlose Bemessungssoftware Fixperience von fischer setzt sich aus einer Ingenieursoftware und sieben speziellen Anwendungsmodulen zusammen. Das Modul C-Fix ist für die Bemessung von Stahl- und Verbundankern in Beton die richtige Wahl. Das Programm folgt dem logischen Pfad eines Nachweises von Hand, ist also weitestgehend selbsterklärend. Direkt nach Registrierung und Anmeldung können Planer und Statiker beginnen, ihre Projekte zu berechnen. Sie modellieren Ihre Ankerplatte nach Ihren Anforderungen, setzen das Stahlbauprofil darauf und geben die Lasten ein, die dort angreifen. Im nächsten Schritt wählen Sie Ihren Wunschkübel aus. Im besten Fall

bestätigt das Programm eine gültige Bemessung und erstellt direkt einen prüffähigen Ausdruck. Wenn nicht, dann lässt sich eine Mehrfachbemessung durchführen: Das Programm rechnet alle anwendbaren Produkte durch und empfiehlt Produkte, die den Nachweis bestehen.

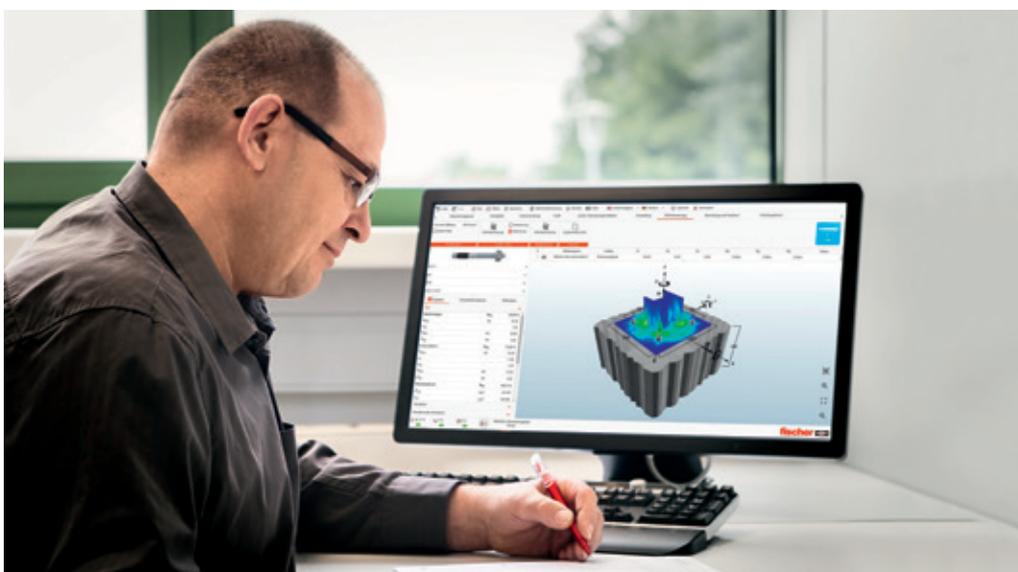
### Lineares Federmodell bereits integriert

Passend zu den neuen Bemessungsstandards und den Anforderungen von Planern und Statikern wird Fixperience ständig weiterentwickelt. So ist die neue Norm EN 1992-4 bereits vollständig in C-Fix-Online integriert. In der neuesten Version wurden ebenfalls Finite-Elemente-Module integriert, mit denen die Steifigkeit der Ankerplatte mithilfe eines linearen Federmodells kontrolliert werden kann. Durch das Einfügen von Aussteifungen kann dann beispielsweise die Steifigkeit der verwendeten Ankerplatte optimiert werden. Nicht-lineare Federmodelle werden zukünftig zur Verfügung stehen. Das Modul „Federmodell“ ist ausschließlich in der Online-Version verfügbar.



**Jetzt fischer  
Fixperience  
kostenlos  
ausprobieren!**

Hier geht's zu  
Fixperience



**i** Das Online-Modul von Fixperience kann ohne Installation in gängigen Browsern genutzt werden.

Dr. Oliver Geibig ist seit mehreren Jahren erfolgreich im Technischen Vertrieb von Befestigungs- und Softwarelösungen tätig. Seit über 10 Jahren beschäftigt er sich auch intensiv mit dem Thema Building Information Modeling (BIM).



**»Fixperience Online mit der Implementierung des Federmodells ist nur einer von zahlreichen Bausteinen im Kontext der Digitalen Transformation. Zudem forciert fischer mit BIM Engineering weitere digitale Lösungen für seine Kunden.«**

**Dr. Oliver Geibig**

Leiter Business Units & Engineering, Mitglied der Geschäftsführung, fischer Befestigungssysteme

# fischer Services

## Alles aus einer Hand.

Die **Experten** von der technischen Beratung sind von Montag bis Freitag auf allen Kanälen erreichbar – per Telefon, E-Mail und Chat. Dabei erhalten Planer und Statiker kompetente Unterstützung, zum Beispiel bei statischen Berechnungen oder Vorbemessungen. Darüber hinaus bietet fischer Produkt-, Anwendungs- und Zertifizierungsschulungen an und unterstützt bei der Durchführung und Auswertung von Zugversuchen. Mit Newslettern, Mailings und im persönlichen Kontakt halten wir zahlreiche **Planer und Statiker** stetig auf dem Laufenden.

### Spezialisten im Außendienst

Sie haben ein Problem auf Ihrer Baustelle? Unsere **fischer Experten** unterstützen Sie auch gerne direkt vor Ort. Wir beraten und helfen, alles fachgerecht zu befestigen. Zugversuche und Befestigungstests am Einsatzort geben dabei zusätzliche Sicherheit. Vor allem bei schwierigen Baustoffen. Gemeinsam mit Ihnen erarbeiten wir an Ort und Stelle Befestigungslösungen, die effektiv und wirtschaftlich sind.

### fischer Akademie

Seit über 30 Jahren bieten wir zielgruppengerechte Seminare für Profis am Bau an. Dabei arbeitet die fischer Akademie mit Trainern zusammen, die ihr „Handwerk“ verstehen. Alle Schulungen sind auf dem neuesten Stand der Technik und informieren über aktuelle nationale und europäische Normen und Richtlinien sowie gesetzliche Vorschriften und deren Umsetzung bei Planung und Verarbeitung. Damit diese hohe Qualität erhal-



Ob online oder vor Ort: Ein Seminar an der fischer Akademie lohnt sich immer

ten bleibt, absolvieren unsere Trainer selbst Jahr für Jahr Weiterbildungs- und Trainingsmaßnahmen in **Theorie und Praxis**. Und das Beste: Alleine Sie entscheiden, ob die Weiterbildung bei uns, in OnlineSeminaren oder in Ihrer Firma stattfindet.



**Schulungen für Planer und Statiker:**  
Buchen Sie jetzt die Schulung Ihrer Wahl!

[www.fischer.de/schulung](http://www.fischer.de/schulung)



Hier geht's zu den OnlineSeminaren von fischer



**Unsere Experten von der technischen Beratung sind gerne für Sie da!**

Jetzt Kontakt zu fischer aufnehmen.

**T +49 7443 12 – 4000**  
(Mo – Do: 7:30 – 17:30 Uhr  
Fr: 7:30 – 17:00 Uhr)

[anwendungstechnik@fischer.de](mailto:anwendungstechnik@fischer.de)

# Summary.

## Zusammenfassung Whitepaper Federmodelle.

### Lineares vs. nicht-lineares Federmodell

Federmodelle eignen sich hervorragend, um die Steifigkeit von Ankerplatten zu bewerten.

**Lineare Federmodelle** ermöglichen diesbezüglich den Vergleich der Dübelkräfte zwischen einer realitätsnahen Berechnung und der Berechnung nach der Elastizitätstheorie innerhalb des CC-Verfahrens. Durch den Vergleich der Kräfte kann die Ankerplattendicke iterativ so optimiert werden, bis eine ausreichende Steifigkeit erreicht ist, um die Voraussetzungen des CC-Verfahrens zu erfüllen.

**Nicht-lineare Federmodelle** dienen indes der unmittelbaren Berechnung des charakteristischen Widerstands einer Dübelgruppe unter Berücksichtigung von Ankerplattensteifigkeit und der Steifigkeit jedes einzelnen Dübels. Somit ermöglicht der nicht-lineare Ansatz realitätsnahe Berechnungen, die über die Grenzen des bisherigen CC-Verfahrens hinausgehen.

### Anwendung lineares Federmodell

Beim linearen Federmodell basieren Bemessungen auf einem ausschließlich kraftkontrollierten Ansatz mit linearen Federkennlinien. Die Einzelkräfte der Dübel lassen sich realitätsnah unter Berücksichtigung der Dübelsteifigkeit sowie der Ankerplattensteifigkeit und des Profils ermitteln. Ebenso wird eine Beurteilung der Gesamtkraft eines Systems inklusive Rückschluss auf Hebelkräfte unterhalb der Ankerplatte möglich. Nach einer schrittweisen Optimierung der Ankerplattendicke mithilfe des linearen Ansatzes können Anwender Dübelkräfte im gewohnten CC-Verfahren realitätsnah berücksichtigen und verlässliche

Aussagen zur vorhandenen Ankerplattensteifigkeit treffen.

### Anwendung nicht-lineares Federmodell

Anders als das lineare Federmodell, das auf einem kraftkontrollierten Ansatz beruht, basiert das nicht-lineare Federmodell auf einem wegkontrollierten Konzept. Dabei wird anhand von penta-linearen Federkennlinien das gesamte Last-Verformungsverhalten inklusive Nachbruchverhalten von Befestigungen abgebildet. Ergebnis ist eine realitätsnahe Berechnung des charakteristischen Widerstandes der Befestigungsgruppe unter Berücksichtigung der Ankerplattensteifigkeit sowie von Lastumlagerungen. Durch nicht-lineare Berechnungsmethoden lässt sich darüber hinaus der charakteristische Widerstand des Gesamtsystems ermitteln und dadurch eine Last-Verformungskurve des Gesamtsystems abbilden. Das nicht-lineare Federmodell kann zur Optimierung von speziellen Bemessungssituationen eingesetzt werden, für die es sonst keine Bemessungsregeln gibt.

### Fazit und Ausblick

Stand heute sind Federmodelle noch nicht in Normen beschrieben. Dies dürfte sich in naher Zukunft aber ändern. Im Rahmen einer Dissertation an der Universität Stuttgart wurde der nicht-lineare Federmodell-Ansatz von B. Bokor bereits verifiziert (erscheint 2021). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass speziell bei Querbelastung einige zusätzliche Betrachtungen in der Vorgehensweise im Vergleich zur Zugbelastung berücksichtigt werden müssen. Weitere Veröffentlichungen zu diesem Thema folgen in Kürze.

[www.fischer.de](http://www.fischer.de)



**Dafür steht fischer**

Befestigungssysteme

Automotive

fischertechnik

Consulting

LNT Automation

---

**fischerwerke GmbH & Co. KG**  
Klaus-Fischer-Straße 1 · 72178 Waldachtal  
Deutschland  
T +49 7443 12-0 · F +49 7443 12-8297  
[www.fischer.de](http://www.fischer.de) · [info@fischer.de](mailto:info@fischer.de)

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung von fischer zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität. Insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen – soweit jeweils urheberrechtlich fischer zuzurechnen – bei fischer.

---