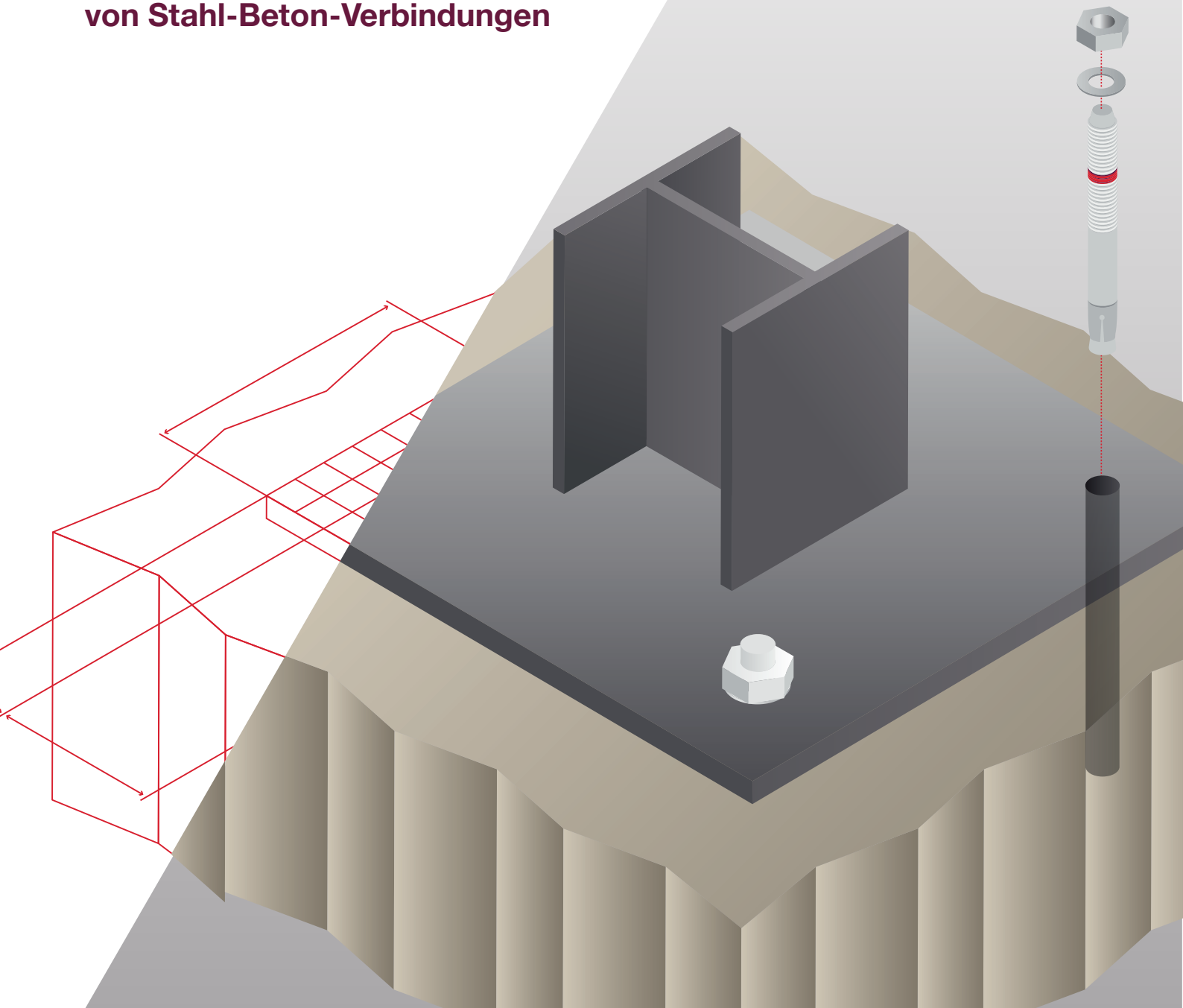




**New Civil Engineer**

# BEMESSUNG VON STAHL-BETON- VERBINDUNGEN

**Lösung der Herausforderung  
von Stahl-Beton-Verbindungen**



# EINLEITUNG

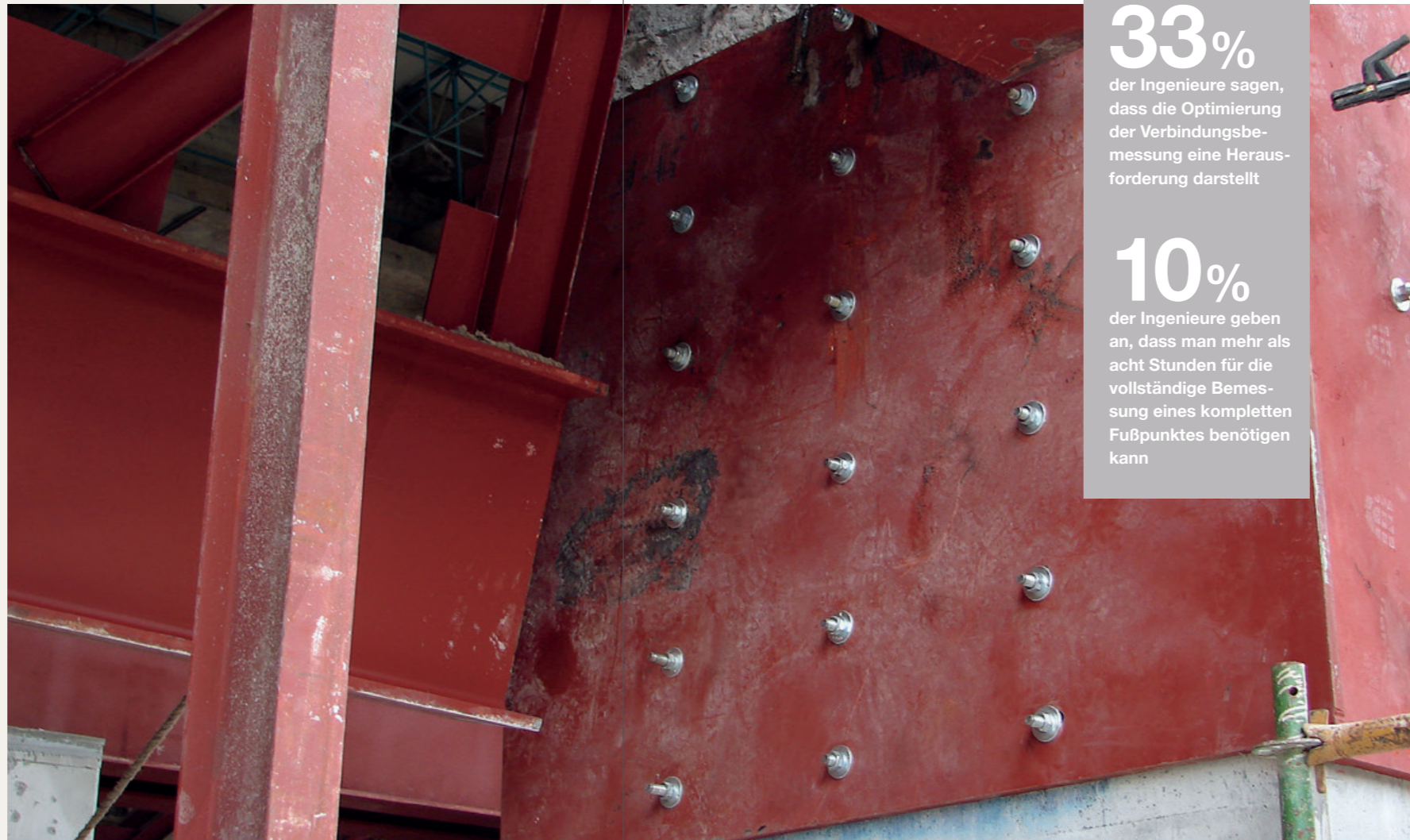
Die Bemessung von Stahl-Beton-Verbindungen ist eine zentrale und sicherheitskritische Aufgabe bei vielen Bauprojekten. Richtig ausgeführt, können diese Verbindungen dafür sorgen, dass ein Bauwerk viele Jahrzehnte lang funktionsfähig bleibt. Falsch ausgeführt, können sie zu einer Katastrophe, eventuell zu schweren Unfällen und sogar zum Verlust von Menschenleben führen.

Dennoch haben Ingenieure, die regelmäßig Stahl-Beton-Verbindungen bemessen müssen, oft Schwierigkeiten, weil es – trotz der Bedeutung dieser Aufgabe – keine Software gab, mit der die verschiedenen Komponenten einer Stahl-Beton-Verbindung als Ganzes bemessen werden konnte.

Allzu oft sind mehrere Berechnungsansätze erforderlich, um die verschiedenen Komponenten einer einzigen Fußpunktverbindung zu analysieren, was den Zeitaufwand für die Bemessung der Verbindung erhöht. Der gesamte Prozess ist schwierig und zeitraubend, und da nur wenig Zeit für Iterationen bleibt, sind die Bemessungen oft nicht so effizient wie sie sein könnten.

Gegenwärtig ist es üblich, für die Bemessung von Stahl-Beton-Verbindungen eine Reihe verschiedener Software Systeme zu verwenden oder gar Handberechnungen durchzuführen, die jeweils eine andere Komponente der Verbindung betreffen – Dübel, Ankerplatte, Schweißnaht, Versteifung – wobei der Ingenieur verschiedene technische Richtlinien und Normen befolgen muss.

Dieser Artikel befasst sich mit der PROFIS Engineering-Premium Software von Hilti, die genau für diese Anwendung entwickelt wurde. Er geht auf die Herausforderungen ein, untersucht die Forschung, die zu dieser Lösung geführt hat, und zeigt auf, wie die Software sicherstellt, dass alle vier Schlüsselkomponenten einer Verbindung in Übereinstimmung mit den Europäischen Technischen Normen in einem Bruchteil der Zeit bemessen werden können, die derzeit für diese Aufgabe benötigt wird.

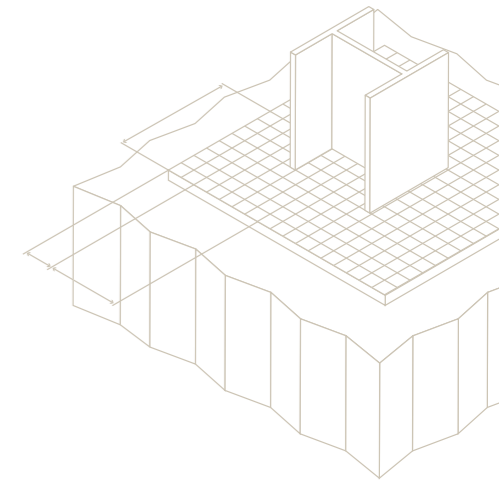


**33%**

der Ingenieure sagen, dass die Optimierung der Verbindungs-bemessung eine Herausforderung darstellt

**10%**

der Ingenieure geben an, dass man mehr als acht Stunden für die vollständige Bemessung eines kompletten Fußpunktes benötigen kann



Sie haben herausgefunden, dass obwohl die Standard Ingenieurpraxis, unterstützt durch die gängigen Bemessungsregelwerke, von der Annahme einer starren Ankerplatte ausgeht, in Wirklichkeit jedoch in vielen Fällen eine flexible Ankerplatte vorliegt. Dies bedeutet, dass für die Ermittlung der genauen Beanspruchung eines jeden Stahl-Beton-Verbindungselements dieser als gesamtheitlicher Fußpunkt mit einer Reihe von Variablen genau definiert und analysiert werden müsste.

Mit den bestehenden Methoden war es nicht machbar, auf die technischen Details, die für die sichere und optimale Bemessung einer flexiblen Platte erforderlich sind, einschließlich der Schweißnähte, Versteifungen und Verankerungen sowie der verschiedenen auf ein Bauwerk einwirkenden Kräfte und anderer Variablen, einzugehen.

Eine neue Software war notwendig, um Bemessungsvorschläge durch ausgefeilte Iterationsverfahren optimieren und auf Knopfdruck so lange überarbeiten zu können, bis sie auf maximale Effizienz feinabgestimmt waren. Wenn dies gelänge, könnten die Zeit und die Tonnen von Material, die für die Herstellung einer einzigen Verbindung zwischen Stahl und Beton erforderlich sind, reduziert werden..

Nach umfangreichen Tests und Kundenbefragungen konnte das Ankerplattenmodul von PROFIS Engineering Premium im Frühjahr 2019 in Betrieb genommen werden. Dies war der letzte Schritt auf dem Weg von Hilti, dieses spezielle Problem für die Kunden zu lösen – und die erste Gelegenheit für Bauingenieure, sich mit einer effizienteren Bemessung von Verbindungen vertraut zu machen.

# ZUSAMMENFASSUNG

Als Hilti zu Beginn dieses Jahrzehnts feststellte, dass Kunden gehäuft über Schwierigkeiten bei der Bemessung anspruchsvoller Stahl-Beton-Verbindungen klagten, machte sich der globale Bauzulieferer daran, eine Lösung zu finden.

Der erste Schritt bestand darin, das Problem zu verstehen. In Gesprächen mit Nutzern der bestehenden Dübelbemessungssoftware Hilti PROFIS Anchor wurde der Wunsch der Ingenieure deutlich, über die Details eines

Dübeln hinaus den gesamten Fußpunkt zu analysieren und bemessen.

Das bedeutete, dass das Verhalten von Schweißnähten, Versteifungen und – was besonders wichtig war – das Verhalten von Ankerplatten in Verbindungen an realen Gebäuden untersucht werden musste, um den Konstrukteuren die Möglichkeit zu geben, die Effizienz der Bemessungsvorschläge für ihre eigenen zukünftigen Projekte zu maximieren. Hilti – ein Unternehmen mit mehr als 31000 Mitarbeitern in 120 Ländern – formulierte daraufhin eine Reihe von Fragen für eine wissenschaftlich ausgelegte Umfrage, um das Ausmaß der Herausforderung in der gesamten Branche zu ergründen.

Mehr als ein Drittel der befragten Bauingenieure gab an, dass die Entwicklung eines Programms zur Modellierung von Dübeln, Ankerplatten, Schweißnähten und Versteifungen für sie sehr von Nutzen wäre.

Die Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Hilti untersuchte die mathematische Theorie, die hinter der Bemessung von Verbindungen steht. Koordiniert wurde die Arbeit von Mario Fitz, Global Product Line Manager, Jörg Appl, Technical Marketing Manager, und Oliver Geibig, Senior Trade Manager für Engineering. Sie analysierten eine Reihe von Versuchsdaten aus verschiedenen Quellen, um den Punkt zu ermitteln, an dem eine Erhöhung der Kräfte auf einen Dübel den Versagenspunkt der gesamten Verbindung beeinflusst.



**Tarborda:**  
Software halbiert die Bemessungszeiten



Wirklichkeit gibt es Verformungen. Um eine möglichst präzise Bemessung zu erzielen, muss die Belastung aller Komponenten einer Verbindung, d. h. der Dübel, der Versteifungen, der Ankerplatte und der Schweißnähte, berücksichtigt werden“, sagt Carlos Tarborda, Hilti Produktmanager für technische Software in Nordeuropa. „Dies führt zu einer Komplexität, die eine detaillierte Analyse erfordert.“

Für die Einhaltung des Eurocodes sind zwei Dinge zu berücksichtigen: erstens basieren die Formel des Eurocode auf der Annahme einer linearen Lastverteilung bei einer starren Ankerplatte. Zweitens ist es wichtig das die tatsächlichen Lasten auf die Dübel angesetzt werden. Wenn keine biegesteife Ankerplatte und somit keine lineare Lastverteilung vorliegt, können die Dübellasten abweichen, hervorgerufen z.B. durch Abstützeffekte oder einen verkürzten inneren Hebelarm. Dennoch muss mit den tatsächlichen Kräften gerechnet werden, da es sonst zu einem Dübelversagen kommen könnte.

## HERAUSFORDERUNG

Um die Herausforderung starre vs. flexible Ankerplatte besser zu verstehen, führte Hilti ein globales Forschungsprojekt durch was im April 2017 veröffentlicht wurde. Die Ergebnisse waren Deckungsgleich mit den Erkenntnissen einer unterstützenden Umfrage die in Zusammenarbeit mit dem „New Civil Engineer“ erhoben wurde, bei der 100 Bauingenieure Auskunft über Ihre Bemessungserfahrungen von Stahl-Beton Verbindungen gegeben haben.

Mehr als die Hälfte der Befragten der New Civil Engineer-Umfrage gab an, dass sie eine verwirrende Kombination aus verschiedenen Softwareprogrammen, Handberechnungen sowie technischen Richtlinien und Zulassungen verwendeten, um Dübel, Ankerplatten, Schweißnähte und Versteifungen zu bemessen. Nur 6 % gaben an, dass sie ein einziges Programm für die gesamte Verbindung verwendeten.

Einer von 10 befragten Ingenieuren sagte aus, dass die Bemessung einer vollständigen Stahl-Beton-Verbindung und die Erstellung eines entsprechenden Berichts für den Prüflingenieur bis zu acht Stunden in Anspruch nehmen kann. Mehr als die Hälfte der Befragten sagte, dass dies mindestens zwei Stunden dauerte.

Die Befragten betonten ihre Bedenken hinsichtlich der Kontrolle über die Bemessung von Stahl-Beton-Verbindungen. „Das ist oft ein Thema, das zwischen den Konstrukteuren der Stahlbauteile und der Betonbauteile hin- und hergeschoben wird“, sagte ein Ingenieur. Die Optimierung einer Gesamtverbindung wurde von fast einem Drittel der Umfrageteilnehmer als Problem genannt. Ein ähnlicher Anteil sah es als Problem an, dass es keine Software gab, mit der diese Aufgabe in ihrer Gesamtheit erfüllt werden konnte.

Die Untersuchung von Hilti, die durch die Umfrage von New Civil Engineer ergänzt wurde, brachte die Herausforderung auf den Punkt: Das Unternehmen musste einen Weg finden, der es qualifizierten Ingenieuren ermöglichen würde, ihre Fähigkeiten zu nutzen, um die Effizienz der endgültigen Stahl-Beton-Verbindungen und des Bemessungsprozesses zu verbessern.

Hilti erkannte bald, dass die Annahmen, von denen bei solchen Bemessungen üblicherweise ausgegangen wurde, das Erreichen der optimalen Lösung behinderten.

„Die meisten Beton-Stahl-Bemessungen gehen von einer starren Platte aus, aber in

## METHODE

Der strenge Testprozess von Hilti enthüllte einen „Sweetspot“. Hilti fand heraus, dass bei einer Lastdifferenz von weniger als 10% zwischen den Ankerkräften einer flexiblen und einer starren Ankerplatte keine Auswirkungen auf die Gesamtversagenslast der Verbindung zu erwarten sind.

Dies wurde in einer Veröffentlichung von Fitz, Appl und Geibig aus dem Jahr 2018 mit dem Titel „Wirklichkeitsnahe und vollständige Bemessung von Ankerplatten einschließlich der Befestigungsmittel > Neue Bemessungssoftware auf Basis wirklichkeitsnaher Annahmen“ detailliert erläutert.

Hilfreicherweise wurde in dem Beitrag zunächst der Kontext des technischen Problems skizziert.

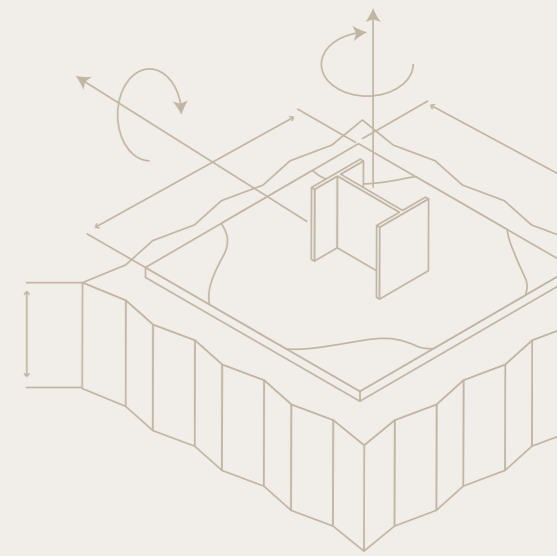
„Die Bemessung von Ankerplatten und ihrer Befestigungsmittel, die in Beton verankert werden, ist für Planer und Anwender wichtig.“, heißt es in dem Dokument. „Mit modernen Befestigungsmitteln lassen sich hohe Lasten sicher in Betonbauten einleiten. Es ist verständlich, dass diese sicherheitsrelevante 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 erlaubt.“

In dem Dokument wird weiter ausgeführt, dass nach den einschlägigen Vorschriften von einer starren Ankerplatte ausgegangen werden muss, wenn die Belastung von Verbindungsteilen nach der gängigen Elastizitätstheorie ermittelt wurde.

Die Autoren fügen jedoch hinzu, dass es keine klaren Regeln dafür gibt, wann eine Ankerplatte als ausreichend steif anzusehen ist. „Die Annahme, dass sich die Ankerplatte unter den auf Basis der Elastizitätstheorie ermittelte Einwirkungen nicht verformt, ist für die in der Praxis üblichen Ankerplattendicken nicht immer gewährleistet“, heißt es weiter.

„Bei einer biegesteifen Ankerplatte wird unter anderem angenommen, dass die resultierende Betondruckkraft am äußeren Ende der Ankerplatte angreift und sich somit der innere Hebelarm z ergibt. Liegt jedoch im Gegensatz zur Annahme eine biegeeweiche/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.



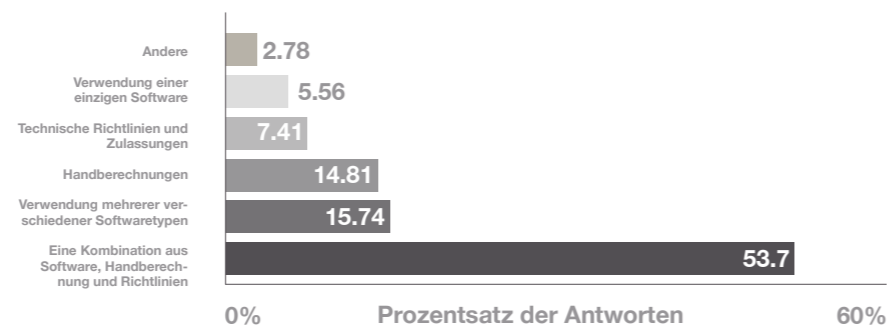
In diesem Fall wandert die resultierende Betondruckkraft zum Rand des Profils hin.“

Die Experten von Hilti wiesen nach, dass bei einer erheblichen Verformung infolge der Bildung eines solchen Fließgelenks in der Ankerplatte auf der Zugseite der Verbindung die Plattenecken gegen den Beton gepresst werden könnten, was zu zusätzlichen Abstützkräften und dadurch wiederum zu einer Erhöhung der Zugkraft in den Dübeln führen könnte.

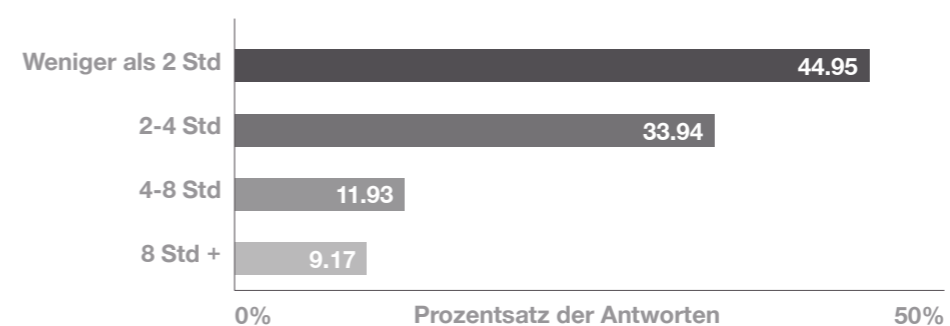
„Diese Abstützkräfte können ebenfalls bei größeren Ankerplattenüberständen, biege-weicher Ankerplatte und überwiegender Zugbeanspruchung zustande kommen“, heißt es in dem Dokument. „Durch die erheblichen Verformungen der belasteten Ankerplatte wird die lastverteilende Wirkung der Ankerplatte unterbunden. Dies kann zu einer erheblichen Überbelastung und eines vorzeitigen Versagens eines Befestigungsmittels innerhalb einer Gruppe führen.“ ▶

Um eine möglichst präzise Bemessung zu erzielen, muss die Belastung aller Komponenten einer Verbindung berücksichtigt werden

Wie gestalten Sie die verschiedenen Elemente der Stahl-Beton-Verbindung (Dübel, Ankerplatte, Schweißnaht, Versteifung)?



Wie lange dauert es im Durchschnitt, eine typische Stahl-Beton-Verbindung zu bemessen und einen Bericht zu erstellen?



Wir können bis zu 50 % Zeit einsparen, indem wir die Überprüfungen mit einer einzigen Software durchführen

► Um die Steifigkeit einer Ankerplatte und ihrer Anbauteile sowie der Schweißnähte und der Befestigung genau zu beurteilen, mussten die Autoren die wahre Natur der Lastverformung der einzelnen Komponenten besser verstehen und somit Gleichgewichts- und Kompatibilitätsbedingungen berücksichtigen.

Die Arbeit erläuterte auch die Rolle der Eurocodes in der Hilti-Forschung.

„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“, hieß es.

„Die Betonantwort wird auf Basis der Beton-eigenschaften nach EN 1992-1-1 [2] formuliert, wobei die Federsteifigkeit des Betons nach dem Winkler-Pasternak-Modell erfolgt.“

Hilti führte ein separates Forschungsprojekt durch, um das Lastverformungsverhalten von Dübeln zu bestimmen. Unter Berücksichtigung von Vorspannung, Dübelmaterial und Reibungskoeffizient zeigte die Studie, dass die ermittelten Dübelsteifigkeiten in einigen Fällen erheblich von den Werten in den entsprechenden Zulassungsdokumenten abwichen.

## Ohne die Software würde es viel länger dauern, und man müsste bei Null anfangen

„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.“, erläutern Fitz, Appl und Geibig.

Um die Steifigkeit der Ankerplatte zu überprüfen, werden Ankerlasten, die nach der Elastizitätstheorie berechnet wurden, mit Ankerlasten verglichen, die Gleichgewichts- und Kompatibilitätsbedingungen auf der Grundlage realistischer Annahmen des Last-Verschiebungsverhaltens und der Spannungs-Dehnungs-Kurven der einzelnen Bauteile und unter der Annahme einer steifen Ankerplatte berücksichtigen. Durch den Vergleich der Ankerlasten beider Methoden kann die Lücke zwischen Theorie und Praxis ermittelt werden.



# 50%

Verkürzung der Bemessungszeiten mit PROFIS Engineering

# 10%

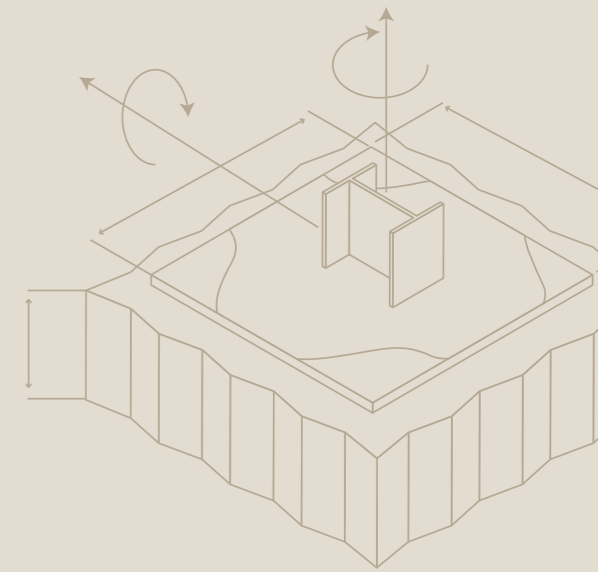
Prozentsatz derer die sagen, es dauert mehr als acht Stunden für den Entwurf von Verbindungen

Es wurden Versuche durchgeführt, um die mittleren Versagenslasten von Dübelgruppen im Verhältnis zur berechneten Versagenslast unter Berücksichtigung der Elastizitätstheorie als Funktion des höchstbelasteten Dübels der Gruppe zu ermitteln.

Bei diesen Versuchen wurden Dübelgruppen mit vier und neun Dübeln unter einachsiger und zweiachsiger Biegung in ungerissenem Beton untersucht. Bei den Versuchen wurden eingegossene Kopfbolzen und nachträglich eingebaute Dübel verwendet. Die geeigneten Plattenstärken wurden anhand der Spannung berechnet.

Mit dieser Arbeit sollte abgeschätzt werden, inwieweit eine Abweichung des am stärksten belasteten Dübels einer Gruppe von der Berechnung nach der Elastizitätstheorie die gesamte Tragfähigkeit der Gruppe beeinflusst.

Anhand der verfügbaren Versuchswerte wurde gezeigt, dass bei einer Abweichung



der Ankerlasten des am stärksten belasteten Dübels einer Gruppe von etwa 10 % – zwischen starren und realistischen Ankerplatten – die mittlere Versagenslast der Dübelgruppe der nach der Elastizitätstheorie berechneten mittleren Versagenslast der Dübelgruppe entsprach.

Das bedeutete, dass bei einer etwa 10%igen Abweichung der Ankerlasten zwischen einer starren und einer flexiblen Platte bei den Versuchen kein negativer Einfluss auf die Tragfähigkeit zu beobachten war.

Nach einer Phase der Kodierung und Softwareentwicklung durch das Inhouse-Team von Hilti wurde PROFIS Engineering ins Leben gerufen, um die große Anzahl detaillierter Berechnungen durchzuführen, die erforderlich sind, um die Ingenieure zu den besten Verbindungsbemessungen für ihre Projekte zu führen.

## LÖSUNG

Der Kern von PROFIS Engineering, das die aktuelle Dübelbemessungssoftware PROFIS Anchor ablöst, besteht darin, dass es maßgeschneiderte Algorithmen verwendet, um die Verteilung und Auswirkung von Spannungen auf alle an strukturellen Verbindungen beteiligten Komponenten zu analysieren, so dass Ingenieure all ihre Fähigkeiten einsetzen können, um die Effizienz der Verbindung zweier wesentlicher Baustoffe zu maximieren.

Der neue Ansatz basiert auf einem robusten Finite-Elemente-Solver mit genauen Materialmodellen sowie einer einzigartigen Beschreibung des Dübelverhaltens, um eine realistische Bemessung der gesamten Verbindung zu ermöglichen.

Bei der Entwicklung der Finite-Elemente-Methode arbeitete Hilti mit dem tschechischen Softwareentwickler Idea StatiCa zusammen.

Lubomir Šabatka, Geschäftsführer von Idea StatiCa, ist mit der Zusammenarbeit sehr zufrieden: „Wir glauben, dass die neue komponentenbasierte Finite-Elemente-Methode der richtige Ansatz ist, um die Grenzen der Verankerungs-/Fundamenttopologien zu über-

schreiten und gleichzeitig die Sicherheit an die erste Stelle zu setzen.

Wir haben die CBFEM (komponentenbasierte Finite-Elemente-Methode) in das Herzstück unseres Produkts, Idea StatiCa Connection, eingebaut und Hilti hat sie in seine neue PROFIS Engineering Suite integriert.“ Die hochmoderne Software bietet maßgeschneiderte Lösungen für Bauingenieure, Detailplaner, Einkäufer und Baustellenleiter. Sie erleichtert den Informationsfluss im gesamten Bauteam und verringert die Fehleranfälligkeit.

Hilti PROFIS Engineering hilft Ingenieuren, die Genauigkeit zu verbessern und durch die automatische Lastübertragung Zeit zu

sparen: „Ohne die Software würde es so viel länger dauern, und man müsste mit einer Statiksoftware bei Null anfangen.“

Die Anwendungen umfassen die Bemessung von Dübelbefestigungen in Beton und Mauerwerk, die Bemessung von Handläufen für die Montage auf Beton und die Erstellung von CAD- und Gebäudedatenmodellen von Verbindungen.

PROFIS Engineering kann verwendet werden, um Dübelanzahlen zu ermitteln, Mörtelmengen zu berechnen und Stücklisten zu erstellen sowie Dübelanzahlen und die Anordnungen von Ankerplatten und Dübeln auf einer Baustelle zu überprüfen.

PROFIS Engineering ist mit Android- und Apple-Produkten kompatibel, wird von Windows 7, 8 und 10 unterstützt und ist in einer Vielzahl von Lizenzen erhältlich, um individuellen und betrieblichen Anforderungen zu entsprechen.

Es handelt sich um eine intuitive Software, mit der erfahrene Ingenieure die für ihr Projekt relevanten Fakten und Zahlen eingeben, verschiedene Optionen nach eigenem Ermessen auswählen und sehr schnell sehen können, wie sich ihre Entscheidungen auf den Entwurf auswirken.

Innerhalb von Sekunden erfasst die Software mit Hilfe maßgeschneiderter Algorithmen

das Gesamtbild und analysiert die Spannungsverteilung und Verformung. Sie zeigt auf einem geteilten Bildschirm, wie sich eine starre und eine flexible Platte verhalten würden. Wenn Sie bestätigen, dass Sie mit der Verformung der Ankerplatte zufrieden sind, sagt Ihnen die Software, wie groß die Abweichung von der Steifigkeit ist. Wenn die Abweichung über der 10%-Grenze liegt, können Sie zurückgehen und mit einer Mischung aus Vorschlägen des Programms und Ihrem eigenen Fachwissen eine neue Bewertung vornehmen. Das Verfahren ist dem Ändern von Flugdaten und -zeiten und der Auswahl der Annehmlichkeiten eines Hotels, um zu sehen, wie sich die Kosten für einen Urlaub verändern, nicht unähnlich. ►



# DEMONSTRATION & KOMMUNIKATION



Neben der Erstellung eines Handbuchs zur neuen Software und der Durchführung von Trainings konnte Hilti den Kunden die Vorteile auf verschiedenen Wegen vermitteln.

Appl erklärte in einem von Hilti durchgeführten Webinar über PROFIS Engineering: „Die Annahme einer starren Ankerplatte ist keine Erfindung von Hilti, sondern eine grundlegende Philosophie des Eurocode 2-4“, sagte er. „Wenn ich Dübel nach EN1992-4 bemessen will, muss ich eine starre Ankerplatte vorsehen.“

Fitz demonstrierte während des Webinars anhand eines Modells, dass eine nicht starre Ankerplatte selbst bei Zuglasten zu höheren Ankerlasten führen kann, als in der ursprünglichen Bemessungsannahme vorausberechnet wurde.

Eine starre Ankerplatte würde bei einer zentral aufgetragenen Zugkraft zu einer gleichmäßigen Lastverteilung auf alle Dübel führen, aber in Wirklichkeit hat man bei einer nicht starren Ankerplatte ein weniger steifes System und der mittlere von drei Dübeln würde eine viel höhere Last als die anderen haben, und das wäre bei der ursprünglichen Bemessung nicht berücksichtigt worden.

„Eine Demonstration zeigt, dass Druckkräfte zu extrem hohen Kräften unterhalb der Ankerplatte führen, was zum Brechen des Betons führen kann“, sagt Appl. „Eine nicht starre Ankerplatte kann die Ankerkräfte sowie andere Parameter beeinflussen. Es gibt eine ganze Reihe von Parametern, die die Steifigkeit der Ankerplatte beeinflussen: die Größe der Ankerplatte, die Versteifungen, die Dicke der Ankerplatte, die Dübelgröße, die Größe der Profile, der Dübeltyp, die Dübelposition und Abstand des Dübels zum Rand der Ankerplatte.“

Fitz sprach über Kundenfragen, die Hilti dazu veranlasst hatten, den langen Weg der Einführung des PROFIS Engineering Ankerplattenmoduls (Premium) zu gehen.

„Sie haben uns gefragt, was eine starre Ankerplatte ausmacht – sind es 12 mm, 16 mm oder 20 mm? Die Antwort ist einfach: Es kommt darauf an! Es ist von all den oben genannten Parametern abhängig. ▶

▶ „Ohne die Software würde es so viel länger dauern, und man müsste bei Null anfangen, wenn man merkt, wie weit man die Abweichungsgrenze überschritten hat“, sagt Taborda. „Jetzt kann man die Größe und Position von Dübeln schnell ändern, mehr Schweißnähte und Versteifungen anbringen, eine dickere Platte verwenden und so weiter.“

Die PROFIS Engineering-Software zeigt dem Benutzer sofort an, ob seine Bemessungen zu einer Abweichung von mehr als 10 % bei den Lasten führen würden. Dann ermög-

licht das Softwarepaket einem erfahrenen Ingenieur entweder die Differenz zu akzeptieren und mit den tatsächlichen Lasten fortzufahren oder zurückzugehen und – mit bestimmten Aufforderungen und Hinweisen – die Elemente seiner Bemessungsvorschläge anzupassen, um mit den sichersten und effizientesten Werten unter 10 % zu kommen. Laut Hilti kann die Zeit für die Verbindungs-bemessung von einer Stunde auf 30 Minuten reduziert werden und Anzeichen aus dem Markt deuten darauf hin, dass dies eine sehr konservative Schätzung sein könnte.

Das glaubt jedenfalls Greg Matejko von WML Consulting. „Eine Bemessung, die früher eine

Stunde dauerte, kann mit PROFIS Engineering in 15 bis 20 Minuten erledigt werden“, sagt er. „Bevor wir Zugang zu PROFIS Engineering hatten, mussten wir die Befestigungslasten manuell ermitteln und dann mit dem technischen Team von Hilti gegenprüfen. Die Bewertung der Steifigkeit der Ankerplatte, um sicherzustellen, dass sie sich wie ein starres Element verhielt, war auch mit PROFIS Anchor eine Herausforderung. Früher wurden die Prüfung der Steifigkeit der Ankerplatte und die Berechnung der zugehörigen Anbauteile wie zwei getrennte Systeme behandelt, und es war nicht einfach, die Wechselwirkung zwischen beiden zu beurteilen.

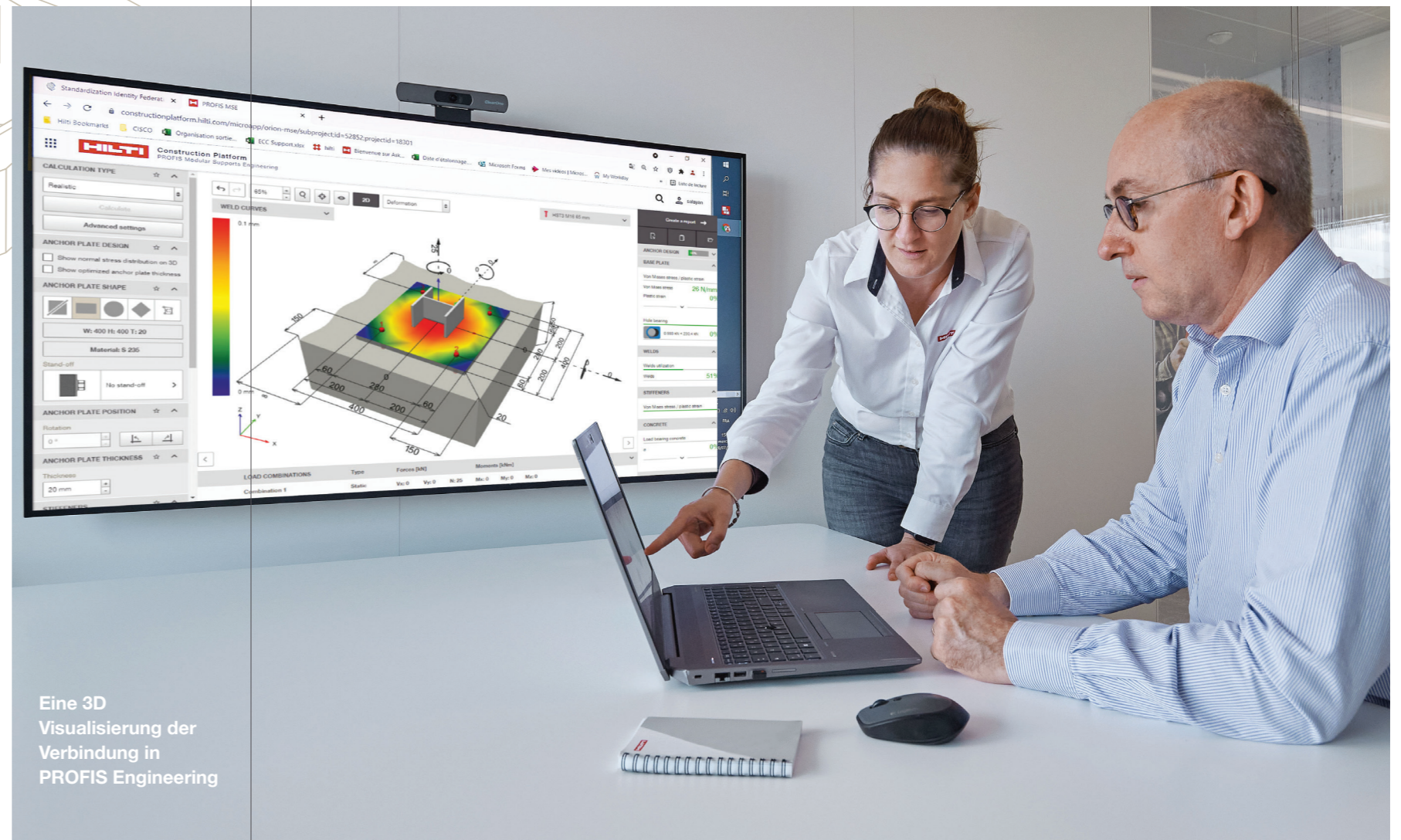
Die Funktion in PROFIS Engineering, die Bemessungen mit starren und flexiblen Ankerplatten vergleicht, vereinfacht den Bemessungsprozess. Früher haben wir uns bei den Bemessungen an eine ideale starre Ankerplatte gehalten, aber jetzt können wir mit PROFIS Engineering Premium und dem Ankerplattenmodul denselben Bemessungsfall für eine flexible Ankerplatte bewerten. Dies ermöglicht eine geringere Dicke der Ankerplatte und optimiert die Verwendung der Dübel, was zu einer Kostenreduzierung für den Kunden führt. Der Vorteil ist, dass wir zuverlässige Berechnungen für alle Kompo-

nenten einer Stahl-Beton-Verbindung (Dübel, Ankerplatte, Schweißnähte, Versteifungen, Beton und Profil) haben und die für diese Berechnungen notwendige Zeit durch die benutzerfreundliche Software mit intuitiver Benutzeroberfläche reduziert wird.“

Marianne Johannsson, Managerin für konstruktiven Ingenieurbau bei der BalcoGroup, ist ebenfalls der Meinung, dass PROFIS Engineering Zeit spart: „Die Bemessung einer Platte (komplette Verbindung einschließlich Dübel, Versteifungen, Ankerplatte etc.) kann bis zu vier Stunden dauern, plus zwei Stunden für die Erstellung des Berichts.

Mit PROFIS Engineering könnten wir bis zu 50 % der Zeit einsparen. Darauf haben wir gewartet!“

Per Jørstad, Tragwerksplaner bei Sweco, stimmt dem zu: „Wir können bis zu 50 % der Zeit einsparen – von zwei bis sechs Stunden auf ein bis zwei Stunden – indem wir alle Bemessungsüberprüfungen mit einer einzigen Software durchführen.“



Eine 3D Visualisierung der Verbindung in PROFIS Engineering

► Sie haben uns gesagt, Sie benötigen eine Software die nicht nur den Dübel sondern eine Bemessung des kompletten Fußpunktes inkl. Ankerplatte, Versteifungen, Schweißnähten und Betonpressung durchführt. Jetzt bieten wir eine Software an, mit der Sie komplette Bemessungen machen können.

Das Programm ermöglicht es Ihnen, zwischen den Berechnungsmethoden „starr“ – Annahme einer starren Ankerplatte oder „wirklichkeitsnah“ – Untersuchung der Steifigkeit und vollständiger Nachweis des Fußpunktes (Bemessung Profil, Versteifungen, Schweißnähte, Dübel und Betonpressung) zu differenzieren.

In der Software definieren Sie die Anwendung – alle Parameter“, sagt Fitz. „Dann klicken Sie auf Berechnen. Die Software hilft Ihnen zu verstehen, wie weit Sie von der theoretischen Annahme einer starren Platte entfernt sind. Wenn Sie weit daneben liegen, arbeiten Sie sicher viel nach eigenem Ermessen. Wir erstellen einen umfassenden Bemessungsbericht, den Sie den Prüferingenieurern oder Baubehörden vorlegen können.“

Ein wesentlicher Schritt des Prozesses ist die 3D-Visualisierung der Verbindung.

„In der 3D-Oberfläche können Sie die meisten geometrischen Parameter und die Belastung definieren und auswählen, welche Art von Schweißnähten Sie möchten und ob Sie Versteifungen haben möchten. Sie kön-

nen die Ergebnisse abrufen. Im Hintergrund wird jedes Bauteil bewertet und innerhalb von durchschnittlich fünf bis 10 Sekunden haben Sie die Ergebnisse. Auf der linken Seite sehen Sie die Ergebnisse für die starre Ankerplatte; auf der rechten Seite sehen Sie das wirklichkeitsnahe Verhalten.“

Eine wichtige Etappe bei der Entwicklung der Software war für Hilti, die Bedeutung der Unterschiede in der Praxis zu erfassen.

„Es gibt keinen Leitfaden, der einem sagt, was eine starre Ankerplatte in der Realität bedeutet, also haben wir viel Aufwand in Forschung und Entwicklung gesteckt“, sagt Fitz. „Bis zu einer Abweichung von 10 % von der starren Ankerplatte haben wir keinen Unterschied bei der Versagenslast festgestellt. Weit darüber hinaus müssen Sie sich darüber im Klaren sein, dass Sie sich außerhalb der Richtlinie bewegen.“

Wenn die Lasten des einzelnen Dübels innerhalb von 10 % abweichen, hat das keine Auswirkungen auf die endgültige Leistung der Ankergruppe.“

„Sie erhalten eine Zusammenfassung der Ergebnisse auf der rechten Seite des Bildschirms“, sagt Fitz. „Dort werden auch Spannungen, Dehnung und Verformung angezeigt.“

Wenn Sie keinerlei Nachgeben in einer Schweißnaht zulassen wollen, können Sie diesen Parameter auswählen, und die Software wird auf dieser Grundlage arbeiten.

Sie definieren das Problem, die Software liefert eine Lösung.“ Obwohl die Software wie von Zauberhand Bemessungen durchführt die Händisch gar unmöglich wären, ist sie so konzipiert, dass sie die Kontrolle und das Verständnis des Nutzers nicht übersteigt.

„Formeln, Norm-Referenzen und Zwischenergebnisse werden immer im Bericht angezeigt. Es ist keine Blackbox. Sie können die Schritte nachvollziehen und haben ein gutes Gefühl bei der Bearbeitung“, sagt Fitz.

„Es gibt viele Tipps und Tricks, die die Hilti-Experten mit Ihnen teilen können, damit Sie Ihre Iterationen schnell durchlaufen können und eine Bemessung bekommen, die für Sie funktioniert.“

Hilti hat Tausende von Tests durchgeführt, um das richtige nichtlineare Verhalten des Dübels zu finden, und kann seine Ergebnisse in Schulungen demonstrieren.

„Die Software sagt Ihnen, ob Ihre Anwendung funktioniert oder nicht. Sie müssen dann entscheiden, welche Parameter Sie ändern müssen.“

## SCHLUSS-FOLGERUNG

Laut Hilti verkürzt sich der Zeitaufwand für die Bemessung eines vollständigen Fußpunktes inkl. der Berechnung von Schweißnaht, Profil, Betonpressen, Versteifungen, Ankerplatte und Dübel um durchschnittlich 50 %, je nach der Komplexität der Berechnung.

Diese Zahl basiert auf umfangreichen Praxistests mit mehreren großen Ingenieurfirmen in ganz Europa im Vorfeld der Markteinführung.

Dazu noch der Cloud-Zugriff, der es den Nutzern ermöglicht, Dateien auszutauschen und gemeinsam zu arbeiten und Berichte auszudrucken, die vollständige und detaillierte Erklärungen zu den Ergebnissen liefern – und die Auswirkungen könnten enorm sein.

„Und es ermöglicht zusätzliche Einsparungen bei Material und Arbeitszeit sowie Vorteile in Bezug auf den Arbeitsschutz – wenn weniger Löcher gebohrt werden müssen, liegen die Vorteile für alle Beteiligten der Lieferkette auf der Hand.“

Weitere Informationen über PROFIS Engineering finden Sie hier:

<https://www.hilti.at/content/hilti/E3/AT/de/engineering/software/profis-engineering-suite.html>

