

Bewehrungsanschlüsse für momententragfähige Verbindungen nach EOTA TR 069

Nachträglich eingemörtelte Bewehrungsanschlüsse haben sich in den letzten Jahrzehnten in der täglichen Baupraxis bewährt. Sie werden sowohl im Neubau als auch bei Renovierungen oder Nutzungsänderungen eingesetzt. Bislang beschränken sich die Anwendungsbereiche von nach EAD 330087-00-0601 qualifizierten Injektionssystemen auf Übergreifungsstöße, Endauflager von gelenkig gelagerten Balken, Bewehrungsstäbe unter Druckbelastung und die Verankerung der Zugkraftdeckung. Der neue technische Bericht EOTA TR 069 „Design method for anchorages of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1“ regelt nun erstmalig die Bemessung und Ausführung von Bewehrungsanschlüssen für biegesteife Beton-Beton-Verbindungen auf europäischer Ebene ohne Ausführung als Übergreifungsstoß. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Anwendungsbereiche des neuen technischen Berichts TR 069 sowie das neue Qualifizierungsverfahren nach EAD 332402-00-0601 erläutert. Darüber hinaus werden die Bemessungsnachweise nach EOTA TR 069 erklärt. Ergänzende Beispielrechnungen von biegesteifen Verbindungen veranschaulichen ergänzend die Vorteile, die sich sowohl in der Planung als auch Ausführung ergeben.

Stichworte nachträglicher Bewehrungsanschluss; Bauen im Bestand; biegesteife Betonverbindungen

1 Allgemeines

Nachträglich eingemörtelte Bewehrungsanschlüsse haben sich in den letzten Jahrzehnten in der täglichen Baupraxis bewährt. Sie werden sowohl im Neubau als auch bei Renovierungen oder Nutzungsänderungen (Bauen im Bestand) eingesetzt. Beispiele dafür sind der Anschluss von neuen Wandscheiben an vorhandenen Betonwänden,



Bild 1 Anwendungsbeispiel eines nachträglichen Bewehrungsanschlusses
Example of a post-installed rebar application

Post-installed reinforcing bar connections for moment-resisting connections according to EOTA TR 069

Post-installed reinforcing bar connections are common in daily construction practice since decades. They are used in new construction projects as well as for renovations or changes of use. Up to now, the areas of application of injection systems qualified according to EAD 330087-00-0601 have been limited to overlap joints, end anchorages of simply supported beams, reinforcing bars under compression loading and anchoring to cover the envelope line of acting tensile forces in bending members. The new technical report EOTA TR 069 “Design method for anchorages of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1” for the first time regulates the design and execution of reinforcement connections for rigid concrete to concrete joints on a European level without execution as overlap joint. In the context of this article, the areas of application of the new technical report TR 069 and the new qualification procedure according to EAD 332402-00-0601 are explained. Furthermore, the design verification steps according to EOTA TR 069 are explained. Additional example calculations of rigid connections additionally illustrate the advantages that result in both design and execution.

Keywords post installed reinforcing bars; change of usage or retrofitting of buildings; moment-resisting concrete to concrete connections

Verankerung von Treppenpodesten, Anschlüsse von Kragplatten an der Stirnseite von Deckenplatten oder Stützenverankerungen in vorhandenen Fundamenten. In der Tragwerksertüchtigung oder im Bestandsbau werden nachträgliche Stahlbetonanschlüsse auch für die Verbreiterung von Kragplatten, die Sanierung von Plattenrändern oder zum Beispiel zum Schließen von Deckenöffnungen geplant und ausgeführt. Bild 1 zeigt ein Anwendungsbeispiel eines nachträglichen Deckenanschlusses. Als Anschlussstechnik werden Verfahren aus der Befestigungstechnik angewandt, die auch bei Verbunddübeln eingesetzt werden. Die Weiterleitung der eingeleiteten Lasten wird jedoch nach den Gesetzen und Tragmechanismen des Stahlbetonbaus gewährleistet.

2 Bisheriges Bemessungskonzept

Bis 2018 wurden nachträglich eingemörtelte Bewehrungsanschlüsse durch den Technischen Bericht TR 023 [1] bewertet und die Anwendungsbedingungen vorgegeben (seit 2018 EAD 330087-00-0601 [2]). Die Anwen-

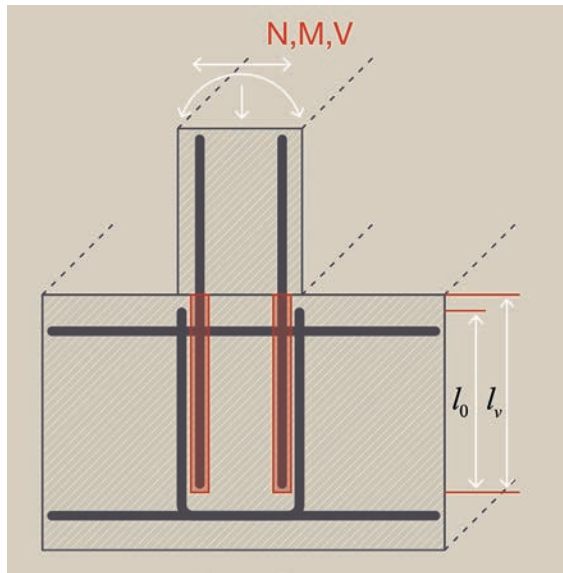


Bild 2 Ausführung einer nachträglichen biegesteifen Stahlbetonverbindung nach EN 1992-1-1 [4] als Übergreifungsstoß
Execution of moment resisting post-installed rebar connection according to EN 1992-1-1 [4] as overlap splice

dungsbedingungen von nach EAD 330087-00-0601 [2] qualifizierten Systemen beschränken sich auf Übergreifungsstöße, bei denen die Lastweiterleitung über Druckstreben auf den benachbarten Bewehrungsstab erfolgt, sowie Endauflager von gelenkig gelagerten Balken, Bewehrungsstäben unter Druckbelastung und die Verankerung der Zugkraftdeckung, vgl. [3].

Bisher dürfen bei diesem Verfahren nur Anschlüsse ausgeführt werden, die nach EN 1992-1-1 [4] auch mit einbetonierten geraden Betonstählen zulässig sind, vgl. [5].

Dies bedeutet, dass die Anschlussbewehrung für momententragfähige Verbindungen immer mittels Übergreifungsstoß ausgeführt werden muss (Bild 2). Dies kann wesentliche Nachteile hinsichtlich Bauablauf, Wirtschaftlichkeit und Arbeitsschutz haben:

- Ein Übergreifungsstoß (planmäßige Übergreifung eines einbetonierten Stabs mit einem eingemörtelten Bewehrungsstab) im Neubau muss vorab geplant werden und auch dort vorhanden sein. Dies ist nicht immer der Fall.
- Die Tragfähigkeit des Übergreifungsstoßes, bestehend aus zwei Stäben mit unterschiedlichen Verbundfestigkeiten, begrenzt sich auf die Tragfähigkeit des schwächeren Stabs, also dem, der einbetoniert ist. Aus diesem Grund kann das Potenzial des verwendeten Injektionssystems in der Regel nicht voll ausgeschöpft werden. Dies führt unter Umständen zu unwirtschaftlichen Übergreifungslängen.
- Die infolge unterschiedlicher Betonierabschnitte lotrecht herausstehenden Bewehrungsseisen können den Arbeitsablauf auf einer Baustelle beeinflussen. Es kann zu einer Beschädigung der Bewehrungsseisen und nicht zuletzt auch zu Verletzungen der Arbeiter auf der Baustelle kommen.
- Im Bestandsbau muss ein Bewehrungsanschluss mittels Übergreifungsstoß in der Regel durch arbeitsintensives Freilegen der Bewehrung erfolgen, bei dem der Beton lokal entfernt (Bild 3a–b), die Anschlussbewehrung mittels Schweißen ergänzt (Bild 3c), der lokale Bereich wieder geschlossen und letztendlich die Verbindung hergestellt wird (Bild 3d).

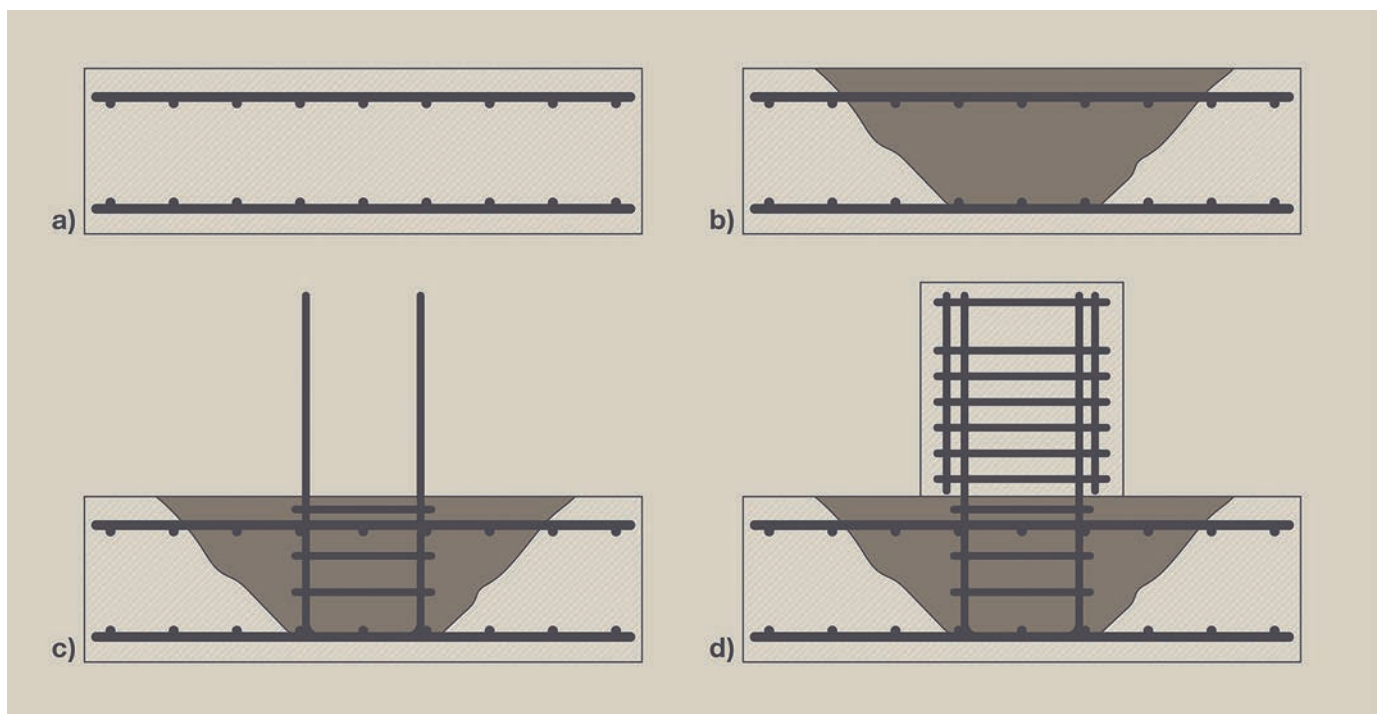


Bild 3 Arbeitsintensive Erstellung eines Übergreifungsstoßes bei nicht vorhandener Übergreifungsbewehrung im Bestandsbauteil nach [4]
Time-intensive creation of an overlap joint with non-existing overlap reinforcement in the existing component according to [4]

3 Momententragfähige, nachträglich installierte Stahlbetonverbindungen nach EOTA TR 069 [6]

3.1 Anwendungsbereich des EOTA TR 069

Der neue technische Bericht EOTA TR 069 [6] „Design method for anchorages of post-installed reinforcing bars (re-bars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1“ erlaubt die Bemessung von momententragfähigen, nachträglich installierten Stahlbetonverbindungen auf europäischer Ebene ohne Ausführung als Übergreifungsstoß. Der EOTA TR 069 [6] wurde von EOTA (European Organization for Technical Assessment) veröffentlicht und vereinigt die Normen und Regelwerke bzgl. Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton nach EN 1992-4 [7] mit den Regelungen des Stahlbetonbaus EN 1992-1-1 [4]. Als Grundlage zur Ausführung solcher Verbindungen sind Injektionssysteme notwendig, die eine europäisch technische Bewertung (ETA) auf Basis von EAD 332402-00-0601 [8] tragen, zum Beispiel HILTI HIT-HY 200-R V3. In dem technischen Regelwerk EOTA TR 069 [6] werden die Versagensmechanismen der Verankerungen und des Betons detailliert beschrieben. Die Traglast der Verankerungslänge ergibt sich als kleinster aller möglicher Widerstandsgrößen. Darüber hinaus ist die minimale Verankerungslänge nach EN 1992-1-1 [4] einzuhalten. Der EOTA TR 069 [6] beschränkt sich auf den Nachweis der Verankerungslänge. Die Weiterleitung der Last in das umgebende Bauteil muss separat erfolgen. Die Betonfestigkeitsklasse des Verankerungsgrunds muss mindestens C20/25 und höchstens C50/60 nach EN 206 [9] betragen und darf nur durch vorwiegend ruhende Belastung beansprucht werden. Der Verankerungsgrund ist als gerissen anzunehmen, falls ungerissener Beton nicht sichergestellt werden kann.

In der Qualifizierung des Mörtelprodukts wird das Verbundverhalten in Versuchen unter Berücksichtigung der

Betondeckung detailliert erfasst und spiegelt sich im rechnerischen Nachweis gegen die Versagensart Herausziehen/Spalten wider. Die Produktqualifizierung ist weit umfangreicher als für Produkte, die ausschließlich nach EN 1992-1-1 [4] bemessen werden dürfen, wofür lediglich die Gleichwertigkeit mit dem Last-Verschiebungsverhalten eines einbetonierten Bewehrungsstabs nachgewiesen werden soll (vgl. EAD 330087-00-0601 [2]). Die Qualifizierung auf Basis des europäischen Qualifizierungsdokuments EAD 332402-00-0601 [8] hingegen erlaubt, dass die Leistungswerte des verwendeten Mörtelsystems (Verbundfestigkeit) ausgenutzt werden, wodurch eine wirtschaftliche Lösung bei ausreichender Sicherheit der Verbindung in Abhängigkeit von den geometrischen und materialspezifischen Randbedingungen möglich ist. Bild 4 zeigt die von EOTA TR 069 [6] abgedeckten Anwendungsbereiche.

3.2 Nachweis der Eignung des Injektionssystems nach EAD 332402-00-0601 [8]

Grundvoraussetzung für die Bemessung eines nachträglichen Bewehrungsanschlusses nach EOTA TR 069 [6] ist, dass das System eine ETA auf Basis von EAD 332402-00-0601 [8] trägt (eine Beurteilung nach EAD 330087-00-0601 [2] ist nicht ausreichend). Das Qualifizierungsdokument EAD 332402-00-0601 [8] regelt die Bewertung des tatsächlichen Verbund- und Spaltwiderstands eines Mörtelsystems. Dafür wird die Grundgleichung des Spaltwiderstands eines einbetonierten Bewehrungsstabs gemäß fib Model Code 2010 [10] (vgl. Abschn. 3.3c) angenommen, wobei der Faktor A_k und die Exponenten $sp1$, $sp2$, $sp3$, $sp4$ und $lb1$ produktspezifisch durch Zulassungsversuche empirisch ermittelt werden sollen. Im Wesentlichen werden folgende Einflussfaktoren für die Beschreibung des Widerstands gegen Herausziehen/Spalten be-

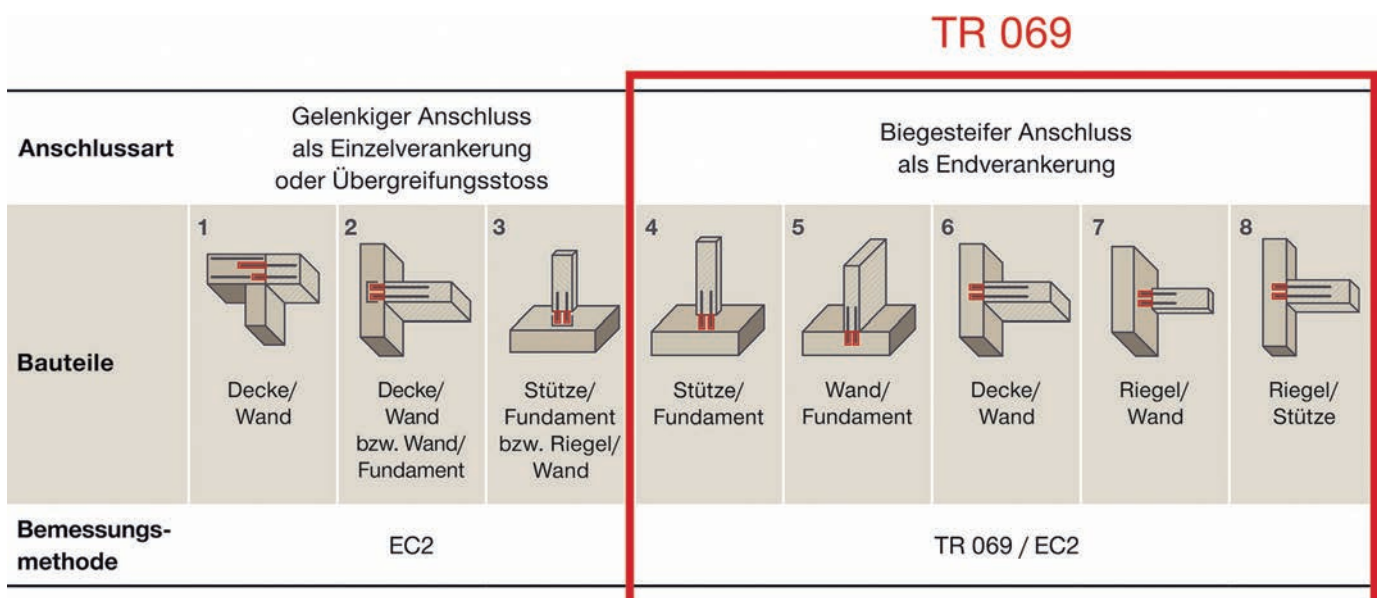


Bild 4 Übersicht über die neuen, nach EOTA TR 069 [6] hinsichtlich Bemessung und Ausführung geregelten Anwendungsbereiche nachträglicher Bewehrungsanschlüsse
Overview of the new areas of application for post-installed rebar connections regulated by EOTA TR 069 [6] regarding design and execution

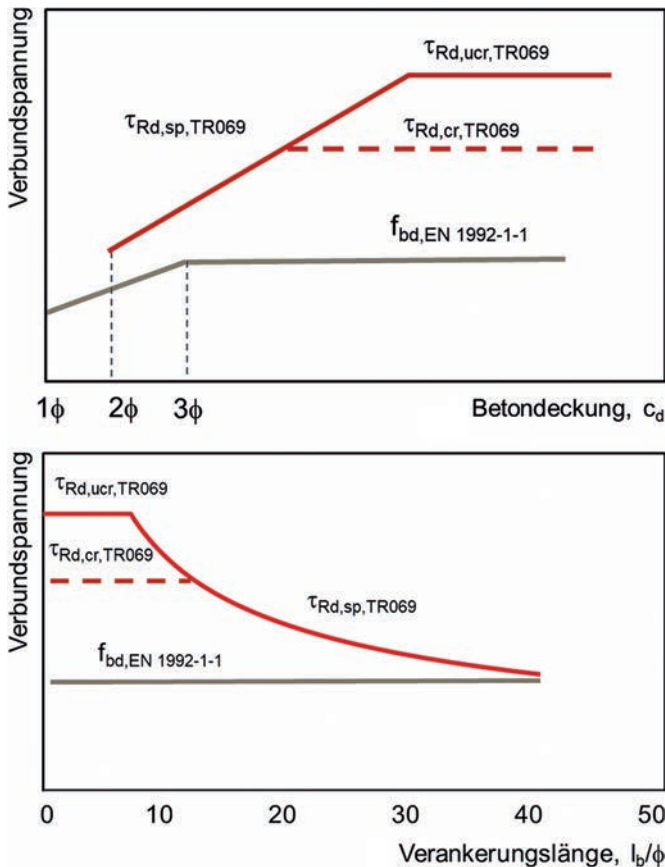


Bild 5 Qualitativer Vergleich des Verbund- und Spaltwiderstands eines Systems, bewertet nach EAD 332402-00-0601 [8] und EOTA TR 069 [6] mit einem System nach EAD 330087-00-0601 [2] und EN 1992-1-1 [4]
 Qualitative comparison of the bond-splitting resistance of a system evaluated according to EAD 332402-00-0601 [8] and EOTA TR 069 [6] with a system according to EAD 330087-00-0601 [2] and EN 1992-1-1 [4]

rücksichtigt: Betonfestigkeit (sp1), Stabdurchmesser (sp2), Betondeckung (sp3), Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Betondeckung (sp4) und Abnahme der Verbundfestigkeit mit zunehmender Verankerungslänge (lb1) des Bewehrungsstabs. Eine Übersicht bezüglich der durchzuführenden Versuche ist zum Beispiel in [11] beschrieben. Als Obergrenze des Spaltwiderstands wird die maximale Verbundfestigkeit des Mörtelsystems angesetzt, wobei bei der Definition der Obergrenze der Sensibilität der Mörtelsysteme im Hinblick auf Umwelteinflüsse und Belastungsbedingungen (d.h. Bohrlochreinigung, Kurz- und Langzeittemperatur, Frost-Tau-Wechsel, Beständigkeit in alkalischen und sauren Umgebungen etc.) Rechnung getragen wird. Zudem werden die möglichen Installationsbedingungen in Anlehnung an EAD 330087-00-0601 [2] geprüft (d.h. Setzen in tiefen Bohrlochern bei minimaler und maximaler Setztemperatur, Überkopfmontage etc.). Die Abminderung der maximalen Verbundspannung infolge von Längsrissen mit einer maximalen Rissbreite von 0,3 mm entlang des nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstabs ist ebenfalls Teil des Qualifizierungsprogramms und wird mit dem Faktor $\Omega_{cr} < 1,0$ berücksichtigt.

Im Bild 5 sind qualitative Verbundspannungsverläufe in Abhängigkeit von der Betondeckung (Bild 5a) und der bezogenen Verankerungslänge (Bild 5b) dargestellt. Zu-

sätzlich wird zwischen Mörtelsystemen, bewertet nach EAD 330087-00-0601 [2] unter Berücksichtigung der Bemessung nach EN 1992-1-1 [4], sowie Mörtelsystemen, bewertet nach EAD 332402-00-0601 [8] unter Berücksichtigung der Bemessung nach EOTA TR 069 [6], unterschieden. Gemäß Bild 5b zeigt sich, dass für kurze Verankerungslängen wesentlich höhere Verbundspannungen durch die Bewertung auf Basis EAD 332402-00-0601 [8] und TR 069 [6] im Vergleich zu EAD 330087-00-0601 [2] und EN 1992-1-1 [4] angesetzt werden können. Dieser Unterschied nimmt mit zunehmender Verankerungslänge ab. Die gestrichelte Linie in Bild 5 zeigt den Einfluss der Annahme von gerissenem Beton im Verankerungsbereich auf den Verlauf der Verbundspannung.

Die Bemessung von momententragfähigen, nachträglich installierten Bewehrungsanschlüssen erfolgt nach dem Sicherheitskonzept der Teilsicherheitsbeiwerte. Die bei der Berechnung des Widerstands benötigten charakteristischen Systemkennwerte sind in der entsprechenden ETA angegeben. Beim Bemessungsverfahren nach EOTA TR 069 [6] ist in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit für alle Versagensarten nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Einwirkungen höchstens gleich dem Bemessungswiderstand ist. Zur Ermittlung des Bemessungswiderstands werden die Versagensarten Stahlfließen ($N_{Rd,s}$), Herausziehen/Spalten ($N_{Rd,sp}$) sowie Betonausbruch ($N_{Rd,c}$) berücksichtigt.

3.3 Charakteristische Widerstände im Bemessungsverfahren nach EOTA TR 069 [6]

Das Bemessungsverfahren nutzt die Leistungsfähigkeit des Mörtelsystems optimal aus. Weiterhin sind bei der Ausführung von nachträglich installierten Bewehrungsstäben zusätzliche Regelungen zu beachten, wie zum Beispiel das zugelassene Bohrverfahren, minimale Betondeckung, Temperatur etc. Aus diesem Grund können sowohl die erforderlichen Nachweise als auch die Auswahl des richtigen Systems als verhältnismäßig aufwendig erachtet werden. Eine mögliche Lösung, um den Bemessungs- und Auswahlprozess zu erleichtern, bietet die HILTI PROFIS Rebar Bemessungssoftware. Bei der Bemessung wird nach den Regeln des Stahlbetonbaus von einer ausschließlich axialen Zugbeanspruchung des Bewehrungsstabs ausgegangen. Nachfolgend werden die einzelnen Nachweise im Detail beschrieben.

(a) Stahlfließen

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,y}$ eines Bewehrungsstabs ergibt sich aus

$$N_{Rk,y} = A_s \cdot f_{yk} \quad [N] \quad (1)$$

mit:

- A_s Spannungsquerschnitt aller zugbelasteten, nachträglich installierten Bewehrungsstäbe [mm²]
- f_{yk} charakteristische Streckgrenze der Bewehrung [N/mm²]

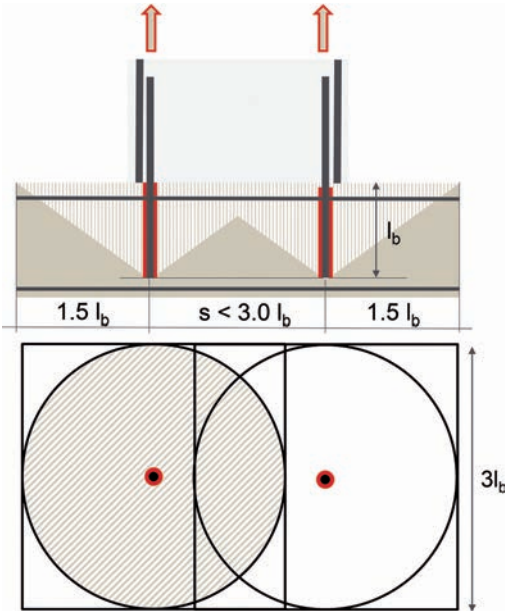


Bild 6 Einfluss des Achsabstands auf die Form des Betonausbruchkörpers bei zugbeanspruchten Zweiergruppen von Bewehrungsstäben
Influence of the centre distance on the shape of the concrete cone breakout body with tension-loaded groups of two rebars

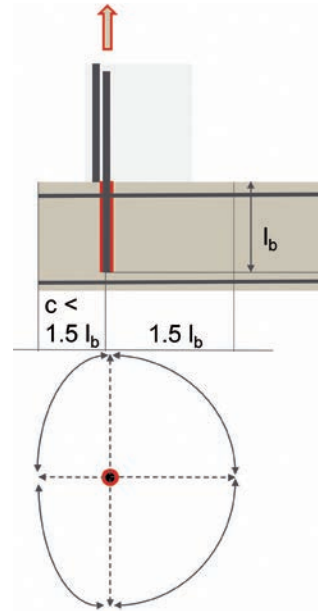


Bild 7 Einfluss des Rands auf den Kräfteverlauf im Bereich eines durch eine Zuglast beanspruchten, nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstabs (schematisch)
Influence of the edge distance on the force distribution in the area of a post-installed rebar subjected to a tensile load (schematic)

Ist der charakteristische Widerstand des Betons kleiner als der Wert für Stahlfließen, versagt die Verbindung durch einen sprödes Betonversagen. Wird ein duktiler Versagen der Verbindung gefordert, muss durch entsprechende Anpassung der Bewehrungsanordnung das Kriterium $N_{Rd,c} \geq N_{Rd,y}$ sichergestellt werden. EOTA TR 069 [6] empfiehlt Stahlfließen als maßgebende Versagensart, um ein duktiler Verhalten der Verankerung zu gewährleisten. Das sollte bei der Bemessung auch angestrebt werden.

(b) Betonausbruch

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,c}$ eines einzelnen Bewehrungsstabs bzw. einer Gruppe von Bewehrungsstäben unter Zugbeanspruchung wird analog zu nachträglichen Befestigungsmitteln nach EN 1992-4 [7] ermittelt:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N} \text{ [N]} \quad (2)$$

Der charakteristische Widerstand $N_{Rk,c}^0$ eines Bewehrungsstabs mit großem Achs- und Randabstand im gerissenen oder ungerissenen Beton ergibt sich aus Gl. (3).

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot f_{ck}^{0,5} \cdot l_b^{1,5} \quad (3)$$

mit:

k_1 Vorfaktor für gerissenen oder ungerissenen Beton, welcher der entsprechenden ETA entnommen werden kann

Der geometrische Einfluss von Achs- und Randabständen auf den charakteristischen Widerstand wird durch den Verhältnswert $A_{c,N} / A_{c,N}^0$ berücksichtigt (Bild 6).

mit:

$A_{c,N}^0$ projizierte Fläche eines einzelnen Bewehrungsstabs mit großem Achs- und Randabstand auf der Beton-

oberfläche; dabei wird der Ausbruchkörper als Pyramide mit einer Höhe l_b und mit einer Länge der Basisseiten $s_{cr,N} = 3 l_b$ idealisiert $= 9 l_b^2$

$A_{c,N}$ vorhandene projizierte Fläche des Ausbruchkörpers der Verankerung auf der Betonoberfläche; sie wird begrenzt durch die Überschneidung der einzelnen Ausbruchkörper benachbarter Bewehrungsstäbe ($s \leq s_{cr,N}$) sowie durch Bauteilränder ($c \leq c_{cr,N}$)

$s_{cr,N} = 3 l_b$ bzw. $c_{cr,N} = 1,5 l_b$, erforderlicher Achsabstand bzw. Randabstand zur Sicherstellung eines vollständigen Ausbruchkörpers [mm]

l_b Verankerungslänge des nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstabs im Bestandsbauteil

Der Einflussfaktor $\psi_{s,N}$ berücksichtigt die Störung des rotationssymmetrischen Spannungszustands im Beton durch Bauteilränder (Bild 7). Bei mehreren Bauteilrändern (z. B. bei Bewehrungsstäben in der Bauteilecke oder in einem schmalen Bauteil) ist der kleinste Randabstand c einzusetzen.

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1,0 \text{ [-]} \quad (4)$$

mit:

$c_{cr,N} = 1,5 l_b$ [mm]

c Randabstand zum nächsten Rand, gemessen vom Zentrum des Bewehrungsstabs

Der Einflussfaktor $\psi_{ec,N}$ berücksichtigt die Exzentrizität der resultierenden Zugbeanspruchung einer Gruppe nachträglich installierter Bewehrungsstäbe.

$$\psi_{ec,N} = 1 / (1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,N}) \leq 1,0 \text{ [-]} \quad (5)$$

mit: $s_{cr,N} = 3 \cdot l_b$

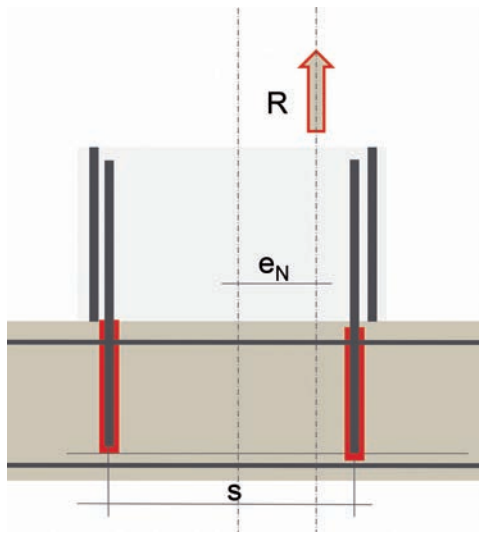


Bild 8 Berücksichtigung der Exzentrizität der äußeren Last nach EOTA TR 069
Considering the eccentricity of the applied external load according to EOTA TR 069

Dabei ist e_N die Ausmitte der resultierenden Zugkraft (vgl. Bild 8) der zugbeanspruchten Bewehrungsstäbe von deren geometrischem Schwerpunkt. Sie ist aus den berechneten Stahlzugkräften zu bestimmen. Liegt eine Ausmitte in zwei Achsrichtungen vor, ist $\psi_{ec,N}$ für jede Achsrichtung getrennt zu ermitteln und das Produkt aus beiden Faktoren zu verwenden.

Der Widerstand gegen Betonausbruch kann ungünstig beeinflusst werden, wenn sich die Verbundspannungen der Oberflächenbewehrung mit den Zugspannungen der nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäbe überlagern. Dieser Effekt wird durch den Schalenabplatzfaktor berücksichtigt, welcher speziell bei dichter Bewehrungsführung und geringer Einbindetiefe (< 100 mm) der nachträglichen Bewehrung zu einer Reduktion des Betonausbruchwiderstands führt (Gl. 6). Ist in dem Bereich der Bewehrungsstäbe eine Bewehrung mit einem Achsabstand ≥ 150 mm bzw. ≥ 100 mm und Durchmesser ≤ 10 mm vorhanden, darf unabhängig von der Verankerungstiefe ein Schalenabplatzfaktor $\psi_{re,N} = 1$ eingesetzt werden.

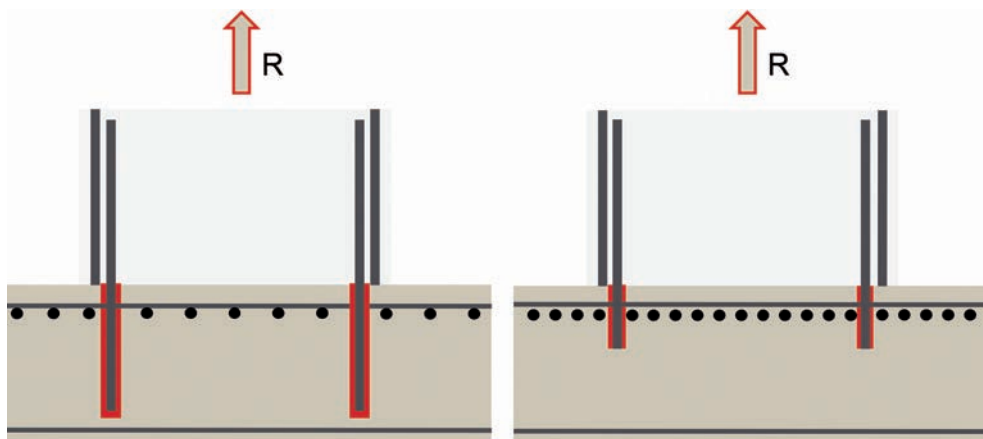


Bild 9 Ungünstige Beeinflussung der Betonausbruchlast
Negative influence on the concrete cone breakout load

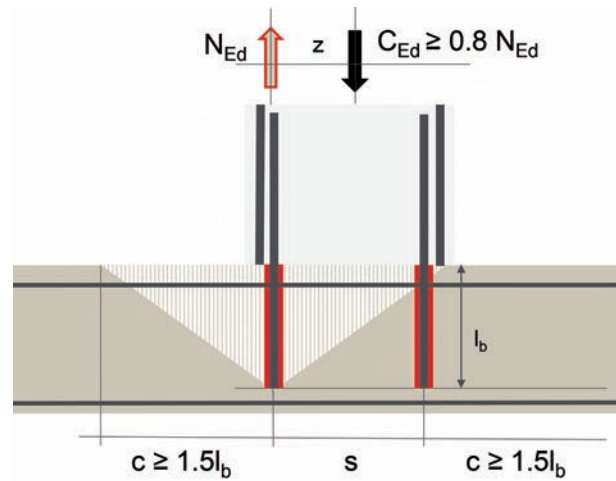


Bild 10 Einfluss eines an der Verbindung angreifenden Biegemoments auf die Betonausbruchlast der zugbeanspruchten Bewehrungsstäbe
Influence of a bending moment acting on the connection on the concrete break-out load of the tensile stressed reinforcing bars

$$\psi_{re,N} = 0,5 + l_b/200 \leq 1,0 [-] \quad \text{mit: } l_b \text{ [mm]} \quad (6)$$

Bei einem an dem Bauteil angreifenden Biegemoment entsteht ein Kräftepaar, bestehend aus einer Zugkraft in den Bewehrungsstäben und einer Druckkraft in der Verbindungsfuge. Überschreitet die Zugkraft die Betontragfähigkeit, kommt es zu einem Betonausbruch. Dabei kann die Betonausbruchlast durch eine auftretende Druckkraft in der Verbindungsfuge positiv beeinflusst werden. Bei einem geringen inneren Hebelarm der Kräfte wird der Betonausbruch durch die Druckkraft behindert (Bild 10). Dadurch steigt die Betonausbruchlast an. Der Anstieg ist umso größer, je geringer der Abstand zwischen den resultierenden Druck- und Zugkräften ist. Er wird wie folgt rechnerisch berücksichtigt:

$$\psi_{M,N} = 2,0 - z/1,5 l_b \geq 1,0 [-] \quad (7)$$

mit:
 z Hebelarm zwischen der resultierenden Zugkraft und Druckkraft im Verbindungsquerschnitt der Stahlbetonbauteile aufgrund einer Momentenbeanspruchung, berechnet auf Basis der Elastizitätstheorie

$\psi_{M,N} = 1,0$, wenn der minimale Randabstand $c \leq 1,5 l_b$ ist, oder wenn das Verhältnis bei Verankerungen mit $c \geq 1,5 l_b$ zwischen Druck- (C_{Ed}) und Zugeinwirkungen (N_{ed}) in der Fuge zwischen altem und neuem Bauteil kleiner als 0,8 ist

(c) Verbundversagen und Spaltversagen

Das Verbundversagen lässt sich in Spaltrissversagen, Versagen durch Spalten des Betons sowie in das Scherbruchversagen, Abscheren der Mikrokonsolen zwischen Mörtel und Bohrlochwand eingemörtelter Bewehrungsstäbe mit anschließendem Herausziehen des Bewehrungsstabs einteilen. Die Verbundkräfte breiten sich in Richtung der stahlabgewandten Seite trichterförmig in den umgebenden Beton aus. Ist eine nicht ausreichende beziehungsweise geringe Betondeckung vorhanden oder fehlt eine Querbewehrung, können die Längsrisse die Betonoberfläche erreichen. Die Verbundspannung nimmt ab und es kommt zum Verbundversagen infolge Spalten des Betonkörpers. Bei ausreichend hoher Betondeckung kann Spalten des Betons vermieden werden. In diesem zweiten Fall kommt es bei weiterer Laststeigerung zum Herausziehen des Bewehrungsstabs infolge Abscherens der Mikrokonsolen, wobei sich um den Bewehrungsstab mit Mörtel eine glatte Bruchfläche ausbildet. Dieses Verhalten kann durch Verbundspannungs-Relativverschiebungsmodelle unter Berücksichtigung verschiedenster Parameter bzw. Verbund-Spalt-Beziehungen beschrieben werden. Die Ermittlung dieser Beziehung ist wesentlicher Bestandteil der Qualifizierung nach EAD 332402-00-0601 [8].

Der charakteristische Widerstand eines Einzelbewehrungsstabs für die Versagensart Verbund- und Spaltversagen ist für jeden zugbelasteten Bewehrungsstab wie folgt zu berechnen: Wird die Gruppe exzentrisch belastet oder die Randabstände c_{min} und c_{max} sind unterschiedlich für einzelne Bewehrungsstäbe einer Gruppe, dann muss der Widerstand für jeden einzelnen Bewehrungsstab separat berechnet werden.

$$N_{Rk,sp} = \tau_{Rk,sp} \cdot l_b \cdot \emptyset \cdot \pi \text{ [N]} \quad (8)$$

mit:

$$\begin{aligned} \tau_{Rk,sp} &= \eta_1 \cdot A_k \cdot (f_{ck}/25)^{sp1} \cdot (25/\emptyset)^{sp2} \cdot [(c_d/\emptyset)^{sp3} \cdot \\ & (c_{max}/c_d)^{sp4} + k_m \cdot K_{tr}] \cdot (7 \emptyset/l_b)^{lb1} \cdot \Omega_{p,tr} \\ &\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr} \cdot \Omega_{p,tr} \cdot \psi_{sus}, \text{ wenn } 7 \emptyset \leq l_b \leq 20 \emptyset \text{ [N/mm}^2\text{]} \\ &\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot (20 \emptyset/l_b)^{lb1} \cdot \Omega_{cr} \cdot \Omega_{p,tr} \cdot \psi_{sus}, \text{ wenn } l_b > 20 \emptyset \\ &\text{ [N/mm}^2\text{]} \end{aligned}$$

Die folgenden Faktoren sind in der entsprechenden ETA des Systems angegeben:

A_k	Anpassungsfaktor; sp1, sp2, sp3, sp4 und lb1 = Anpassungsexponenten nach ETA [-]
$\tau_{Rk,ucr}$	Verbundwiderstand in ungerissenem Beton als Obergrenze des Spaltwiderstands [N/mm ²]
Ω_{cr}	Abminderungsfaktor für den Verbundwiderstand, wenn gerissener Beton angenommen wird [-]
ψ_{sus}^0	Faktor zu Berücksichtigung von Dauerlasten [-]

η_1 Beiwert zur Berücksichtigung der Qualität der Verbundbedingungen bzgl. der Position der Bewehrungsstäbe während des Betoniervorgangs nach EN 1992-1-1
= 1,0 bei „guten Verbundbedingungen“
= 0,7 für alle anderen Fälle und Stäbe in Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt wurden

Eine ausreichende Umschnürungswirkung des Betons zur Aufnahme der Ringzugspannungen kann durch Einlegen einer entsprechenden Querbewehrung in Form von geschlossenen Bügeln oder Schlaufen erfolgen. Der Faktor k_m (= 12; 6; 0) berücksichtigt die Wirksamkeit einer vorhandenen Querbewehrung nach fib Model Code 2010 [10] in Abhängigkeit vom Abstand des Bewehrungsstabs vom Schenkel der Querbewehrung (a_i), der Betondeckung (c_y), den Stababständen (c_s). K_{tr} berücksichtigt den Bewehrungsgrad einer vorhandenen Querbewehrung, die einen möglichen Spaltriss kreuzt, er berechnet sich wie folgt:

$$K_{tr} = (n_t \cdot A_{st}) / (n_b \cdot \phi \cdot s_b) \leq 0,05 \quad [-] \quad (9)$$

mit:

- n_t Anzahl der umschnürenden Schenkel, die einen möglichen Spaltriss kreuzen [-]
- A_{st} Querschnitt eines Bügelschenkels [-]
- n_b Anzahl der verankerten nachträglichen Bewehrungsstäbe innerhalb der möglichen Spaltfläche [-]
- s_b Abstand der umschnürenden Bewehrung [mm]

Ringdruckspannungen wirken sich günstig auf das Verbundverhalten aus, weil sie die Längsrissbildung reduzieren bzw. verhindern. Dieser Spannungszustand entsteht z.B. durch von außen aufgebrachtem Querdruck. Senkrecht zur Stabachse wirkender Querdruck p_{tr} kann mit dem Faktor $\Omega_{p,tr}$ nach EOTA TR 069 [6] berücksichtigt werden. Im Falle von gerissenem Beton ist $\Omega_{p,tr}$ zu vernachlässigen:

$$\Omega_{p,tr} = 1,0 - (0,3 \cdot p_{tr} / f_{ctm}), \text{ wenn } 0 \leq p_{tr} \leq f_{ctm} \text{ (Zug)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Omega_{p,tr} &= 1,0 - \tanh[0,2 \cdot p_{tr} / (0,1 \cdot f_{cm})], \\ &\text{ wenn } f_{cm} \leq p_{tr} \leq 0 \text{ (Druck)} \end{aligned} \quad (11)$$

mit:

- f_{cm} und f_{ctm} nach EN 1992-1-1 [4]
- p_{tr} ist als mittlere Spannung im Beton (senkrecht zur Stabachse) über ein Volumen um den Bewehrungsstab mit einem Durchmesser $3 \emptyset$ zu ermitteln

Kunsthharze weisen aufgrund ihrer viskoelastischen Eigenschaften einen Unterschied in der Festigkeit bei kurzzeitiger und langeinwirkender Beanspruchung auf. Das Zeitstandverhalten von Injektionssystemen für nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe wird in der Produktqualifizierung bei ausgewählten Dauerlasten untersucht. Diesem Effekt wird durch den Faktor ψ_{sus} Rechnung getragen, welcher sowohl vom verwendeten Produkt

als auch vom Verhältniswert der dauerhaft wirkenden Last zur Gesamtbelastung abhängt:

$$\psi_{\text{sus}} = 1, \text{ wenn } \alpha_{\text{sus}} \leq \psi_{\text{sus}}^0 \quad [-]$$

$$\psi_{\text{sus}} = \psi_{\text{sus}}^0 + 1 - \alpha_{\text{sus}}, \text{ wenn } \alpha_{\text{sus}} > \psi_{\text{sus}}^0 \quad [-]$$

mit:

ψ_{sus}^0 produktabhängiger Faktor, der den Einfluss einer dauerhaft wirkenden Last auf die Verbundfestigkeit berücksichtigt; er ist der entsprechenden ETA zu entnehmen; liegt kein Wert für ψ_{sus}^0 vor, so gilt $\psi_{\text{sus}}^0 = 0,6$ (EN 1992-4 [7])

α_{sus} beschreibt den Verhältniswert der dauerhaft wirkenden Last zur Gesamtbelastung für den Grenz-zustand der Tragfähigkeit

Die mittels der vorgestellten Widerstandswerte berechnete Verankerungslänge l_b nach EOTA TR 069 [6] darf nicht kleiner als der Wert der minimalen Verankerungstiefe $l_{b,\text{min}}$ nach EN 1992-1-1 [4] und/oder deren nationalen Anhänge sein. Wenn keine anderslautenden Anforderungen anzuwenden sind, sollte l_b mindestens dem Wert von $l_{b,\text{min}}$ nach EN 1992-1-1 [4] entsprechen.

4 Exemplarischer Vergleich von Bemessungsergebnissen nachträglich installierter Bewehrungsanschlüsse nach EN 1992-1-1 und EOTA TR 069

Bild 11 zeigt die Bemessung eines nachträglichen biege-steifen Decke-Wand-Anschlusses mithilfe einer nachträglich installierten Bewehrung. Die Bemessung nach EOTA TR 069 erfordert im Gegensatz zur Bemessung nach EN 1992-1-1 keine Übergreifungsbewehrung in der Stahlbetonwand. Darüber hinaus führt die Bemessung nach EN 1992-1-1 aufgrund der geringeren Verbundspan-

nungen im Vergleich zu EOTA TR 069 zu deutlich größeren Verankerungslängen und in dem dargestellten Bei-spiel zu keiner rechnerischen Lösung für eine Wandstär-ke von 300 mm. Die Bemessung nach EOTA TR 069 bietet aufgrund der höheren rechnerischen Verbundspan-nungen eine Lösung zur Verankerung bei einer Wand-stärke von 300 mm und hat darüber hinaus den Vorteil, dass zur Ausführung einer biegesteifen Verbindung keine im Bestandsbauteil eingelegte Übergreifungsbewehrung erforderlich ist. Speziell im Bestandsbau stellt das einen entscheidenden Vorteil dar. Die genannten Vorteile der Bemessung nach EOTA TR 069 treffen auch auf das zwei-te Beispiel eines nachträglichen biegesteifen Wand-Fun-dament-Anschlusses in Bild 12 zu. Es ergeben sich nach EOTA TR 069 geringere Einbindetiefen und auch in die-sem Fall ist keine Übergreifung der nachträglichen Be-wehrung zu einer vorhandenen Bügelbewehrung im Fun-dament gefordert. Die Beispielrechnungen wurden mit der HILTI PROFIS Rebar Bemessungssoftware durchge-führt. Die Berechnung beim Nachweis nach EOTA TR 069 [6] erfolgt durch einen iterativen Prozess unter Berücksichtigung der im Rahmen von EOTA TR 069 definierten Bemessungskriterien.

5 Weiterführende Nachweise außerhalb der Regelungen nach EOTA TR 069

Die Übertragung von Querkräften zwischen vorhande-nem und neuem Betonbauteil ist gemäß EOTA TR 069 [6] nach EN 1992-1-1 [4] nachzuweisen. Zusätzlich sind ge-gebenenfalls karbonatisierte Betonoberflächen des beste-henden Betons vor dem Anschluss des neuen Stabs im Bereich des nachträglichen Bewehrungsstabs mit dem Durchmesser von $d_s + 60$ mm zu entfernen. Die Tiefe des zu entfernenden Betons muss mindestens der Mindestbe-tondeckung für die entsprechende Expositions-klasse nach EN 1992-1-1 [4] betragen.

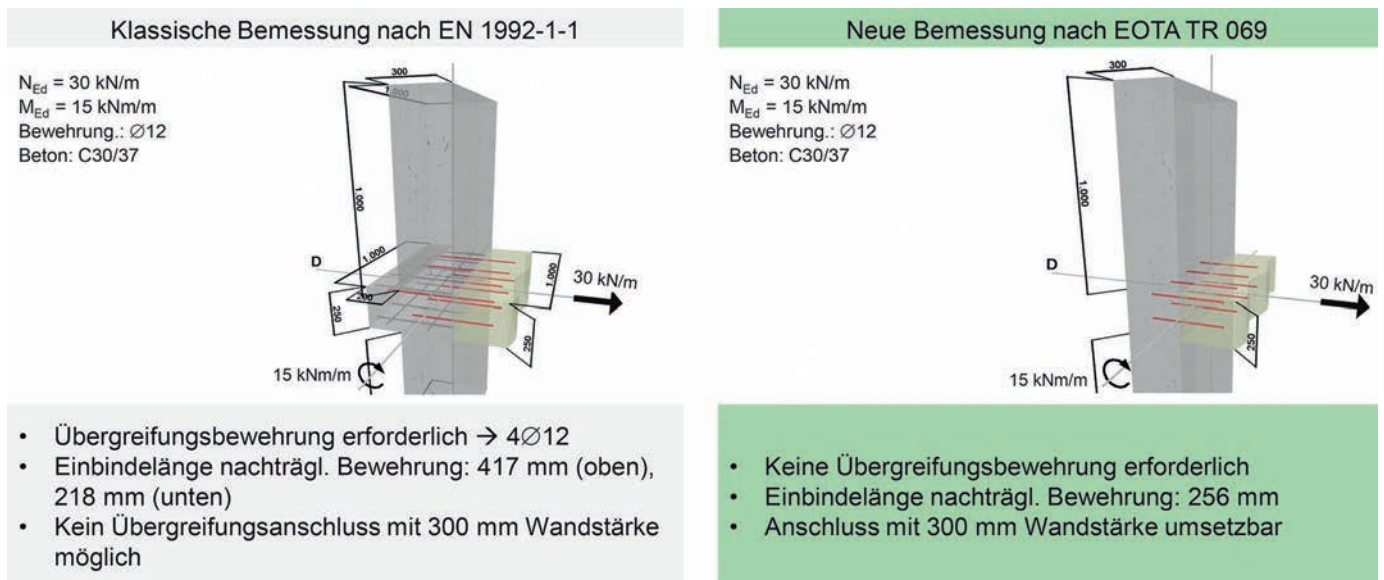
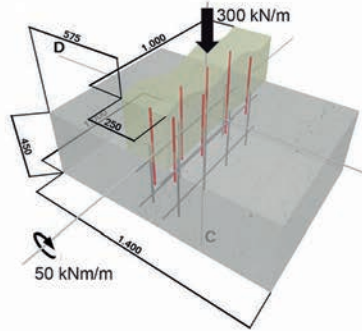


Bild 11 Bemessung eines nachträglichen biegesteifen Decke-Wand-Anschlusses nach EN 1992-1-1 [4] und EOTA TR 069 [6] im Vergleich
 Design comparison of a post installed rebar slab to wall connection according to EN 1992-1-1 [4] and EOTA TR 069 [6]

Klassische Bemessung nach EN 1992-1-1

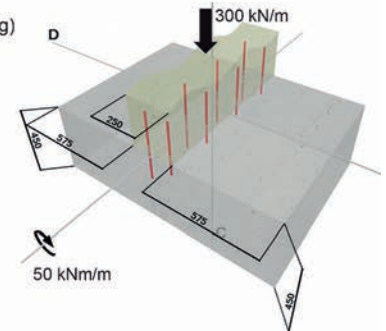
$N_{ed} = -300 \text{ kN/m}$ (Druckbelastung)
 $M_{ed} = 50 \text{ kNm/m}$
 Bewehrung.: $\varnothing 12$
 Beton: C30/37



- Übergreifungsbewehrung erforderlich! $4\varnothing 12$
- Einbindelänge nachträgl. Bewehrung: 344 mm (links) und 130 mm (rechts)

Neue Bemessung nach EOTA TR 069

$N_{ed} = -300 \text{ kN/m}$ (Druckbelastung)
 $M_{ed} = 50 \text{ kNm/m}$
 Bewehrung.: $\varnothing 12$
 Beton: C30/37



- Keine Übergreifungsbewehrung erforderlich!
- Einbindelänge nachträgl. Bewehrung: 232 mm (links), 130 mm (rechts)

Bild 12 Bemessung eines nachträglichen biegesteifen Wand-Fundament-Anschlusses nach EN 1992-1-1 [4] und EOTA TR 069 [6]
 Design comparison of a post installed rebar wall to foundation connection according to EN 1992-1-1 [4] and EOTA TR 069 [6]

Während die notwendigen Maßnahmen in EOTA TR 069 [6] zur Querkraftübertragung mittels aufgerauter Fuge mit Verweis auf EN 1992-1-1 [4] klar erläutert sind, fehlen in EOTA TR 069 [6] Hinweise zur Fragestellung der Lastweiterleitung. Der Nachweis der örtlichen Einleitung der Lasten in das Bauteil bzw. den Ankergrund ist durch die Anwendung des EOTA TR 069 erbracht. Die Weiterleitung der zu verankernden Lasten im Bestandsbauteil als auch Neubauteil ist nach EN 1992-1-1 nachzuweisen. Wie das im Detail zu erfolgen hat ohne Übergreifungsbewehrung im Bestandsbauteil wird nicht explizit in EOTA TR 069 definiert.

Nach EN 1992-1-1 [4] wird vorausgesetzt, dass „angehängte“ Lasten (d. h. Verankerung in der Zugzone) durch eine vorliegende Rückhängebewehrung in die lastabgewandte Bauteilseite bzw. die Druckzone zu leiten und dort zu verankern sind. Bei biegesteifen Stahlbetonverbindungen in Form eines nachträglichen Bewehrungsanschlusses, die nach TR 069 [6] bemessen werden, werden die Lasten eventuell in der Betonzugzone eingeleitet, wobei eine Rückhängebewehrung in vielen Fällen eventuell nicht vorliegt. Um das Tragverhalten des als Ankergrund dienenden Bestandsbauteils nicht ungünstig zu beeinflussen, sind eventuell zusätzliche Nachweise, wie sie bei Befestigungssystemen geführt werden, erforderlich. Die zusätzlichen Nachweise könnten EN 1992-4 [7] Anhang A entnommen werden und sollen im Rahmen dieser Veröffentlichung als Diskussionsgrundlage verstanden werden.

Unter der Annahme, dass die Bedingungen des Nachweises der örtlichen Lasteinleitung in der Zugzone eines Bauteils nach EN 1992-4 [7] Anhang A für nachträgliche Bewehrungsanschlüsse nach EOTA TR 069 [6] übertragen werden können, könnte auf den Nachweis der örtlichen Lasteinleitung verzichtet werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt wäre:

- Die Schubbeanspruchung im Bauteil unter Bemessungseinwirkung und unter Berücksichtigung der durch die eingemörtelten Bewehrungsstäbe eingeleiteten Lasten beträgt:
 $V_{Ed} \leq 0,8 V_{Rd,c}$ für Bauteile ohne Schubbewehrung
 $V_{Ed} \leq 0,8 \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$ für Bauteile mit Schubbewehrung
 mit $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,s}$, $V_{Rd,max}$ nach EN 1992-1-1 [4]
- Die rechnerische Verankerungstiefe beträgt $l_b \geq 0,8 \cdot h$.
- Eine Rückhängebewehrung ist vorhanden.

Weiterführende Regelungen, falls eine der optionalen Regelungen a) bis c) nicht erfüllt wird, sind in EN 1992-4 [7] Anhang A oder [12] gegeben. Naturgemäß kann es auch Fälle geben, wo EOTA TR 069 nicht oder gegebenenfalls nur eingeschränkt angewendet werden kann.

6 Zusammenfassung

Der neue technische Bericht EOTA TR 069 definiert einen neuen Stand der Technik für einen bislang nicht geregelten und entscheidenden Anwendungsbereich nachträglicher Bewehrungsanschlüsse mit einem klaren Nachweiskonzept und einem speziell für diese Anwendungsbereiche definierten Qualifizierungsprogramm der zu verwendenden Mörtelsysteme. Entscheidend für eine Bemessung nach EOTA TR 069 ist, dass das verwendete Mörtelsystem eine ETA nach EAD 332402-00-0601 trägt (wie z. B. HILTI HIT-HY 200-R V3). Unter Berücksichtigung des Umfangs der zu führenden Nachweise nach EOTA TR 069 ist eine entsprechende Bemessungssoftware zielführend, um die technisch mögliche und wirtschaftlichste Lösung schnell zu ermitteln (z. B. HILTI PROFIS Rebar). Im Rahmen dieses Beitrags wurden neben den Erklärungen zum Qualifizierungsprogramm und den Bemessungsschritten nach EOTA TR 069 Empfehlungen für weiterführende Bauteilnachweise gegeben, die außerhalb der Regelungen nach EOTA TR 069

liegen. Die dargestellten Beispielrechnungen von biegesteifen Beton-Beton-Verbindungen zeigen, welche positiven Auswirkungen eine Bemessung nach

EOTA TR 069 auf die Wirtschaftlichkeit und Ausführbarkeit von nachträglich installierten Stahlbetonverbindungen haben kann.

Literatur

- [1] EOTA Technical Report TR 023 (2006) *Assessment of post-installed rebar connections*. November 2006.
- [2] EOTA European Assessment Document EAD 330087-00-0601 (2018) *Systems for post-installed rebar connections with mortar*. May 2018.
- [3] Fuchs, W.; Hofmann, J. (2020) *Nachträgliche Bewehrungsanschlüsse. Vorschriften – Grundlagen für ihre sichere Verwendung?* in: *Beton- und Stahlbetonbau* 115, H. 7, S. 523–531. <https://doi.org/10.1002/best.202000006>
- [4] DIN EN 1992-1-1 (2011) *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*. Januar 2011.
- [5] Spieth, H. A. (2002) *Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben*. Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- [6] EOTA Technical Report TR 069 (2019) *Design method for anchorage of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behavior as compared to EN 1992-1-1*. October 2019.
- [7] DIN EN 1992-4 (2019) *Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton; Deutsche Fassung EN 1992-4:2018*. April 2019.
- [8] EOTA European Assessment Document EAD 332402-00-0601 (Pending for citation in OJEU) *Post-installed reinforcing bar (rebar) connections with improved bond-splitting behaviour under static loading*.
- [9] DIN EN 206 (2017) *Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A1:2016*. Januar 2017.
- [10] fib Model Code for concrete structures 2010 (2013). Ernst & Sohn.
- [11] Rex, J.; Sharma, A.; Hofmann, J.: A new test specimen to investigate the bond behavior of post-installed reinforcing bars, *Structural Concrete* 2018, 1–14, Wiley fib.
- [12] Reuter, M.; Eligehausen, R. (1992) *Einfluss der Lasteinleitung durch Befestigungen auf die Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen* in: *Bauingenieur* 67, S. 461–474.

Autoren



Dr. techn. Patrick Wörle (Korrespondenzautor)
patrick.woerle@hilti.com
Hilti Deutschland AG
Hiltistraße 2
86916 Kaufering



Dr.-Ing. Giovacchino Genesio
giovacchino.genesio@hilti.com
Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH
Hiltistraße 6
86916 Kaufering



Dr.-Ing. Jörg Appl
joerg.appl@hilti.com
Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH
Hiltistraße 6
86916 Kaufering

Zitieren Sie diesen Beitrag

Wörle, P.; Appl, J.; Genesio, G. (2020) *Bewehrungsanschlüsse für momententragfähige Verbindungen nach EOTA TR 069*. *Beton- und Stahlbetonbau* 115, H. 11, S. 887–896. <https://doi.org/10.1002/best.202000057>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 27. Juli 2020; angenommen: 18. September 2020.