

Leitfaden für Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen

Juni 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Anwendungsbereich	4
2	Anforderungen	5
2.1	Allgemeines	5
2.2	Anforderungskategorien	5
2.3	Rissbreiten	7
2.4	Verformungen/Verschiebungsverhalten	7
2.5	Mindestverankerungstiefe	7
2.6	Korrosionsschutz	8
2.7	Brandschutz	8
2.8	Strahlenschutz	8
2.9	Montagekontrolle	8
3	Nachweisverfahren und Beurteilung der Brauchbarkeit	9
3.1	Allgemeines	9
3.2	Rissbreiten	9
3.3	Prüfbedingungen und Anforderungen	10
3.3.1	Eignungsprüfungen	10
3.3.1.a	Monotone Zugbelastung der Dübel bis zum Bruch bei geöffnetem Riss	10
3.3.1.b	Lastwechsel (Zugbeanspruchung) auf die Dübel bei geöffnetem Riss	11
3.3.1.c	Versuche in sich öffnenden und schließenden Rissen mit konstanter Zugbelastung des Dübels	12
3.3.2	Prüfungen zur Ableitung der charakteristischen Tragfähigkeiten	13
3.3.2.a	Charakteristische Zugtragfähigkeit bei Herausziehen	13
3.3.2.b	Charakteristische Quertragfähigkeit (wechselnde Querbeanspruchung der Dübel)	14
3.4	Prüfungen zur Ermittlung der Verschiebungen der Dübel	15
3.4.1	Verschiebungen unter Zugbeanspruchung	15
3.4.2	Verschiebungen unter Querbeanspruchung	16
4	Bemessung von Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken	17
4.1	Allgemeines	17
4.2	Die Teilsicherheitsbeiwerte für Betonversagen	17
4.3	Querlasten ohne Hebelarm	18
4.4	Betonausbruch unter Zugbeanspruchung	18
4.5	Rückwärtiger Betonausbruch (Pryout-Versagen)	18
4.6	Betonkantenbruch unter Querbeanspruchung	19
4.7	Ansatz einer Oberflächenbewehrung	19
4.8	Nachweis der Quertragfähigkeit des Betonbauteils	19
4.9	Verschiebungen	19
5	Qualitätssicherungsmaßnahmen	20
5.1	Allgemeines	20
5.2	Planung und Bemessung	20
5.3	Ausführung	20
5.3.1	Personal	20
5.3.2	Überprüfung des Soll-Zustandes	20
5.3.3	Montagevorschriften (Setzanweisungen) und Toleranzen	20
5.4	Qualitätssicherung	21
5.4.1	Montageprotokolle	21
5.4.2	Hinweise zur Nutzung	23
6	Literatur	23

Vorwort

In Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen werden zur nachträglichen Befestigung von Anlagenteilen in Beton auch Dübel als Befestigungsmittel verwendet. Diese Dübel müssen grundsätzlich für die Verankerung im gerissenen und ungerissenen Beton geeignet sein. Dies ist durch eine allgemeine bauaufsichtliche bzw. europäische technische Zulassung oder durch eine Zustimmung im Einzelfall nach den Landesbauordnungen nachzuweisen.

Diese Zulassungen berücksichtigen im Allgemeinen nur ständige und vorübergehende Bemessungssituationen; allerdings keine außergewöhnlichen Bemessungssituationen und Bemessungssituationen mit in der Kerntechnik anzusetzenden Bemessungserdbeben.

In Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen werden an bestimmte Dübelbefestigungen über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus hinausgehende Anforderungen gestellt, deren Erfüllung durch Zulassungen (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder europäische technische Zulassung) auf Grundlage der Kriterien gemäß ETAG 001 /4/ bisher nicht gewährleistet wird. In diesem Leitfaden werden deshalb ergänzende Kriterien für diese Dübelbefestigungen genannt.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Nachweise der ergänzenden Kriterien für die Dübel in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen in Deutschland über eine entsprechende bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall nach den Landesbauordnungen vorzulegen sind.

1 Anwendungsbereich

Dieser Leitfaden enthält Festlegungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit und Bemessung von sicherheitstechnisch wichtigen (relevanten) Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen unter vorwiegend ruhenden Einwirkungen (zulässige Anzahl der Schwingspiele/Lastzyklen siehe 2.2). Ermüdungsrelevante Einwirkungen sind gesondert zu beurteilen.

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen sind solche, die der Befestigung sicherheitstechnisch wichtiger Bau- (z. B. Bühnen) und Anlagenteile (z.B. elektro- und maschinentechnischer Komponenten) dienen.

Zu den sicherheitstechnisch wichtigen Dübelbefestigungen zählen auch jene, an denen sicherheitstechnisch nicht wichtige Bau- und Anlagenteile befestigt sind, deren Versagen aber sicherheitstechnisch wichtige Bau- und Anlagenteile unzulässig beeinträchtigen können.

Sicherheitstechnisch wichtige Bau- und Anlagenteile von Kernkraftwerken sind solche, die zur Erreichung der Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente und Einschluss der radioaktiven Stoffe) sowie im Rahmen der Störfallbeherrschung zur Begrenzung der Strahlenexposition erforderlich sind. Diese Definition gilt sinngemäß auch für andere kerntechnische Anlagen. Maßgebend ist die jeweilige anlagenspezifische Definition.

In diesem Leitfaden werden ergänzende Kriterien für diejenigen sicherheitstechnisch wichtigen Dübelbefestigungen genannt, die über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus gemäß ETAG 001 hinaus zur Erfüllung des sicherheitstechnisch erforderlichen Lastabtrages bei außergewöhnlichen Bemessungssituationen und Bemessungssituationen mit in der Kerntechnik anzusetzenden Bemessungserdbeben betrachtet werden müssen.

Die Regelungen in diesem Leitfaden gelten nicht für Befestigungen in kritischen Bauwerksbereichen, in denen unter außergewöhnlichen Einwirkungen Abplatzen des Betons oder sehr breite Risse entstehen können, z. B. im Bereich von plastischen Gelenken (kritische Bereiche) von Betonbauwerken. Die Länge des kritischen Bereichs l_{cr} ist in DIN EN 1998-1:2006-04 /8/ definiert. Dübelbefestigungen in diesen Bauwerksbereichen sind als nicht tragfähig anzusehen.

Dieser Leitfaden gilt für neue Dübelbefestigungen in Normalbeton der Festigkeitsklasse B 25 bis B 55 nach DIN 1045:1988-07 /1/ bzw. C20/25 bis C50/60 nach DIN 1045-1:2008-08 /2/ und Temperaturen im Verankerungsgrund, die längerfristig 100°C nicht überschreiten. Der Brandschutz wird im Abschnitt 2.7 behandelt.

Bestehende Dübelbefestigungen können gesondert beurteilt werden, der Leitfaden kann dabei mit herangezogen werden.

2 Anforderungen

2.1 Allgemeines

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen sind für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und gegebenenfalls für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen.

Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen dürfen grundsätzlich nur Dübel verwendet werden, deren Eignung für die Verankerung im gerissenen und ungerissenen Beton nachgewiesen ist. Dieser Nachweis ist durch eine Zulassung (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder europäische technische Zulassung) oder durch eine Zustimmung im Einzelfall nach den Landesbauordnungen zu führen, wobei die Regeln der ETAG 001 sinngemäß anzuwenden sind.

In Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen werden an bestimmte Dübelbefestigungen über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus hinausgehende Anforderungen gestellt, deren Erfüllung durch die Kriterien der europäischen technischen Zulassungen gemäß ETAG 001 bisher nicht gewährleistet wird. In diesem Leitfaden werden deshalb ergänzende Kriterien für diese Dübelbefestigungen genannt. Für diese sind Dübel zu verwenden, die auch die Anforderungen in den nachfolgend beschriebenen zusätzlichen Prüfungen des Abschnitts 3 erfüllen.

Die Nachweise der ergänzenden Kriterien für die Dübel in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen in Deutschland sind über eine entsprechende bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall nach den Landesbauordnungen vorzulegen.

2.2 Anforderungskategorien

Entsprechend DIN 25449 /3/ werden folgende drei Anforderungskategorien unterschieden, deren Einwirkungskombinationen für die Anforderungskategorien A1, A2 und A3 im Sinne von DIN 1055-100 /5/ und DIN 1045-1 /2/ als vorwiegend ruhend betrachtet werden können, wenn die Anzahl der Schwingspiele (vollständige Lastzyklen) bei Zugbeanspruchung unter 10^4 und bei Querbeanspruchung unter 10^2 liegt.

Anforderungskategorie A1

Kombinationen von Einwirkungen, die im Sinne von DIN 1055-100 /5/ zu den ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen gehören.

Anmerkung: Dübel, die in Kernkraftwerken für Einwirkungen der Anforderungskategorie A1 auszulegen sind, müssen die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus, die durch die Kriterien der europäischen technischen Zulassungen gemäß ETAG 001 konkretisiert sind, erfüllen. Ergänzend sind die Vorgaben der Kapitel 2.5 bis 2.9 und des Kapitels 5 dieses Leitfadens zu berücksichtigen. Die Bemessung der Dübelbefestigungen soll nach Abschnitt 4 dieses Leitfadens erfolgen.

Anforderungskategorie A2

Kombinationen mit außergewöhnlichen Einwirkungen in Anlehnung an DIN 1055-100 /5/, deren mehrfaches Auftreten während der Nutzungsdauer zu unterstellen ist. Bei diesen Kombinationen ist sicherzustellen, dass nach ihrem Auftreten die weitere Nutzungsfähigkeit des zu bemessenden Bauteils gegeben ist.

Anmerkung: Dübel, die in Kernkraftwerken für Einwirkungen der Anforderungskategorie A2 auszulegen sind, müssen die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus, die durch die Kriterien der europäischen technischen Zulassungen gemäß ETAG 001 konkretisiert sind, erfüllen. Ergänzend sind die Vorgaben der Kapitel 2.5 bis 2.9 und des Kapitels 5 dieses Leitfadens zu berücksichtigen. Die Bemessung der Dübelbefestigungen soll nach Abschnitt 4 dieses Leitfadens erfolgen.

Anforderungskategorie A3

Kombinationen von außergewöhnlichen Einwirkungen geringer Eintrittswahrscheinlichkeit ($\leq 10^{-4}$ pro Jahr), deren einmaliges Auftreten während der Nutzungsdauer zu unterstellen ist. Große Rissbildungen und bleibende Verformungen sind zugelassen, sofern sicherheitstechnische Belange dem nicht entgegenstehen.

Hierzu zählen folgende Einwirkungen:

Einwirkungen von innen (EVI)

- Differenzdruck
- Temperatur
- Strahl- und Reaktionskräfte
- Anpralllast

Einwirkungen von außen (EVA)

- Hochwasser
- Bemessungserdbeben
- Flugzeugabsturz¹
- Explosionsdruckwelle

Anmerkung: Dübel, die in Kernkraftwerken für Einwirkungen der Anforderungskategorie A3 auszulegen sind, müssen ebenfalls die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus, die durch die Kriterien der europäischen technischen Zulassungen gemäß ETAG 001 konkretisiert sind, erfüllen. Ergänzend sind die Vorgaben der Kapitel 2.5 bis 2.9 und des Kapitels 5 dieses Leitfadens zu berücksichtigen. Ergänzend sind die Verschiebungen an Dübelbefestigungen gemäß Kapitel 2.4 zu begrenzen. Die Bemessung der Dübelbefestigungen soll nach Abschnitt 4 dieses Leitfadens erfolgen.

Ergeben sich für Dübelbefestigungen der Anforderungskategorie A3 aus den Einwirkungen von außen oder von innen Zustände der Stahlbetonstrukturen, für die eine Entstehung von breiteren Rissen in diesen Strukturen nicht ausgeschlossen werden kann, so müssen die zum Lastabtrag erforderlichen Dübelbefestigungen zusätzlich die Anforderungen des Kapitels 2.3 und 2.4 und des Kapitels 3 dieses Leitfadens erfüllen. Diese zusätzlichen Anforderungen bestehen im Regelfall nur für Einwirkungen von außen, nämlich Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle.

¹ Im unmittelbaren Aufprallbereich des Flugzeuges sind aufgrund der zu erwartenden großen Verformungen und Rissbreiten im direkt getroffenen Bauteil die Befestigungen mit Dübeln als ausgefallen zu betrachten.

2.3 Rissbreiten

Bei den Prüfungen nach Abschnitt 3 sind zur Abdeckung der Anforderungskategorie A3 Rissbreiten zu berücksichtigen, die über den Werten im üblichen Hochbau liegen.

Die anzusetzenden Rissbreiten sind im Abschnitt 3.2 angegeben.

Die Rissbreiten $w_1 = 1,0$ mm und $w_2 = 1,5$ mm berücksichtigen die zu erfassenden Extremfälle, so dass bei vorhandener Mindestbewehrung ein gesonderter Nachweis der im Verankerungsbereich zu erwartenden Rissbreiten nicht erforderlich ist. Wenn ein detaillierter Nachweis über die am Anwendungsort zu erwartende charakteristische Rissbreite w_k nach DIN1045-01 /2/ für die Bemessungswerte der auftretenden Beanspruchungen geführt wird, können diese bei den Prüfungen zugrunde gelegt werden, vergleiche Abschnitt 3.2.

Die Berechnung der charakteristischen Rissbreite w_k erfolgt nach DIN 1045-1 in der Regel als 95%-Fraktile (Aussagewahrscheinlichkeit $P=75\%$) der zu erwartenden Rissbreiten für die Bemessungswerte der auftretenden Beanspruchungen.

2.4 Verformungen/Verschiebungsverhalten

Bei der Bemessung von Dübelbefestigungen ist nachzuweisen, dass die bei den relevanten Einwirkungen auftretenden Verformungen der Dübelbefestigung nicht größer sind als die zulässigen Verformungen.

Die zulässige Verformung hängt von der jeweiligen Anwendung ab und ist hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die zu befestigenden Bau- bzw. Anlagenteile sowie das gewählte Nachweisverfahren zu beurteilen.

Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen sollte für die Annahme einer starren Verankerung die Verformung in allen Richtungen am Einzeldübel 3 mm nicht überschreiten.

Die in Kapitel 3.4 beschriebenen Versuche geben konservativ eine Größenordnung für das Verformungsverhalten von Einzeldübeln unter vereinfachten Randbedingungen wieder. Realistischere Verschiebungen können mit entsprechenden Versuchen für den Einzelfall ermittelt werden.

2.5 Mindestverankerungstiefe

Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen beträgt die Mindestverankerungstiefe der Dübel im Allgemeinen $h_{ef} = 80$ mm.

Die Verankerungstiefe h_{ef} darf bis auf 40 mm verringert werden, wenn nur sehr kleine Lasten zu übertragen sind ($R_k \leq 0,4$ kN für alle Belastungsrichtungen). Für diese Dübel gelten auch die Regelungen (Versuchsbedingungen) dieses Leitfadens; siehe auch 5.2, 2. Absatz.

2.6 Korrosionsschutz

Die Anforderungen an den Korrosionsschutz der Dübel sind durch die richtige Werkstoffwahl der Dübel zu berücksichtigen. Hinweise zu den erforderlichen Werkstoffen in Abhängigkeit der Korrosionsbeanspruchung sind in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3.6 /12/ und in DIN EN ISO 12944 /13/ zu finden.

2.7 Brandschutz

Für die Anforderungskategorie A1 kann die Beurteilung des Feuerwiderstandes von Dübelbefestigungen nach dem EOTA Technical Report TR 020 /6/ vorgenommen werden. Die charakteristischen Werte für die Bemessung der Dübelbefestigung in Bezug auf die Feuerwiderstandsfähigkeit sind in den jeweiligen Zulassungen (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder europäische technische Zulassung) angegeben. Für die Einwirkungskombinationen nach Anforderungskategorien A2 und A3 sind zusätzliche Nachweise erforderlich, wenn ein Brand als Folgeereignis anzunehmen ist. Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen, die nach dem Ereignis zur Erreichung der Schutzziele erforderlich sind, ist der unabhängige Brand mit zu berücksichtigen.

2.8 Strahlenschutz

Der Einfluss einer Strahlenbelastung auf die Metallteile der Dübel kann vernachlässigt werden. Nichtmetallische Bestandteile von Dübeln, die zur Funktionsfähigkeit herangezogen werden, sind gesondert zu beurteilen.

2.9 Montagekontrolle

Dübel, die für sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen verwendet werden, sind so auszubilden, dass die ordnungsgemäße Montage anhand leicht erkennbarer, objektiver und zweifelsfreier Kriterien beim Setzvorgang und nach Abschluss der Montage überprüft werden kann.

3 Nachweisverfahren und Beurteilung der Brauchbarkeit

3.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt sind die Nachweise (zusätzliche Prüfungen) und Beurteilungen der Brauchbarkeit für sicherheitstechnisch wichtige Dübelbefestigungen zusammengestellt.

Die zusätzlichen Prüfungen sind an Prüfanstalten durchzuführen, die hierfür geeignet sind und Erfahrungen mit Prüfungen von Befestigungsmitteln im Rahmen von Zulassungsverfahren haben.

Das Prüfkonzept wurde für Hinterschnittsysteme entwickelt. Die Eignung des Prüfprogramms für andere Befestigungssysteme ist im Rahmen des Zulassungsverfahrens oder des Verfahrens zur Zustimmung im Einzelfall nachzuweisen.

Wenn bei den einzelnen Prüfungen nichts anderes angegeben ist, sind die Prüfungen mit allen zur Verwendung vorgesehenen Dübelgrößen durchzuführen.

3.2 Rissbreiten

Die Zulassungsprüfungen sollten im Allgemeinen mit den folgenden Rissbreiten durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 2.3):

- Überprüfung der Eignung der Dübel (Abschnitt 3.3.1) mit der Rissbreite $w_2 = 1,5$ mm.
- Ableitung der charakteristischen Tragfähigkeiten (Abschnitt 3.3.2) mit der Rissbreite $w_1 = 1,0$ mm.
- Ermittlung der Verschiebungen der Dübel (Abschnitt 3.4) mit der Rissbreite $w_1 = 1,0$ mm.

Werden die Zulassungsprüfungen mit geringeren Rissbreiten als oben angegeben durchgeführt, können diese Dübel nur verwendet werden, wenn ein detaillierter Nachweis über die am Anwendungsort zu erwartende charakteristische Rissbreite w_k geführt wird. Folgende Rissbreiten sollten in diesem Fall bei den Zulassungsprüfungen zugrunde gelegt werden:

- Überprüfung der Eignung der Dübel (Abschnitt 3.3.1) mit der Rissbreite $w_2 = 1,5 w_k$.
- Ableitung der charakteristischen Tragfähigkeiten (Abschnitt 3.3.2) mit der Rissbreite $w_1 = w_k$.
- Ermittlung der Verschiebungen der Dübel (Abschnitt 3.4) mit der Rissbreite $w_1 = w_k$.

Abweichungen von den genannten Regelungen sind in begründeten Sonderfällen möglich.

3.3 Prüfbedingungen und Anforderungen

Die Prüfungen werden an ordnungsgemäß montierten Einzeldübeln in Linienrissen mit Rissbreiten nach Abschnitt 3.2 durchgeführt. Als Prüfkörper ($d \geq 2 h_{ef}$) werden Dehnkörper bzw. Körper mit außen liegender Umspannung verwendet, die eine etwa konstante Breite des Risses über die Körperhöhe während der Dübelbelastung gewährleisten. Die Betonfestigkeit soll einem C20/25 ($25 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,cube} \leq 35 \text{ N/mm}^2$) entsprechen. Es kann auch in einer höheren – Standort spezifischen – Betonfestigkeit geprüft werden.

Der Einbau der Dübel richtet sich nach der ETAG 001 /4/, Anhang A.

3.3.1 Eignungsprüfungen

Anmerkung: Einhüllend wird angenommen, dass in der Anforderungskategorie A3 die Zahl der Lastwechsel mit hohen Beanspruchungen und großen Lastamplituden auf die Dübelbefestigung $n_L = 10$ betragen kann. Die Zahl der Rissöffnungswechsel in dem zur Verankerung verwendeten Bauteil wird zu $n_R = 5$ angenommen. In den Versuchen zur Eignungsprüfung wird eine größere Lastwechselzahl bzw. Rissöffnungswechselzahl aufgebracht, um sicher zu stellen, dass die Dübel bei einigen weiteren Lastwechseln bzw. Rissöffnungswechseln nicht herausgezogen werden und um den Einfluss der zahlreichen Lastwechsel mit geringen Lasthöhen und Lastamplituden auf das Verschiebungsverhalten der Dübel zu berücksichtigen.

3.3.1.a Monotone Zugbelastung der Dübel bis zum Bruch bei geöffnetem Riss

Prüfbedingungen

- Dübel im Haarriss montieren. Riss bei unbelastetem Dübel auf w_2 öffnen.
- Zugversuch nach ETAG 001, Anhang A /4/, bei geöffnetem Riss.
- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Anforderungen

- Gleichmäßiger Anstieg der Last-Verschiebungskurven (siehe ETAG 001, Teil 1 /4/)
- Variationskoeffizient der Verschiebungen bei $F = 0,5 F_{R,u,m}$ kleiner als 50 %
Ist der o. g. Variationskoeffizient der Verschiebungen größer als 30 % ist die Anzahl der Versuche auf $n = 10$ zu erhöhen.
- Variationskoeffizient der Höchstlasten kleiner als 20 %
Ist der Variationskoeffizient der Höchstlasten größer als 10 % muss die Anzahl der Versuche auf $n = 10$ erhöht werden.
- mittlere Höchstlast (erf N_u) mindestens 80 % der mittleren Tragfähigkeit von Dübeln bei der Rissbreite w_1 (siehe Abschnitt 3.3.2.a)
Wird die Anforderung an die Höchstlast nicht eingehalten, dann ist die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ zu reduzieren (siehe Abschnitt 3.3.2.a, Gleichung 3.3).

3.3.1.b Lastwechsel (Zugbeanspruchung) auf die Dübel bei geöffnetem Riss

Prüfbedingungen

- Dübel im Haarriss montieren. Riss bei unbelastetem Dübel auf w_2 öffnen.
- sinusförmige Lastwechsel im Zugschwellbereich:

$$N_{\max} = N_{Rk} \cdot \left(\frac{f_{c,cube,test}}{f_{c,cube,soll}} \right)^{0,5} / \gamma_{Mc} \quad (3.1)$$

$N_{\min} = 0$; der Dübel ist nach jeder Zugbelastung in die Ausgangslage zurückzudrücken

Anzahl der Lastwechsel $n_L = 15$

Frequenz ≤ 1 Hz

N_{Rk} = charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ der Dübel für Anforderungskategorie A3, ermittelt aus Versuchen mit $w = w_1$ nach Abschnitt 3.3.2.a

$f_{c,cube,test}$ = mittlere Betondruckfestigkeit der Versuchskörper zur Zeit der Prüfung

$f_{c,cube,soll}$ = Nennwert der Betondruckfestigkeit, für die $N_{Rk,p}$ gilt

γ_{Mc} = Teilsicherheitswert für den Materialwiderstand für Anforderungskategorie A3 (siehe Abschnitt 4.2)

- Zugversuch nach ETAG 001, Anhang A /4/, bei geöffnetem Riss ($w = w_2$)
- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Anforderungen

- Während der Lastwechsel darf kein Dübelversagen auftreten.
Wird ein Dübel während der Lastwechsel ausgezogen oder sind die Anforderungen an das Verschiebungsverhalten nicht eingehalten, so sind die Versuche mit einer niedrigeren Oberlast N_{\max} zu wiederholen. Die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ ist in diesem Fall zu reduzieren (vergleiche Abschnitt 3.3.2.a, Gleichung 3.4).
- Im anschließenden Ausziehversuch sind die Anforderungen nach Abschnitt 3.3.1.a für die Last-Verschiebungskurven ohne Berücksichtigung der bleibenden Verschiebungen nach den Lastwechseln zu erfüllen.
- Die mittlere Resttragfähigkeit muss im Ausziehversuch mindestens 90 % der mittleren Tragfähigkeit von Dübeln ohne vorherige Lastwechsel (siehe Abschnitt 3.3.1.a), mindestens jedoch 70 % der Tragfähigkeit bei der Rissbreite w_1 (vergleiche Abschnitt 3.3.2.a) betragen.

Wird die Anforderung an die Höchstlast nicht eingehalten, dann ist die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ zu reduzieren (siehe Abschnitt 3.3.2.a, Gleichung 3.3).

3.3.1.c Versuche in sich öffnenden und schließenden Rissen mit konstanter Zugbelastung des Dübels

Prüfbedingungen

- Montieren der Dübel im Haarriss. Öffnen des Risses auf w_2 .
- Belasten des Dübels mit einer Zugkraft N_p

$$N_p = N_{Rk} \cdot \left(\frac{f_{c,cube,test}}{f_{c,cube,soll}} \right)^{0,5} / \gamma_{Mc} \quad (3.2)$$

N_{Rk} ; $f_{c,cube,test}$; $f_{c,cube,soll}$, γ_{Mc} : siehe Abschnitt 3.3.1.b

- sinusförmige Rissöffnungswechsel bei konstanter Zuglast des Dübels mit N_p

$$w_{max} = w_2$$

$$w_{min} = w_2 - 0,5 \text{ mm (bei } w_2 < 1,2 \text{ mm: } w_{min} = 0 \text{ mm)}$$

Anzahl der Rissöffnungswechsel $n_R = 10$

Frequenz $\approx 0,2 \text{ Hz}$

Werden die Versuche mit Rissbreiten $w_2 < 1,2 \text{ mm}$ durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.2: Prüfungen mit detailliertem Nachweis über die am Anwendungsort zu erwartende charakteristische Rissbreite w_k) ist nach jeder Rissöffnung der Riss wieder zu schließen bzw. zu überdrücken (z.B. durch eine äußere Druckkraft $N \approx 0,15 \cdot f_c \cdot A_c$; mit f_c und A_c des Betonprüfkörpers).

- Im Anschluss an die Rissöffnungen erfolgt ein Zugversuch bei geöffnetem Riss ($w = w_2$) nach ETAG 001, Anhang A /4/
- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Anforderungen

- Während der zyklischen Rissöffnungen darf kein Dübelversagen auftreten.
Wird während der Versuche ein Dübel ausgezogen oder sind die Anforderungen an das Verschiebungsverhalten nicht eingehalten, sind die Versuche mit einer niedrigeren Oberlast N_p zu wiederholen. Die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ ist in diesem Fall zu reduzieren (vergleiche Abschnitt 3.3.2.a Gleichung 3.4).
- Im anschließenden Ausziehversuch sind die Anforderungen nach 3.3.1.a für die Last-Verschiebungskurven zu erfüllen.
- Die mittlere Resttragfähigkeit muss mindestens 90 % der mittleren Tragfähigkeit von Dübeln ohne vorherige Rissöffnungen (siehe Abschnitt 3.3.1.a), mindestens jedoch 70 % der Tragfähigkeit bei der Rissbreite w_1 (vergleiche Abschnitt 3.3.2.a) betragen.
Wird die Anforderung an die Höchstlast nicht eingehalten, dann ist die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,p}$ zu reduzieren (siehe Abschnitt 3.3.2.a, Gleichung 3.3).

3.3.2 Prüfungen zur Ableitung der charakteristischen Tragfähigkeiten

3.3.2.a Charakteristische Zugtragfähigkeit bei Herausziehen

Prüfbedingungen

- Montieren der Dübel im Haarriss. Öffnen des Risses auf w_1 .
- Zugversuch nach ETAG 001, Anhang A /4/, bei geöffnetem Riss
- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Anforderungen

- Gleichmäßiger Anstieg der Last-Verschiebungskurven (siehe ETAG, Teile 1 und 3 /4/)
- Streuung der Verschiebungen $v \leq 40 \%$ bei $F = 0,5 F_{R_u,m}$
- Streuung der Höchstlasten $v \leq 15 \%$

Ermittlung der charakteristischen Zugtragfähigkeit bei Herausziehen

Die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p0}$ bei der Versagensart „Herausziehen“ wird aus den 5% - Fraktile der Ergebnisse der oben angeführten zentrischen Zugversuche in Linienrissen mit $w = w_1$ für eine Aussagewahrscheinlichkeit $P = 90 \%$ ermittelt. Dabei sind die gemessenen Höchstlasten proportional zu $f_{c,cube}^{0,5}$ auf $f_{c,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ umzurechnen.

Falls in den Eignungsversuchen die Anforderungen an die Höchstlast nicht erfüllt werden, ist die charakteristische Zugtragfähigkeit nach Gleichung (3.3) zu reduzieren.

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p0} \cdot N_u / \text{erf } N_u \quad (3.3)$$

mit

$N_{Rk,p}$ = charakteristische Zugtragfähigkeit, die bei der Bemessung anzusetzen ist

$N_{Rk,p0}$ = rechnerische charakteristische Zugtragfähigkeit, abgeleitet aus den Ergebnissen der oben aufgeführten Versuche in Linienrissen mit $w = w_1$

N_u = erreichte Höchstlast im Eignungsversuch

$\text{erf } N_u$ = erforderliche Höchstlast im Eignungsversuch

Für das Verhältnis $N_u / \text{erf } N_u$ ist der kleinste Wert für die Versuche nach den Abschnitten 3.3.1.a bis 3.3.1.c einzusetzen.

Das Verhältnis $N_u / \text{erf } N_u$ darf den Wert 0,7 nicht unterschreiten.

Die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ nach Gleichung (3.3) darf den Wert nach Gleichung (3.4) nicht überschreiten.

$$N_{Rk,p} \leq \min (\gamma_{Mc} \cdot N_{\max}; \gamma_{Mc} \cdot N_p) \quad (3.4)$$

mit

N_{\max} = Oberlast in den Versuchen nach Abschnitt 3.3.1.b

N_p = konstante Last in den Versuchen nach Abschnitt 3.3.1.c

γ_{Mc} = Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand nach Abschnitt 4.2

3.3.2.b Charakteristische Quertragfähigkeit (wechselnde Querbeanspruchung der Dübel)

Prüfbedingungen

- Montieren der Dübel im Haarriss. Öffnen des Risses auf w_1 bei unbelastetem Dübel.
Die Montage der Dübel und die Versuche sind detailliert in der ETAG 001, Anhang A /4/ beschrieben. Die Prüfungen sind mit den ungünstigsten Randbedingungen hinsichtlich Mörtelausgleichsschicht (im Versuch stellvertretend Teflonschicht verwenden) und Dübeleinbindung (minimal zulässige Einbindung der Dübelhülse im Anbauteil) durchzuführen. Weitere abweichende Sonderfälle müssen mit den entsprechenden Randbedingungen geprüft und beurteilt werden.
- Belastung des Dübels durch eine wechselnde Querlast in Rissrichtung

$$V_{\max} = V_{Rk} / \gamma_{Ms} \quad (3.5)$$
 Anzahl der Lastwechsel $n_L = 15$

 V_{Rk} = charakteristische Quertragfähigkeit der Dübel
 γ_{Ms} = Teilsicherheitswert für den Materialwiderstand für Stahlversagen
- Im Anschluss an die Lastwechsel Querzugversuch bis zum Bruch bei geöffnetem Riss ($w = w_1$) nach ETAG 001, Anhang A /4/.
- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Anforderungen

- Kein Versagen des Dübels während der Lastwechsel.
Versagt ein Dübel während der Lastwechsel, sind die Versuche mit einer niedrigeren Oberlast V_{\max} zu wiederholen. Die charakteristische Quertragfähigkeit $V_{Rk,s}$ ist in diesem Fall zu reduzieren (vergleiche Gleichung 3.7).
- Resttragfähigkeit ≥ 90 % des Wertes bei $w = w_1$ und monotoner Belastung¹⁾.
Wird die Anforderung an die Höchstlast nicht eingehalten, dann ist die charakteristische Quertragfähigkeit $V_{Rk,s}$ zu reduzieren (siehe Gleichung 3.7)
- Der Variationskoeffizient der Höchstlast darf $v = 10$ % nicht überschreiten.
Bei Variationskoeffizienten $10\% < v \leq 30\%$ ist die charakteristische Quertragfähigkeit $V_{Rk,s}$ mit dem Faktor α_v zu reduzieren:

$$\alpha_v = 1 / (1 + 0.03 \cdot (v[\%]-10)) \quad (3.6)$$

¹⁾ Liegen keine Referenzversuche mit der Rissweite w_1 vor, können als Vergleich die Ergebnisse aus den allgemeinen Zulassungen (Querkraftversuche mit $w = 0,3$ mm) bzw. rechnerische Quertragfähigkeiten herangezogen werden.

Ermittlung der charakteristischen Quertragfähigkeit

$V_{Rk,s}$ entspricht den 5% - Fraktile der Höchstlasten der oben genannten Versuche in Linierrissen mit $w = w_1$ und Belastung in Rissrichtung für eine Aussagewahrscheinlichkeit $P = 90$ %. Dabei sind die gemessenen Höchstlasten im Verhältnis $f_{uk}/f_{u,ist}$ auf die Sollfestigkeit zu normieren.

Wird bei den Versuchen die Anforderung an die Höchstlast nicht eingehalten, dann ist nach Gleichung (3.7) abzumindern. Die charakteristische Quertragfähigkeit darf den Wert nach Gleichung (3.8) nicht überschreiten.

$$V_{Rk,s} = V_{Rk,s0} \cdot V_u / \text{erf } V_u \quad (3.7)$$

$$\leq \gamma_{M,s} \cdot V_{\max} \cdot f_{uk} / f_{u,ist} \quad (3.8)$$

mit

$V_{Rk,s}$ = charakteristische Quertragfähigkeit, die bei der Bemessung anzusetzen ist.

$V_{Rk,s0}$ = rechnerische charakteristische Quertragfähigkeit, abgeleitet aus den Ergebnissen der oben genannten Versuche in Linienrissen mit $w = w_1$

V_u = erreichte Höchstlast in Versuchen

$\text{erf } V_u$ = erforderliche Höchstlast in den Versuchen

V_{\max} = Oberlast in den Versuchen

γ_{Ms} = Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand für Stahlversagen

f_{uk} = Nennwert der Zugfestigkeit

$f_{u,ist}$ = Ist-Wert der Zugfestigkeit

3.4 Prüfungen zur Ermittlung der Verschiebungen der Dübel

3.4.1 Verschiebungen unter Zugbeanspruchung

Prüfbedingungen 1 (Versuche in sich öffnenden und schließenden Rissen mit konstanter Zugbelastung des Dübels)

- Montieren der Dübel im Haarriss. Öffnen des Risses auf w_1 .
- Belasten des Dübels mit einer Zugkraft N_p

$$N_p = N_{Rk} / \gamma_{Mc} \quad (3.9)$$

N_{Rk} = charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,d}$ der Dübel für Anforderungskategorie A3, ermittelt aus Versuchen mit $w = w_1$ nach Abschnitt 3.3.2.a

γ_{Mc} = Teilsicherheitswert für den Materialwiderstand für Anforderungskategorie A3 (siehe Abschnitt 4.2)

- sinusförmige Rissöffnungswechsel bei konstanter Zuglast des Dübels mit N_p

$$w_{\max} = w_1$$

$$w_{\min} = w_1 - 0,5 \text{ mm (bei } w_1 < 0,8 \text{ mm: } w_{\min} = 0 \text{ mm)}$$

Anzahl der Rissöffnungswechsel $n_R = 5$

Frequenz $\approx 0,2 \text{ Hz}$

Werden die Versuche mit Rissbreiten $w_1 < 0,8 \text{ mm}$ durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.2: Prüfungen mit detailliertem Nachweis über die am Anwendungsort zu erwartende charakteristische Rissbreite w_k) ist nach jeder Rissöffnung der Riss wieder zu schließen bzw. zu überdrücken (z.B. durch eine äußere Druckkraft $N \approx 0,15 \cdot f_c \cdot A_c$; mit f_c und A_c des Betonprüfkörpers).

- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Prüfbedingungen 2 (Versuche mit Lastwechseln auf die Dübel bei geöffnetem Riss)

- Dübel im Haarriss montieren. Riss bei unbelastetem Dübel auf w_1 öffnen.
- Lastwechsel im Zugschwellbereich:

$$N_{\max} = N_{Rk} / \gamma_{Mc} \quad (3.10)$$

$$N_{\min} = \text{Der Dübel ist nach jeder Zugbelastung in die Ausgangslage zurückzudrücken}$$
 Anzahl der Lastwechsel $n_L = 10$
 Frequenz ≤ 1 Hz

N_{Rk} = charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,p}$ der Dübel für Anforderungskategorie A3, ermittelt aus Versuchen mit $w = w_1$ nach Abschnitt 3.3.2.a

γ_{Mc} = Teilsicherheitswert für den Materialwiderstand für Anforderungskategorie A3 (siehe Abschnitt 4.2)

- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Verschiebungen

Die Variationskoeffizienten der Verschiebungen bei den Prüfungen 1 und 2 sollen jeweils kleiner als 40 % sein. Ist der o. g. Variationskoeffizient der Verschiebungen größer als 30 % ist die Anzahl der Versuche auf $n = 10$ zu erhöhen.

Die Verschiebungen der einzelnen Dübel sind nach den Rissöffnungswechseln bzw. Lastwechseln unter der Last N_p bzw. N_{\max} aus den Lastverschiebungskurven zu bestimmen. Der größere der Mittelwerte aus beiden Versuchsserien ist als Verschiebungswert des Einzeldübel für die Prüflast N_p bzw. N_{\max} anzunehmen.

3.4.2 Verschiebungen unter Querbeanspruchung

Die Verschiebungen der einzelnen Dübel nach den Lastwechseln unter der Last V_{\max} sind zu bestimmen, wobei der Mittelwert der Verschiebungen für $+V_{\max}$ und $-V_{\max}$ anzugeben ist.

Prüfbedingungen

- Montieren der Dübel im Haarriss. Öffnen des Risses auf w_1 bei unbelastetem Dübel.
- Belastung des Dübels durch eine wechselnde Querlast in Rissrichtung

$$V_{\max} = V_{Rk} / \gamma_{Ms} \quad (3.11)$$
 Anzahl der Lastwechsel $n_L = 10$

V_{Rk} = charakteristische Quertragfähigkeit der Dübel

γ_{Ms} = Teilsicherheitswert für den Materialwiderstand für Stahlversagen

- Anzahl der Versuche $n \geq 5$

Verschiebungen

Der Variationskoeffizient der Verschiebungen soll kleiner als 40 % sein. Ist der o. g. Variationskoeffizient der Verschiebungen größer als 30 % ist die Anzahl der Versuche auf $n = 10$ zu erhöhen.

Der Mittelwert aus der Versuchsserie kann als Verschiebungswert des Einzeldübel angenommen werden. Die Verschiebungen können linear zu den dazugehörigen Lasten interpoliert werden.

4 Bemessung von Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken

4.1 Allgemeines

Die gültigen Bemessungsverfahren für Dübel im Hochbau sind zurzeit der Anhang C zur ETAG 001 /7/ und der Technical Report TR 029 /11/ sowie DIN SPEC 1021-4 /9/. Die Bemessungsverfahren gelten für alle Dübelarten, die über einen entsprechenden Verwendbarkeitsnachweis (Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall) verfügen.

Die für die Bemessung von Dübelbefestigungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen erforderlichen Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall geben ein bestimmtes Bemessungsverfahren vor, das anzuwenden ist. Vermischungen von verschiedenen Bemessungsverfahren sind nicht gestattet.

Abweichend bzw. ergänzend zu den o.g. Bemessungsverfahren sind die Regelungen der Abschnitte 4.2 bis 4.9 zu berücksichtigen und einzuhalten.

Die Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte für die Einwirkungen sind DIN 25449 /3/ zu entnehmen.

4.2 Die Teilsicherheitsbeiwerte für Betonversagen

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Betonausbruch, Pryout-Versagen und Betonkantenbruch (γ_{Mc}), Versagen durch Spalten (γ_{Msp}) und Versagen durch Herausziehen (γ_{Mp}) werden wie folgt ermittelt:

$$\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_A \quad (3.12)$$

$$\gamma_c = \begin{array}{ll} \text{Teilsicherheitsbeiwert für Beton auf Druck nach DIN 25449 /3/} \\ 1,5 & \text{Anforderungskategorie A1} \\ 1,3 & \text{Anforderungskategorie A2} \\ 1,0 & \text{Anforderungskategorie A3} \end{array}$$

$$\gamma_2 = \begin{array}{l} \text{Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Montagesicherheit eines} \\ \text{Dübelsystems} \\ \text{Der Teilsicherheitsbeiwert } \gamma_2 \text{ wird ermittelt aus den Ergebnissen von} \\ \text{Montagesicherheitsversuche nach ETAG 001 /4/} \end{array}$$

$$\gamma_A = \begin{array}{ll} \text{Dübelspezifischer Teilsicherheitsbeiwert für Befestigungen in KKW} \\ 1,0 & \text{Anforderungskategorie A1} \\ 1,15 & \text{Anforderungskategorie A2} \\ 1,5 & \text{Anforderungskategorie A3} \end{array}$$

Zuglast

$$\gamma_2 = \begin{array}{l} 1,0 \text{ für Systeme mit hoher Montagesicherheit} \\ \text{Bei den Anforderungskategorien A2 und A3 sind nur Dübel mit einer hohen} \\ \text{Montagesicherheit } (\gamma_2 = 1,0) \text{ zu verwenden.} \end{array}$$

Querlast (Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite, Betonkantenbruch)

$$\gamma_2 = 1,0$$

Für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Msp} und γ_{Mp} darf der Wert für γ_{Mc} eingesetzt werden.

4.3 Querlasten ohne Hebelarm

Querlasten dürfen als ohne Hebelarm auf die Dübel einwirkend angenommen werden, wenn alle nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Das anzuschließende Bauteil muss aus Metall bestehen und in der Umgebung des Befestigungsmittels ohne Zwischenlage direkt an der Betonoberfläche oder mit einer Mörtelausgleichsschicht (Druckfestigkeit $\geq 30 \text{ N/mm}^2$) und einer Dicke $\leq 3 \text{ mm}$ im Bereich der Dübel befestigt sein.
- b) Das Befestigungsmittel bindet in das Anbauteil über eine Länge wie in der Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall angegeben (in der Regel mindestens $0,5 t_{\text{fix}}$) ein.
- c) Der Lochdurchmesser d_f im Anbauteil ist nicht größer als der in der Zulassung angegebene Wert.
- d) Die Verformung infolge Zugbeanspruchung jedes Dübels einer Dübelplatte ist unter den Bemessungswerten der Einwirkungen $\leq 3 \text{ mm}$.

4.4 Betonausbruch unter Zugbeanspruchung

Bei dem Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels $N_{\text{Rk,c}}^0$ im gerissenen Beton bei Betonausbruch muss der Abminderungsfaktor 0,75 zur Erfassung breiter Risse $w > 0,3 \text{ mm}$ und Risswechsel für die Anforderungskategorien A2 und A3 berücksichtigt werden.

$$N_{\text{Rk,c}}^0 (\text{A2, A3}) = 0,75 \cdot N_{\text{Rk,c}}^0 \quad (3.13)$$

$N_{\text{Rk,c}}^0$ = Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels gegen Betonausbruch nach Anhang C zur ETAG 001 /7/, Technical Report TR 029 /11/ oder DIN SPEC 1021-4 /9/

4.5 Rückwärtiger Betonausbruch (Pryout-Versagen)

Bei dem charakteristischen Widerstandes eines Dübels $V_{\text{Rk,cp}}$ bei Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite muss der Abminderungsfaktor 0,75 zur Erfassung breiter Risse $w > 0,3 \text{ mm}$ für die Anforderungskategorien A2 und A3 berücksichtigt werden.

$$V_{\text{Rk,cp}} (\text{A2, A3}) = 0,75 \cdot V_{\text{Rk,cp}} \quad (3.14)$$

$V_{\text{Rk,cp}}$ = charakteristischen Widerstandes eines Dübels gegen Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite nach Anhang C zur ETAG 001 /7/, Technical Report TR 029 /11/ oder DIN SPEC 1021-4 /9/

4.6 Betonkantenbruch unter Querbeanspruchung

Bei dem Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels $V_{\text{RK},c}^0$ in gerissenem Beton mit Belastung senkrecht zum Rand muss der Abminderungsfaktor 0,75 zur Erfassung breiter Risse $w > 0,3$ mm für die Anforderungskategorien A2 und A3 berücksichtigt werden.

$$V_{\text{RK},c}^0 (A2, A3) = 0,75 \cdot V_{\text{RK},c}^0 \quad (3.15)$$

$V_{\text{RK},c}^0$ = Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes eines Dübels gegen Betonkantenbruch nach Anhang C zur ETAG 001 /7/, Technical Report TR 029 /11/ oder DIN SPEC 1021-4 /9/

4.7 Ansatz einer Oberflächenbewehrung

Der Nachweis gegen Betonkantenbruch kann auch unter Ansatz einer Oberflächenbewehrung nach DIN SPEC 1021-4-2:2009-08 /9/ Bild 9 geführt werden, wenn in jedem Einzelfall die genaue Lage der Oberflächenbewehrung nachgewiesen ist. Bei dem Nachweis des charakteristischen Widerstandes der Oberflächenbewehrung ist die ungünstigste Lage der Dübel im Hinblick auf die Lage der Oberflächenbewehrung anzunehmen. Die Ermittlung des charakteristischen Widerstandes bei kombinierter Zug- und Querbelastung muss nach der in DIN SPEC 1021-4-2:2009-08 /9/ angegebenen Interaktionsgleichung erfolgen.

4.8 Nachweis der Quertragfähigkeit des Betonbauteils

Ist unter den charakteristischen Einwirkungen die resultierende Zuglast N_{Sk} der Verankerungen

$N_{\text{Sk}} \geq 60$ kN für Anforderungskategorie A1

$N_{\text{Sk}} \geq 75$ kN für Anforderungskategorie A2

$N_{\text{Sk}} \geq 90$ kN für Anforderungskategorie A3

sollte zur Sicherung der Quertragfähigkeit des Betonbauteils die Verankerungstiefe der Dübel $h_{\text{er}} \geq 0,8 h$ (h = Bauteildicke) betragen, oder es sollte eine entsprechende Aufhängebewehrung vorhanden sein.

4.9 Verschiebungen

Die Verschiebungen des Dübels unter bestimmten Zug- und Querlasten sind in der jeweiligen Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall angegeben. Die Verschiebungen können linear zu den dazugehörigen Lasten interpoliert werden. Bei kombinierter Zug- und Querlast sind die Verschiebungen für Zug- und Querkomponenten der resultierenden Last geometrisch zu addieren.

5 Qualitätssicherungsmaßnahmen

5.1 Allgemeines

Grundsätzlich sind hinsichtlich der Qualitätssicherung bei der Planung, Bemessung und Montage von Dübelbefestigungen die Anforderungen der KTA 1401 "Allgemeine Forderungen an die Qualitätssicherung" /14/ zu beachten. Zusätzliche können weitere Anforderungen durch betriebliche Vorschriften bestehen.

5.2 Planung und Bemessung

Grundlage für die Planung und Bemessung von Dübelbefestigungen ist die möglichst umfassende Kenntnis der örtlichen Situation einschließlich möglicher Störkanten. Hierzu gehört neben den vorhandenen Tragwerksunterlagen (Statik in geprüfter Fassung, geprüfte Ausführungszeichnungen, Abnahmeprotokolle, Betonfestigkeiten etc.) auch eine Berücksichtigung relevanter Änderungen oder Abweichungen bei der Ausführung.

In Bereichen mit sehr dichter Bewehrung (Stababstand der Bewehrung $\leq 3 d_s$) sind Dübelbefestigungen mit einer geringen Verankerungstiefe ($h_{ef} < 80 \text{ mm}$) wegen der Gefahr von Betonabplatzungen nicht zulässig.

5.3 Ausführung

5.3.1 Personal

Für die Montage von Dübelbefestigungen ist nur geschultes Fachpersonal einzusetzen. Die Schulung ist produktspezifisch vom jeweiligen Hersteller durchzuführen. Der erfolgreiche Abschluss der Schulung ist nachzuweisen und muss durch Probesetzungen im Rahmen der Schulung überprüft werden. Die Schulung darf nicht länger als 2 Jahre zurück liegen.

5.3.2 Überprüfung des Soll-Zustandes

Die Daten des Soll-Zustandes (s. Abschnitt 5.2) sind vor Ort auf ihre Übereinstimmung mit der Planung zu prüfen und bei Abweichungen deren Einfluss auf die Tragfähigkeit zu bewerten.

5.3.3 Montagevorschriften (Setzanweisungen) und Toleranzen

Die Montage von Dübelbefestigungen ist auf der Grundlage der jeweiligen Zulassungen bzw. Zustimmungen im Einzelfall durchzuführen. Die Montage ist zu protokollieren (vgl. Abschnitt 5.4.1).

Folgende Bedingungen sind bei der Herstellung von Dübelbefestigungen grundsätzlich zu beachten:

- Um das Risiko von Fehlbohrungen bzw. Beschädigungen der Bewehrung zu verringern, ist die Lage der Bewehrung zu orten.
- Der Beton im Bereich des anzuschließenden Stahlbauteils muss so beschaffen sein, dass das Stahlbauteil nach der Dübelmontage möglichst ganzflächig auf dem Beton anliegt. Zur Erzielung eines ganzflächigen Kontaktes darf eine Mörtelausgleichsschicht bis zur zulässigen Dicke aufgebracht werden. Drehmomente dürfen erst nach Erhärtung des Mörtels aufgebracht werden.
- Die laut Planung erforderlichen Abstände zu Bauteilrändern, Öffnungen, Deckensprüngen oder Einbauten sind einzuhalten, wie auch die Achsabstände zu anderen Befestigungen (z. B. Ankerplatten mit Kopfbolzen).
- Bohrungen sind rechtwinklig zum vorhandenen Untergrund auszuführen. Neigungen von 85° bis 95° gegenüber dem vorhandenen Untergrund sind als rechtwinklig anzusehen.
- Fehlbohrungen sind mit hochfestem Mörtel vollständig zu verschließen. Eine Fehlbohrung liegt auch vor, wenn ein nicht vorschriftsmäßig gesetzter Dübel ausgebaut wird. Liegt eine Fehlbohrung mit einer Tiefe größer als $h_{ef} / 4$ vor, soll der Achsabstand zu einer neuen Bohrung mindestens dem doppelten Bohrlochdurchmesser entsprechen. Eine Vorspannung bzw. Belastung des Dübels nach dem Schließen der Fehlbohrung mit hochfestem Mörtel ist frühestens dann zulässig, wenn die Festigkeit des Mörtels mindestens der Betonfestigkeit entspricht. Ist die Festigkeitsentwicklung des Mörtels nicht bekannt, darf der Dübel frühestens nach 24 Stunden vorgespannt bzw. belastet werden.
- Beim nachträglichen Anschweißen von Halterungen vor Ort ist darauf zu achten, dass durch den Wärmeeintrag keine Zwangbeanspruchungen der Dübel entstehen.

5.4 Qualitätssicherung

Umfang und Prüftiefe der Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Montage der Dübelbefestigungen sind entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung der anzuschließenden Komponenten zwischen der Anlagentechnik und der Bautechnik abzustimmen.

5.4.1 Montageprotokolle

Die ordnungsgemäße Ausführung von Dübelbefestigungen ist auf der Basis produktspezifisch angepasster Montageprotokolle analog den Prüffolgeplänen in der Anlagentechnik zu überwachen.

Zur Erleichterung der Montageüberwachung für Bauleitung und -überwachung sind den Zulassungen Muster für Montageprotokolle als Anlage beizufügen, aus denen die für die Tragfähigkeit der Dübel entscheidenden Kriterien und der jeweilige Montageschritt hervorgehen. Die aufzunehmenden Kriterien hängen maßgeblich von dem verwendeten Produkt ab. Ist ein Produkt für nachträgliche Überprüfungen geeignet, sind Angaben hierzu in die Zulassung aufzunehmen.

Die Montageprotokolle sind von der ausführenden Firma auszufüllen und vom Bauherrn / Betreiber sowie vom Prüfenieur für Baustatik oder vom bautechnischen Sachverständigen (Baugutachter) in Abstimmung mit dem anlagentechnischen Gutachter zu überprüfen. Die Durchführung der Überprüfung ist mit den Unterschriften der Beteiligten zu dokumentieren.

Die Montageprotokolle sollen folgende allgemeinen Anforderungen enthalten:

- **Formalitäten:**
- Änderungsantrag bzw. Änderungsmeldung
- Datum der Montage

- **Beteiligtes Fachpersonal:**
- Montagefirma
- Dübelfachbauleiter
- Baugutachter
- Monteur (mit Schulungsnachweis)
- Bauherrenvertreter / Betreiber

- **Örtlichkeit:**
- Gebäude
- Raum
- System
- Ident-Nummer der Dübelplatte
- Übersichtszeichnungen
- Werkstattzeichnungen

- **Dübeltyp:**
- Hersteller
- Produktbezeichnung
- Größe
- Material

- **Ausführungsmerkmale:**
- Verwendete Werkzeuge
- Kontrolle der Bohrlöcher im Beton:
 - Reinigung Bohrloch
 - Rechtwinkligkeit der Bohrungen
 - Bohrlochtiefe
 - Bohrlochdurchmesser
 - Fehlbohrungen vorhanden / verschlossen
 - Bewehrungsbeschädigung
 - erkennbare Risse / Beschädigungen vor Ort vorhanden
 - korrosive Umgebung
- Kontrolle des Drehmomentes
- Kontrolle der Dübelplatte:
 - Ausführung gem. Werkstattzeichnung
 - Plattendicke
 - Achs- und Randabstände
 - Durchmesser Durchgangsloch in der Platte
 - Betonoberfläche eben bzw. Dicke der Mörtelausgleichsschicht
- Kontrolle des Umfeldes
 - Abstände zu Nachbarbefestigungen
 - geometrische Randbedingungen

Darüber hinausgehende Informationen, abhängig vom verwendeten Dübeltyp, sind vom Hersteller einzuarbeiten.

5.4.2 Hinweise zur Nutzung

In die Zulassung sind Angaben aufzunehmen, ob nach Abschluss der Montage oder während der Nutzungsdauer die Mutter gelöst und Neu- oder Wiederbefestigungen vorgenommen werden dürfen und ob ggf. einschränkende Randbedingungen gelten.

6 Literatur

- /1/ DIN 1045:1988-07: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung
- /2/ DIN 1045-1:2008-08: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- /3/ DIN 25449:2008-02: Bauteile aus Stahl- und Spannbeton in kerntechnischen Anlagen – Sicherheitskonzept, Einwirkungen, Bemessung und Konstruktion
- /4/ ETAG 001 "Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalleddübel zur Verankerung im Beton", Teil 1, 2, 4, 5 (Ausgabe 1997, Änderung 2006-11) und Teil 3 (Ausgabe 1997-06) sowie Anhang A und B (Ausgabe 1997, Änderung 2006-11)
- /5/ DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln
- /6/ TR 020 "Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Verankerungen im Beton" (Ausgabe 2004-05)
- /7/ ETAG 001 "Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalleddübel zur Verankerung im Beton", Anhang C Bemessungsverfahren (Ausgabe 1997, Änderung 2006-11)
- /8/ DIN EN 1998-1:2006-04: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- /9/ DIN SPEC 1021-4:2009-08: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton
- /10/ DIN EN 206-1:2006-07: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- /11/ TR 029 "Bemessung von Verbunddübeln" (Ausgabe Juni 2007)
- /12/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2009 „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“
- /13/ DIN EN ISO 12944:1998-07: Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme
- /14/ KTA 1401:1996-06: Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung (inhaltlich überprüft und unverändert gültig: 6/01)