Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 9

Artikel: Dynamisch belastete Befestigungen in Betonuntergründen
Autor: Kunz, Jakob / Gassner, Helmut / Wisser, Erich K.R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79700

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Jakob Kunz, Helmut Gassner, Erich K.R. Wisser, Schaan

Dynamisch belastete Befestigungen in Betonuntergründen

Ein vollständiges Bemessungskonzept für Befestigungen von Tragkonstruktionen in Betonuntergründen unter Ermüdungs-, Erdbeben- und Schocklasten wird vorgestellt. Nach einer Beschreibung der möglichen Einwirkungen und Widerstände sowie des Sicherheitskonzepts wird auf das Verhalten von Befestigungen unter dynamischen Einwirkungen eingegangen. In der nachfolgenden Bemessungsrichtlinie sind die erforderlichen Angaben, Formeln und Nachweise zusammengestellt. Das Konzept zeigt, dass ermüdungsbeanspruchte Befestigungen immer durch Ermüdung des Stahls und nicht des Untergrundes versagen. Durch Vorspannen kann das Verhalten deutlich verbessert werden. Nach einem Überblick über die Vielzahl der dynamischen Versuche für Befestigungen wird ein Ausblick auf die weitere Forschung geboten.

Die in diesem Beitrag hergeleiteten Modelle entsprechen dem aktuellen Stand des Wissens. Mangels genauerer Kenntnisse sind sie stark vereinfacht und zum Teil weit auf der sicheren Seite. Doch dem Anwender wird zum ersten Mal eine nachvollziehbare Grundlage für die Bemessung in die Hand gegeben.

Mögliche Einwirkungen und Widerstände

Dynamische Einwirkungen grenzen sich gegenüber statischen und veränderlichen, quasistatischen dadurch ab, dass induzierte Beschleunigungen Trägheits- und Dämpfungskräfte aktivieren. In der Praxis hat sich die in Bild 1 dargestellte Einteilung hinsichtlich Häufigkeit des Auftretens in Ermüdung, Erdbeben und Schock als sinnvoll erwiesen. Nach dem zeitlichen Verlauf der Einwirkung ist folgende Unterscheidung üblich:

- harmonische Einwirkungen: schwingen sie um den Nullpunkt, nennt man sie Wechsellasten, ansonsten Schwellasten; sie werden z.B. durch rotierende Maschinen verursacht;
- periodische Einwirkungen: regelmässig wiederkehrende, beliebige Lasten, wie sie z.B. von Stanz- oder Textilmaschinen hervorgerufen werden;
- stochastische Einwirkungen: nicht periodisch auftretende Lasten, wie sie bei Erdbeben, Schienen- und Strassenverkehr zu beobachten sind;
- stossartige Einwirkungen: sie dauern nur kurz, z.B. bei Aufprall von Fahrzeugen, Steinschlag, Explosion oder Schliessen von Schnellschlussventilen

Ermüdungsrelevante Einwirkungen können harmonische, periodische oder stochastische Form haben. Auf der Widerstandsseite nehmen bei den Befestigungselementen mit steigender Anzahl der Lastwechsel und zunehmender Grösse der Spannungsänderungen die Festigkeitswerte ab und es tritt Stahlversagen durch Ermüdung auf.

Als grafische Darstellung der Abhängigkeit zwischen Mittelspannung σ_m und jeweils dauerfest ertragener Spannungsamplitude σ_A hat sich das Smith-Diagramm durchgesetzt (Bild 2). Betonermüdung konnte trotz gezielten Versuchen nicht verifiziert werden.

Bei Erdbeben- und Schockeinwirkung wird dem Tagwerk in kurzer Zeit eine enorme Energie zugeführt. Im Falle von Erdbeben geschieht dies durch Bewegung des Untergrunds in wenigen Zyklen. Bei Schocklasten wirkt ein einziger Stoss.

Die Befestigungselemente auf der Widerstandsseite sind jedoch sehr steif ausgelegt, um gute Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten. Sie können vergleichsweise nur wenig Energie dissipieren (Bild 3). Es empfiehlt sich daher, die Energieaufnahme dem Tragwerk mit seinen plastischen Verformungsmöglichkeiten zuzuweisen und den Beitrag der Befestigungselemente an der Energiedissipation zu vernachlässigen. Dadurch liegt man meistens auf der sicheren Seite.

Sicherheitskonzept

Nach den derzeit gebräuchlichen Bemessungskonzepten (z.B. Eurocodes [1]) gilt eine Befestigung als ausreichend, wenn ihr charakteristischer Widerstand R (5%-Fraktilwert) geteilt durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M für die material- und systemabhängige Berücksichtigung des Unterschieds Labor-/Baustellenverhältnisse grösser oder gleich ist dem charakteristischen Wert der Einwirkungen S (95%-Fraktilwert) multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F für die Einwirkungen und deren Überlagerung (Bild 4).

Die charakteristischen Werte des Widerstands von Befestigungselementen bzw. deren Bemessungswerte können Handbüchern entnommen werden.

Dynamische Einwirkungen und Bedeutung der Vorspannkraft

Der Widerstand einer Befestigung wird beeinflusst von

- Konstruktionsmerkmalen, wie
  - d: Nenndurchmesser
  - A_s: massgebender Spannungsquerschnitt
  - W_s: massgebendes Widerstandsmoment
  - f_{yk}: charakteristische Streckgrenze des verwendeten Stahls
  - $\gamma_{M,f}$: Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungsmittel unter Ermüdungslasten gemäss Eurocode 3 [1]: $\gamma_{M,f} = 1{,}0$ bis 1.35 (1)
  - h_{eff}: effektive Setztiefe
  - Lasteinleitungsprinzip (Spreiz-, Hinterschnitt-, Klebedübel usw.)

1
Einteilung der dynamischen Einwirkungen

Einteilung	Ermüdung	Ermüdung bei wenigen Zyklen	Stoss, impulsartige Last
Häufigkeit des Auftretens, Lastwechselzahl	$10^3 < N < 10^8$	$10^1 < N < 10^4$	$1 < N < 20$
Dehngeschwindigkeit	$10^{-6} < \varepsilon' < 10^{-3}$	$10^{-5} < \varepsilon' < 10^{-2}$	$10^{-3} < \varepsilon' < 10^{-1}$
Beispiele	Verkehrslasten, Maschinen, Wind, Wellen	Erdbeben, künstliche Erdbeben	Stoss, Explosion, schlagartiges Bauteilversagen
	Ermüdung	**Erdbeben**	**Schock**

- Installation, besonders das beim Setzen aufgebrachte

M_d: Anziehdrehmoment

Die Umsetzung des Drehmoments in Vorspannkraft ist abhängig von den Reibungsverhältnissen im Dübel. In erster Näherung erhält man aus der im Maschinenbau anglophoner Länder üblichen Formel die mittlere Anfangs-Vorspannkraft [5]:

$$F^{\circ}_{B,m} = M_d/(k_u \cdot d) \quad (2)$$

k_u Aus Versuchen ermittelter Umsetzungsfaktor: näherungsweise $k_u = 0{,}3$ (3)

Aus der Streuung der Versuchswerte, die unter Baustellenbedingungen ermittelt wurden, errechnet sich der Bemessungswert der Anfangs-Vorspannkraft als:

$$F^{\circ}_{B,d} = 0{,}51 \cdot M_d/(k_u \cdot d) \quad (4)$$

Durch Relaxation des Stahls und vor allem das Kriechen des Betons wird die ursprünglich aufgebrachte Vorspannkraft abgebaut (Bild 5).

Durch Nachspannen in Intervallen kann der Abfall der Vorspannkraft etwas vermindert werden. Für die Bemessung des Befestigungselements darf jedoch nur die Langzeit-Vorspannkraft

$$F_{B,d} = 0{,}51 \cdot M_d \cdot k_\infty/(k_u \cdot d) \quad (5)$$

k_∞ Langzeitfaktor, vom Dübel abhängig, näherungsweise für kraftkontrolliert spreizende Dübel: $k_\infty = 0{,}3$ (6)
für Hinterschnittdübel: $k_\infty = 0{,}4$

in Rechnung gestellt werden. Bei gerissenem Beton fällt die Vorspannkraft im allgemeinen auf Null ab, darf also nicht berücksichtigt werden. Diese Angaben entsprechen dem aktuellen Wissensstand. Weitere Forschung wird aufzeigen, ob und welche hier noch versteckten Reserven nutzbar gemacht werden können.

Äussere Zuglast, Vorspannkraft und in der Schraube wirkende Kraft

Wie aus dem konstruktiven Stahlbau bekannt, hat die Vorspannkraft F_V einen wesentlichen Einfluss auf den Ermüdungswiderstand eines Befestigungselements. Sie reduziert nämlich bei Zug die äussere dynamische Betriebslast F_A auf den ermüdungsrelevanten Schraubenanteil F_{SA} (Bild 6).

Das Problem bei der Berechnung der auftretenden Schraubenkräfte besteht darin, dass das Verhältnis der Steifigkeit der vorgespannten Schraube zu jener der verspannten Teile (Mutter-Unterlagsscheibe-Kopfplatte-Betonuntergrund-Lasteinleitsystem im Bohrlochgrund) sehr schwer zu bestimmen ist ($s = S_{Schraube} / S_{verspannte\ Teile}$). Eigene Versuche ergaben:

$$0{,}1 \geq s \geq 0{,}33$$

Berechnungen mit einem speziell für Dübel entwickelten FE-Programm ergaben:

$$0{,}3 \geq s \geq 0{,}51$$

Eine überschlägige Rechnung mit der auf der sicheren Seite liegenden Vernachlässigung der Anschlussteile am Kopf und im Bohrlochgrund führte schliesslich rechnerisch zum Verhältnis der Steifigkeiten:

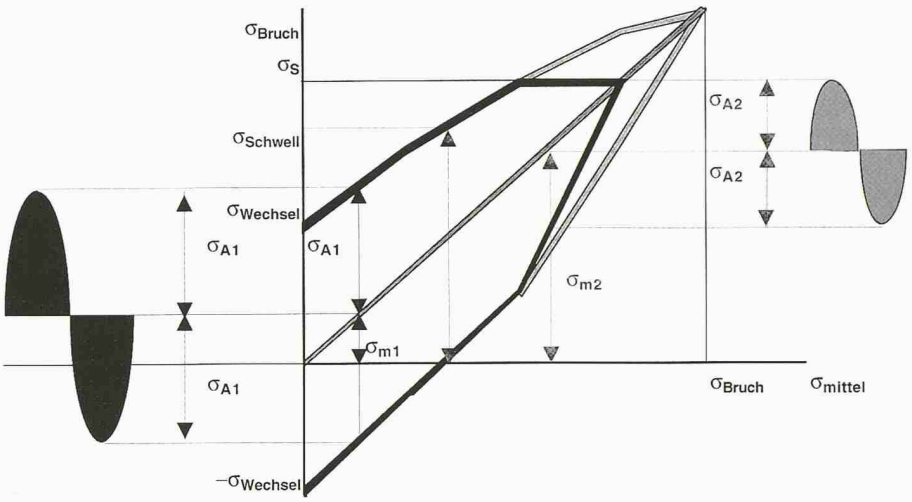
$$s = 0{,}67 \quad (7)$$

$S_{Schraube}$ Steifigkeit der vorgespannten Schraube

$S_{verspannte\ Teile}$ Steifigkeit der verspannten Teile

Gemäss Bild 6 erhält man die Schraubenkraft aus der äusseren Betriebslast F_A mit:

$$F_s = \text{WENN } \{F_A > (1+s) \cdot F_B; \text{ DANN } F_A; \text{ SONST } F_B + F_A \cdot s/(1+s)\} \quad (8)$$



2
Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith

Äussere Querkraft, Vorspannung und Schraubenkraft

Bei Befestigungselementen unter Querkraftbeanspruchung hat die Vorspannung einen entscheidenden Einfluss auf das Last-Verschiebungsverhalten, weil bei genügend grosser Vorspannung die Querkraft über Haftreibung in den Untergrund eingeleitet wird:

Bemessungswert des Reibungswiderstands

$$R_{v,d} = \mu \cdot F_{B,d} \quad (9)$$

μ: Reibungskoeffizient gemäss [2]

$$\mu = 0{,}4 \quad (10)$$

Bei zu geringer Vorspannkraft verschiebt sich der Dübel, bis er an der Bohrlochwand ansteht, was bei Wechsel-Querlasten zum sogenannten «Schlottern» und zu Biegbeanspruchungen in der Schraube führt:

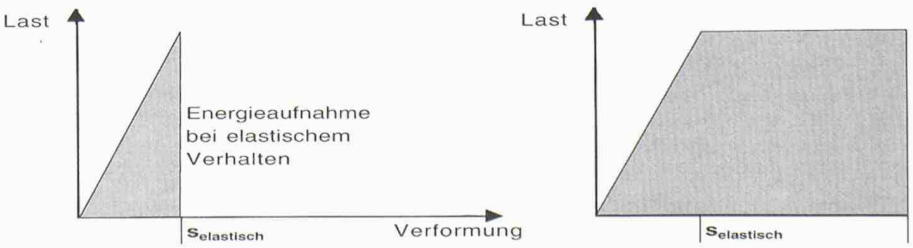
$$\text{Biegespannung: } \Delta\sigma = e \cdot \Delta F_{A,v} / W_s \quad (11)$$

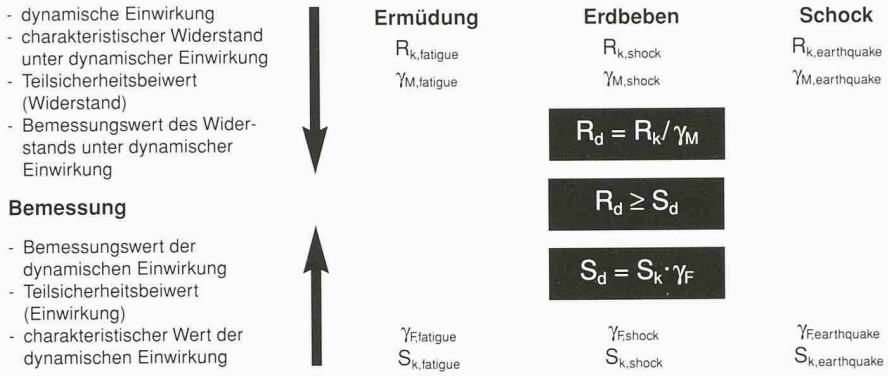
e Hebelarm der äusseren Querlast gemäss Bild 7

$\Delta F_{A,v}$ Schwingbreite der äusseren Querlast

Dübel mit Schubhülsen, die in das Anbauteil hineinragen und dadurch die Quer-

3
Möglichkeiten der Energieaufnahme





4
Sicherheitskonzept gemäss Eurocode

kraftbeanspruchung übernehmen, sind reinen Gewindestangen deutlich überlegen. Bei hohen dynamischen Querlasten empfiehlt es sich, Schubdorne anzuordnen, so dass die Dübel nur Zuglasten aus der Exzentrizität der äusseren Querkraft zur Einleitung in den Betonuntergrund übernehmen müssen.

Bemessung auf Ermüdung

Im Prinzip erfordert die Bemessung auf Ermüdung ein Smith-Diagramm für den ausgewählten Dübel, was bei den vielen Dübeltypen und -dimensionen einen enormen Versuchsaufwand bedeutete. Bei diesem Bemessungskonzept werden mit Hilfe von vereinfachten Annahmen durch Extrapolation der Versuchsdaten die Eckwerte bestimmt.

Lastannahme

Die Ermüdungsbeanspruchung wird als oftmals wiederholter Belastungswechsel zwischen minimaler und maximaler Einwirkung beschrieben (Bild 8). Daraus errechnen sich mit dem Neigungswinkel α zur Dübelachse die äussere Zug- und Querlast mit Ober-, Mittel-, Unterlast und Schwingbreite. Als Beispiel sei die Oberlast für die äussere Zuglast erwähnt:

$$F_{Ad,tmax} = F_{Ad,max} \cdot \cos\alpha \qquad (12)$$

Wahl des Befestigungselements

Neben den in den vorhergehenden Kapiteln genannten Werten müssen folgende Angaben für das Befestigungselement vorliegen:

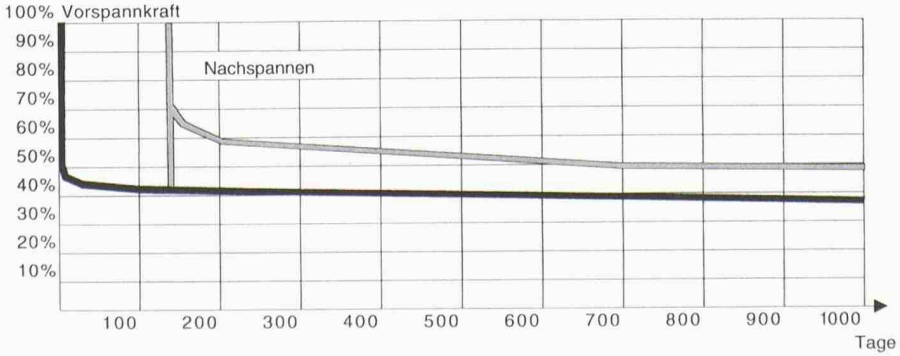
- N_{Rd}: Bemessungswert des Auszugswiderstands des Dübels
- V_{Rd}: Bemessungswert des Querlastwiderstands des Dübels
- $N_{Rd,\alpha}$: Bemessungswert des unter α geneigten Schrägzugwiderstands des Dübels

Die Werte sind den Handbüchern oder Bemessungsprogrammen zu entnehmen.

Nachweis für zentrischen Zug

Aus der Langzeitvorspannkraft F_{Vd} (5) und der äusseren Zuglast (12) werden mit Formel (8) die Bemessungswerte

5
Entwicklung der Vorspannkraft gemessen an einem Schwerlastdübel



$F_{Sd,tmax}$ obere Zuglast in der Schraube
$F_{Sd,tmin}$ untere Zuglast in der Schraube
$F_{Sd,tm}$ mittlere Zuglast in der Schraube
$= (F_{Sd,tmax} + F_{Sd,tmin})/2$ (13)

bestimmt. Der erste Nachweis lautet dann:

Bedingung 1: $N_{Rd} \geq F_{Sd,tmax}$ (14)

Jene Spannungsamplitude, die der Stahl unter 5×10^6 Lastwechseln erträgt, wird Dauerfestigkeit genannt. Eurocode 3 ordnet ermüdungsbeanspruchte Schrauben dem Kerbfall 36 zu, das heisst die 5%-Fraktile der ertragbaren Lastamplitude beträgt

bei 2×10^6 Lastwechseln: $\sigma_{Ak} = 18\ N/mm^2$ (15a)
bei 5×10^6 Lastwechseln: $\sigma_{Ak} = 13\ N/mm^2$

Damit deckt der Eurocode ein sehr breites Spektrum von Schrauben ab und legt sich auf die sichere Seite. Ist über die Qualität der Schraube Genaueres bekannt, so können realistischere Werte angesetzt werden. Untersuchungen von Wiegand [4] haben gezeigt, dass bei Schraubenverbindungen die Dauerfestigkeit vom Gewindedurchmesser und bei schlussgerolltem Gewinde auch von der Vorspannung abhängt. Gemäss [6] ist die 5%-Fraktile der Dauerfestigkeit einer Schraube mit schlussvergütetem Gewinde:

$\sigma_{Ak} = 0{,}59\ (52+180/d)$ (15b)
$(= 37\ N/mm^2$ bei M16)
schlussgerolltem Gewinde:
$\sigma_{Ak} = 0{,}59\ (52+180/d) \cdot (2-F_{Sd,tm} \cdot \gamma_{Ms} / (f_{yk} \cdot A_s))$
$(= 75\ N/mm^2$ bei M16)

Diese Werte stimmen sehr gut mit eigenen Untersuchungen überein. Für bestimmte Dübelschrauben der Grösse M16 wurden Dauerfestigkeiten (5%-Fraktilen) von 40 N/mm^2 bei schlussvergüteter Ausführung und von 91 N/mm^2 bei schlussgerollter Ausführung ermittelt.

Für Befestigungselemente aus nichtrostenden Stählen, welche keine ausgeprägte Dauerfestigkeit besitzen, ist im Allgemeinen die Ermüdungsfestigkeit nach $5\cdot10^6$ Spannungswechseln massgebend [9]. Durch schräge Auflagerflächen, schief geschnittenes Gewinde, exzentrischen Lastangriff oder schräges Bohrloch wird in den meisten Fällen nicht reiner Zug, sondern auch Biegebeanspruchung auftreten. Unter der Annahme von 3° maximaler Schräge wird der Einfluss gemäss [3], S. 228, durch den Biegezugfaktor

$k_{bt} = 0{,}8$ (16)

berücksichtigt. Dem Bemessungswert der ertragbaren Lastamplitude in der Schraube

$$\Delta R_{Sd,max} = 2 \cdot \sigma_{Ak} \cdot A_s \cdot k_{bt} / \gamma_{Ms} \quad (17)$$

steht die Amplitude der äusseren Last in der Schraube

$$\Delta F_{Sd,t} = F_{Sd,tmax} - F_{Sd,tmin} \quad (18)$$

gegenüber. Damit ist der zweite Nachweis zu führen:

$$\text{Bedingung 2: } \Delta R_{Sd,max} \geq \Delta F_{Sd,t} \quad (19)$$

Nachweis für Querbeanspruchung

Analog zum ersten Nachweis für zentrischen Zug gilt

$$\text{Bedingung 3: } V_{Rd} \geq F_{Ad,vmax} \quad (20)$$

Der ertragbaren Spannungsamplitude

$$\Delta\sigma_{sR,max} = 2 \cdot \sigma_{Ak} / \gamma_{Ms} \quad (21)$$

steht die auftretende Spannungsamplitude

$$\Delta\sigma_{sd} = e \cdot \Delta F_{Ad,v} / W_s \quad (22)$$

gegenüber. Der Nachweis lautet daher

$$\text{Bedingung 4: } \Delta\sigma_{sR,max} \geq \Delta\sigma_{sd} \quad (23)$$

Interaktion von Zug- und Querkraft bei Schrägzug

Zusätzlich zu den Nachweisen für zentrischen Zug und Querbeanspruchung ist bei Schrägzug auch die Interaktion zu überprüfen:

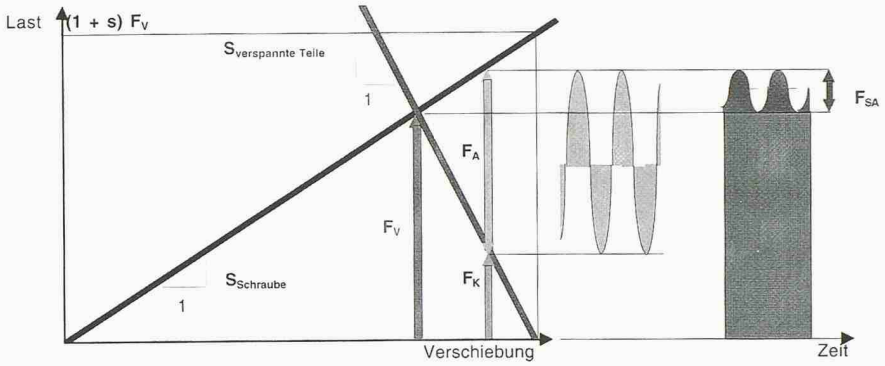
$$\text{Bedingung 5: } N_{Rd,\alpha} \geq F_{Ad,max} \quad (24)$$

Beim Nachweis der ertragbaren Spannungsamplitude werden auf der Einwirkungsseite Zug- und Biegespannung superponiert:

$$\text{Bedingung 6: } \Delta\sigma_{sR,max} \geq \Delta F_{Ad,t} / A_s + \Delta\sigma_{sd} \quad (25)$$

Dübelgruppen

Die erforderlichen Abstände der Dübel untereinander und zur Kante bzw. die Abminderung der Tragkraft bei geringen Abständen sind nach der CC-Methode [7] zu ermitteln oder Bemessungsprogrammen zu entnehmen.



F_A	äussere Betriebslast	F_V	Vorspannkraft
F_K	Klemmkraft	$S_{Schraube}$	Steifigkeit der Schraube
F_{SA}	ermüdungsrelevanter Anteil	$S_{verspannte\ Teile}$	Steifigkeit der verspannten Teile

6
Verhalten von vorgespannten Befestigungen

Bemessung auf Erdbeben

Aus zahlreichen Versuchen mit unterschiedlichen Erdbebenspektren ist bekannt, dass Dübel nach einer Erdbebenbelastung nur noch ein stark vermindertes Tragvermögen haben, das bei

- Wechsellasten auf $f_{eq} = 30\%$ (26)
- und bei Schwelllasten auf $f_{eq} = 80\%$ des Wertes bei gerissenem Beton absinkt.

Getrennt für axialen Zug, Querkraft und Interaktion ist nachzuweisen:

$$\text{Bedingung: } R_{d,eq} = f_{eq} \cdot R_{d,crack} \geq F_{d,eq} \quad (27)$$

$R_{d,crack}$: Bemessungswert des Dübels bei gerissenem Beton (aus Handbüchern)

Bemessung auf Schock

Die Widerstände des Befestigungselements sind durch Versuche, z.B. nach den Richtlinien des AC-Laboratoriums in Spiez, zu ermitteln oder einer Zulassung (z.B. [8]) zu entnehmen. Angaben über Einwirkungsgrössen finden sich teilweise in Normen oder Fachliteratur und müssen vom projektierenden Ingenieur problemspezifisch festgelegt werden. Für axialen Zug, Querkraft und Interaktion gilt auch hier:

$$\text{Bedingung: } R_{d,shock} \geq F_{d,shock} \quad (28)$$

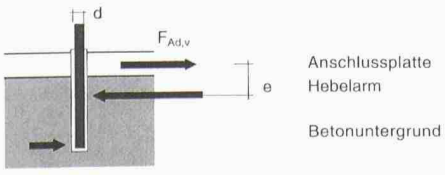
Da der Beton langsamer reagiert, als der Schock wirkt, sind die erforderlichen Abstände bzw. Abminderungen bei Dübelgruppen deutlich geringer. Wird in Ermangelung von Versuchen von den konstruktiven Regeln für statische Einwirkung ausgegangen, liegt man auf der sicheren Seite.

Versuche zur Dynamik

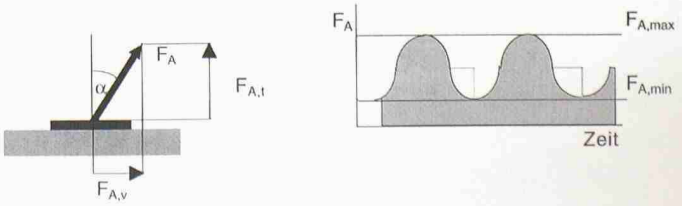
Die bekannten Prüfverfahren lassen sich in zwei Kategorien einteilen:

- Qualitätsversuche (Go - Nogo-Tests): Darunter fallen alle bisherigen Zulassungsversuche. Sie zeichnen sich durch relativ geringen Prüfaufwand aus. Dadurch, dass sie nur das Bestehen der Prüfung bescheinigen, machen sie über mögliche Reserven keine Aussage.
- Ermittlung der Gestaltfestigkeiten: Die Bestimmung von Kennwerten wie Dauer-

7
Hebelarm der äusseren Querlast



8
Lastannahme bei Ermüdung



haltbarkeit oder von Werten der Zeitfestigkeit kann mit zwei Versuchsgruppen erreicht werden:

- Betriebslastenversuche: In Form von Mehrstufenkollektiven oder unregelmässigen Last-Zeitverläufen werden statistisch praxisnahe Betriebslasten simuliert.
- Klassische Einstufenversuche gemäss Norm: Je nach Versuchsziel wird hier die Dauerfestigkeit oder das gesamte Wöhlerdiagramm eines bestimmten Befestigungselements ermittelt. Der Aufwand für solche Versuche ist in jedem Fall sehr hoch.

Kombinierte Versuche

Solche Prüfungen decken sowohl Ermüdung und Erdbeben, als auch Schock ab. Im Beispiel von Bild 9 wird mit 2×10^6 Lastspielen die Dauerhaltbarkeit bei Unterlast gleich 20% der Oberlast geprüft. Ein Mehrstufen-Blockprogramm fährt anschliessend mit Frequenzvariation das Erdbebenkollektiv ab. Die Schocksicherheit wird am Schluss durch 10 Schocks mit 30 ms Schockdauer für 1,5-fache empfohlene Last in drei Belastungsrichtungen ermittelt.

Allen Versuchsprogrammen gemeinsam ist ihre Ausrichtung auf spezielle Fälle. Versuchsprogramme, die allgemein verwendbare Daten für Bemessung liefern, sind erst in Ausarbeitung.

Zusammenfassung und Ausblick

Wie bei statischen Berechnungen wird in der Dynamik eine Bilanz der Widerstände und Einwirkungen bezüglich Kräften, Momenten und Spannungen gemacht, wobei gilt: $R_d \geq S_d$. Der Bemessungswert der Widerstände muss grösser/gleich dem Bemessungswert der Einwirkungen sein. Zuerst sollte jedoch die Energiebilanz gezogen werden:

$$E_{d,consumable} \geq E_{d,induced}$$

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Energie muss grösser/gleich dem Bemessungswert der eingebrachten Energie sein.

Aus dem Zusammenhang $E = F \cdot s$ (Energie = Arbeitsvermögen = Kraft mal Weg) erkennt man schnell die Möglichkeiten für die Auslegung von dynamisch beanspruchten Tragsystemen:

- Durch hohe Verformbarkeit im Bereich der Energieeinleitung wird soviel Energie dissipiert, dass das Tragsystem nur mehr noch reduziert beansprucht wird.
- Es kann aber auch notwendig sein, den Einleitbereich der Energie steif auszubilden, um die Energie gezielt zu einer gewünschten Stelle zu führen und damit andere Bereiche möglichst frei vom Energiefluss zu halten.

Es ist daher gleich beim Entwurf des Tragwerks zu überlegen, wie die Energie geführt, wo und wie sie dissipiert wird. Dann zeigt sich sehr schnell, wo die Befestigungen, die ja relativ wenig Energie dissipieren können, anzuordnen sind. Wie sie nach dem heutigen Stand des Wissens einfach und übersichtlich bemessen werden, wurde in diesem Beitrag dargestellt. Dem Anwender ist damit eine klare, nachvollziehbare Grundlage für die Bemessung von dynamisch belasteten Befestigungen in Betonuntergründen in die Hand gegeben.

Dies ist jedoch nur ein erster Schritt. Die Annahmen auf der Einwirkungsseite fussen oft auf Erfahrungswerten und sind mit grossen Unwägbarkeiten behaftet, die auch in näherer Zukunft nicht ausgeräumt werden. Höhe und Ablauf von Erdbeben lassen sich derzeit jedenfalls noch nicht exakt vorausberechnen. Um trotzdem Aussagen über Tragsysteme machen zu können, muss auf der Widerstandsseite vor allem bei den Befestigungen das tatsächliche Verhalten wesentlich genauer erfasst werden. Die Forschung in der Befestigungstechnik wird sich daher darauf konzentrieren, wie durch ein vernünftiges Ausmass von Versuchen jenes Niveau erreicht werden kann, das dem Ingenieur aus der Bemessung von dynamisch beanspruchten Verbindungsmitteln im Stahlbau geläufig ist.

Adresse der Verfasser:
Jakob Kunz, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, *Helmut Gassner*, Leiter Versuchslabor, *Erich K.R. Wisser*, Dr. techn., Dipl.-Ing. TU, Hilti AG, Konzern Forschung, FL-9494 Schaan

Literatur

[1]
Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke, ENV 1991
Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, ENV 1992
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, ENV 1993
Eurocode 8: Seismische Einwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke, ENV 1998

[2]
CEB-Guide on Design of Fastenings in Concrete, Draft, August 1994

[3]
Lotze D.: Tragverhalten und Anwendung von Dübeln unter oftmals wiederholter Belastung. Diss. Universität Stuttgart, 1993

[4]
Wiegand H.: Die Schraubenverbindung - Beispiel einer Gemeinschaftsaufgabe für Konstruktion, Fertigung und Werkstofftechnik. VDI-Bericht Nr. 220, 1974, S. 5-10

[5]
Wiegand H., Kloos K.-H., Thomala W.: Schraubenverbindungen, Konstruktionsbücher. Band 5, Springer Verlag, 1988

[6]
VDI-Richtlinie 2230: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen, Juli 1986

[7]
Fuchs W., Eligehausen R., Breen J.E.: Concrete Capacity Design Approach for Fastening to Concrete. ACI Structural Journal, January-February 1995

[8]
AC-Laboratorium Spiez: Technischer Bericht Nr. 282 vom 24.1.1991

[9]
Empfehlung SIA 179: Befestigungen in Beton und Mauerwerk

Ein Bemessungsbeispiel kann beim Autor angefordert werden (Fax 075 236 23 79 oder E-Mail kunzjak@hilti.com)